

УДК 553.25:553.2.29

МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ НЕКОТОРЫХ МНОГОМЕТАЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ РОССИИ, СРЕДНЕЙ АЗИИ, КАЗАХСТАНА И РОЛЬ МИНЕРАЛОВ-СОРБЕНТОВ ПРИ КОНЦЕНТРАЦИИ МЕТАЛЛОВ В ЗОНЕ ГИПЕРГЕНЕЗА

А.А. Черников

Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, Москва, cher@fmm.ru

В.Т. Дубинчук, Д.О. Ожогин, Н.И. Чистякова

Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья (ФГУП ВИМС), Москва, vims@df.ru

Установленное сходство в распределении минеральных ассоциаций в геологическом разрезе Онежских месторождений Карелии и экзогенных инфильтрационных урановых месторождений Средней Азии и Казахстана свидетельствует об их генетической близости. Минеральные комплексы пород севера Урала, Кадаро-Удоканского прогиба С-З Забайкалья, где перспективы обнаружения крупных запасов благородных металлов весьма велики, также имеют много общих черт с минерализацией пород Онежского прогиба. Приведенные данные являются дополнительным критерием в пользу неоднократно высказанного утверждения (Черников, 1997, 2001; Черников и др., 2000, 2005, 2007) о возможности наличия крупных или уникальных запасов благородных металлов в первую очередь в районе разведанных уран-ванадиевых месторождений онежского типа. Рассматривается роль минералов-сорбентов при концентрации благородных и других металлов в зоне гипергенеза месторождений изучаемых районов.

В статье 1 таблица, 6 рисунков, список литературы из 56 названий.

Ключевые слова: многометальные месторождения, минералы урана, минералы благородных металлов, минералы ванадия и молибдена, минералы-сорбенты, рентгеноаморфное вещество, зона гипергенеза.

Онежские месторождения в Карелии (Средняя Падма, Царевское, Космозеро и др.) — крупные по запасам ванадия комплексные руды с большим набором химических элементов: V, U, Pd, Pt, Au, Ag, Mo, Cu и другие (Билибина и др., 1991; Мельников и Шумилин, 1995). По ряду геологических особенностей они напоминают месторождения типа несогласия (Лаверов и др., 1992). В то же время по ассоциации с углеродистым веществом, по количеству металлов в рудах и по приуроченности к рассланцеванным алевролитам — это типичные месторождения черносланцевых толщ, Онежские месторождения сложены различными минеральными ассоциациями, которые располагаются зонально в геологическом разрезе (Мельников и Шумилин, 1995; Черников, 1997, 2001). Медные и молибденовые минералы развиты по периферии уран-ванадиевых минеральных ассоциаций, образующих рудные залежи, сменяясь далее от них альбитизацией и рассеянной пиритизацией пород. Сульфоселениды и селениды распространены во фронтальной части уран-ванадиевых залежей, сменяемых зоной гематитизированных пород (глубинной зоной окисления). Современная приповерхностная зона окисления, выразившаяся в осветлении пород, развитии лимонитов и оксидов марганца, прослеживается от поверхности до глубин 60—150 м, реже — до 250 м, ограничивая уран-ванадиевые залежи свер-

ху. Нижняя часть ее, верхние горизонты зоны цементации уран-ванадиевых руд и глубинная зона окисления значительно обогащены благородными металлами.

Такое расположение минеральных ассоциаций в геологическом разрезе Онежских месторождений и их характер имеют черты сходства с зональностью, наблюдаемой на экзогенных инфильтрационных урановых месторождениях Средней Азии и Казахстана. Различия заключаются, главным образом, в физико-химических особенностях минералообразования при глубинном и околоповерхностном гипергенезе. В пластовых околоповерхностных инфильтрационных урановых месторождениях Средней Азии и Казахстана отсутствуют альбитизация и гематитизация пород, характерные для месторождений онежского типа. Но в них проявлена лимонитизация проницаемых пород, образуя пластовую приповерхностную зону окисления, которая, как и глубинная зона окисления на месторождениях онежского типа, сменяется по падению пласта урановой минерализацией, иногда с ванадиевыми и селеновыми минералами. Уран-ванадиевые, уран-селеновые или урановые руды, как и на месторождениях онежского типа, часто переходят на периферии в зону развития минералов молибдена (иордзита и молибденита), иногда с медью (халькопирит). Молибденовая минерализация, как и на месторождении-

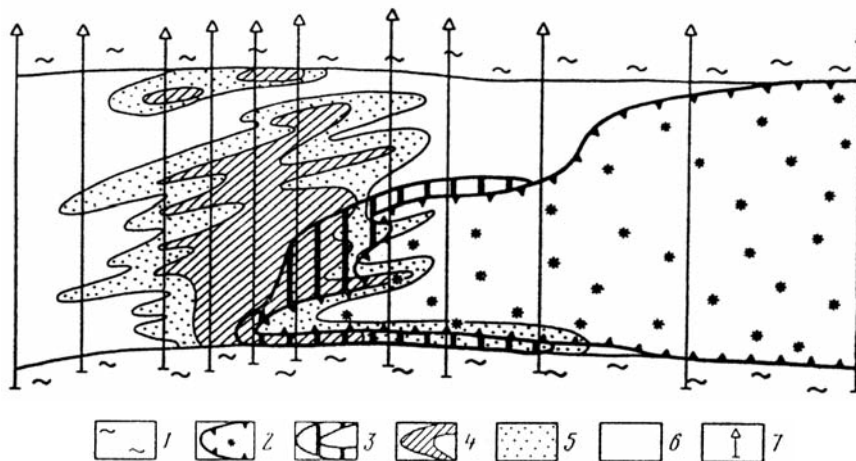


Рис. 1. Распределение золота в профилях рудоконтролирующей зональности в гелтовых отложениях коньяк-сантона пластово-инфильтрационного уранового месторождения Учкудук. 1 – водоупорные алевритоглинистые породы (между ними водопроницаемые песчаные породы); 2 – зона пластового окисления и перегородя граница ее распространения, 3 – урановые руды; 4–6 – концентрация золота, мг/т: 4 – от 30 до 60, 5 – от 10 до 30, 6 – < 10; 7 – буровые скважины.

ях онежского типа, сменяется по падению пластов зоной рассеянного пирита. Такое совпадение в геохимической и минералогической зональности руд двух типов месторождений свидетельствует об их генетическом сходстве.

Наивысшие содержания благородных металлов в нижних частях приповерхностной зоны окисления месторождений онежского типа составляют для Pd сотни грамм на тонну, для Au (реже для Pt) – десятки грамм на тонну, для Ag – тысячи грамм на тонну. В глубокой зоне окисления (в гематитизированных доломитах), за пределами уран-ванадиевых руд, наибольшие концентрации Pd достигают 22 г/т; Au – 2.5 г/т; Pt – 1.1 г/т и Ag – 330 г/т. В инфильтрационных месторождениях наиболее высокие величины благородных металлов характерны для уран-угольных руд (Кальджат и др., Казахстан), где наибольшие концентрации Ag отмечаются на границе с окисленными породами и составляют в среднем 12 г/т. Содержания золота имеют меньшие значения, но в богатых по урану углях (с Mo, Re, Ge, V, Sc, Y и др.) они достигают 900 мг/т, редко – 1 г/т. В рядовых и бедных урановых рудах содержание золота снижается до 60 мг/т, а металлов платиновой группы еще ниже. Постоянно отмечаются благородные металлы и в других месторождениях пластового окисления. Особенно это характерно для золота, гипергенное образование которого убедительно было установлено еще Ф.В. Чухровым (1950).

Золото отчетливо проявляет себя как спутник урана при экзогенном рудном про-

цессе, хотя максимумы накопления этих металлов не всегда совпадают (Шмариович и др., 1992). Повышенные концентрации Au, от 10 до 30 мг/т, иногда до 60 мг/т, отмечаются уже в зоне пластового окисления (рис. 1). Однако, наибольшие содержания золота, до 60 мг/т, чаще наблюдаются в урановых рудах. Колебание его содержаний от 10 до 30 мг/т прослеживается в последующих зонах молибденовой минерализации и рассеянной пиритизации пород, а также в зоне приповерхностного окисления.

Концентрации металлов платиновой группы в данных месторождениях еще ниже. Следовательно, содержания благородных металлов в пластовых инфильтрационных залежах значительно ниже концентраций их в онежских рудах, на несколько порядков. Тем не менее, при подземном выщелачивании урана в месторождениях учкудукского типа (Узбекистан) золото попутно извлекается в течение десятилетий. Выделения самородного золота из зоны окисления месторождения Учкудук, из приповерхностной зоны окисления онежского типа, и месторождений Южного Казахстана (рис. 2) имеют сходство в микродифракционных картинах, размере наночастиц и в очертании зерен.

Роль гипергенных процессов в концентрации благородных металлов на других месторождениях метаморфических толщ еще не оценена, и работы в этом направлении имеют большие перспективы. Так, В.Д. Тихомирова (2006, 2008) сообщает о находках самородных золота, серебра и меди в рудах медистых песчаников севера Урала. Притом, самородное

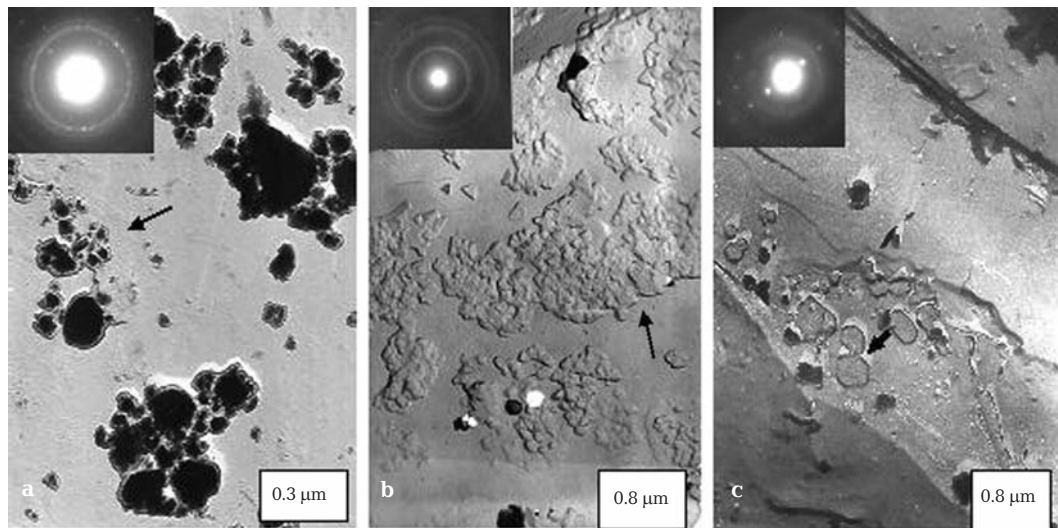


Рис. 2. Реплики с извлечением. Выделения самородного золота на зернах кварца в зоне окисления: а – Онежский тип; б – месторождение Учкудук; с – месторождения в Чу-Сорусуйской впадине (Ю. Казахстан). Стрелками показаны частицы, с которых получены микродифракции.

золото отмечается только в одном месторождении и одном рудопроявлении, тогда как самородная медь и серебро встречаются, хотя и редко, на всех изученных объектах. Самородная медь чаще всего обнаруживается в интенсивно выщелоченных рудах в ассоциации с купритом. Самородное серебро и другие его минералы размерностью в субмикронном диапазоне отмечаются в халькозине, борните и халькопирите. И только в малахите и хризокolle самородное серебро образует скопления до десяти микрон.

О медистых песчаниках месторождения Удокан (Кодаро-Удоканский прогиб С-З Забайкалья), где интенсивно проявлена приповерхностная и глубинная зоны окисления, имеется больше данных. Здесь широко развиты пестроцветные отложения с повышенным содержанием благородных металлов. В халькозин-борнитовых рудах и вмещающих песчаниках Удоканского месторождения содержания золота колеблются от 0.01 до 0.3 г/т, платины – от порога чувствительности анализа до 0.06 г/т, палладия – от порога чувствительности до 0.009 г/т (Гонгальский и др., 2006). Содержание благородных металлов в окисленных малахит-брошантитовых рудах немного выше (по результатам трех проб): Au – от 0.01 до 0.5 г/т; Pd – от порога чувствительности до 0.01 и Pt – от 0.01 до 0.05 г/т (аналитик Г.Е. Белоусов, ИГЕМ РАН, химико-спектральный метод). Наличие в разрезе удоканского комплекса альбититовых метасоматитов с оксидами, титанатами и

молибдатами урана – характерная черта Кодаро-Удоканского прогиба. Пробирным анализом в альбититах установлены повышенные содержания палладия (1.3 г/т) при концентрации золота 0.2 г/т и более (В.В. Кнауф и др., 2000; Татаринцов и др., 2000).

Приведенные данные показывают, что медистые песчаники севера Урала и, особенно, породы Кодаро-Удоканского прогиба, где перспективы обнаружения значительных запасов благородных металлов весьма велики, по своей минерализации в значительной степени сходны с породами Онежского прогиба. К сожалению, в Онежском прогибе детальные исследования проводились только для оценки уран-ванадиевых руд. Разведочных работ по выявлению характера распределения благородных металлов за пределами уран-ванадиевых руд на месторождениях онежского типа не было. В то же время применение комплекса современных высокоразрешающих методов исследования вещества позволило выявить в этих месторождениях практически важные минералогические особенности различных генетических образований.

1. В гидротермальных роскозит-хромселадонит-доломитовых прожилках благородные металлы образуют селениды, селенид-сульфиды и соединения с висмутом, теллуром и др.

2. В приповерхностной и глубинной зонах окисления распространены присыпки самородных металлов (меди, золота, платины с

Таблица 1. Химический состав самородного золота месторождения Педролампи и из глубинной и приповерхностной зон гипергенеза Онежских месторождений, мас. %

Эл/№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Au	85.7	84.5	84.9	86.6	83.0	70.2	70.8	86.4	93.5	77.6	93.27	93.64	86.69	86.5	84.4
Ag	13.8	14.9	14.3	13.1	13.1	28.2	24.9	13.0	6.3	22.0	4.33	5.66	4.45	11.5	10.6
Fe	—	0.1	0.3	0.1	—	0.3	0.1	—	0.2	—	0.6	0.7	2.89	—	0.2
Hg	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	1.19	—	4.98	н.о.	н.о.
Pd	0.3	0.3	0.2	0.3	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	—	—	—	—	—
Cu	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.9	2.4
Σ	99.8	99.8	99.7	100.1	96.1	98.7	95.8	99.4	100.0	99.6	99.99	99.00	99.01	99.9	97.6

Примечание: анализы 1–10 из глубинной зоны гипергенеза Онежских месторождений (Средняя Пагма и Царевское); 11–13 из гидротермального золото-сульфидного месторождения Педролампи; анализы 14, 15 из приповерхностной зоны окисления Онежских месторождений. Данные микронзондового анализатора фирмы «Tescan», ИГ КарНЦ РАН (анализы 11–13). Все другие данные получены на электронном микроанализаторе УХА-8100 японской фирмы JEО4 в ВИМСЕ

палладием), новой природной фазы — палладиевого аналога аурикуприда и др.

3. Самородное золото в гидротермальных прожилках Онежских месторождений не установлено. Поэтому в таблице 1 приведены три анализа (№№ 11–13; Кулешевич, 2008) такого самородного золота из месторождения Педролампи, расположенном на северо-западной границе Онежской впадины. Сравнение их с анализами самородного золота из глубинной (№№ 1–10) и приповерхностной (№№ 14, 15) зон окисления Онежских месторождений показало, что гидротермальное золото по составу заметно отличается от гипергенного. Оно характеризуется высокой чистотой. Содержание Au изменяется в нем от 93.64 до 86.69%, а в гипергенном — 86.6 до 70.2%. Больше в нем Fe — от 2.89 до 0.6% и Hg — от 4.98 до 1.19%, при отсутствии или 0.3% Fe — в гипергенном. Для серебра наблюдается обратная закономерность — от 5.66 до 4.33% его содержится в гидротермальном и от 28.2 до 6.3% — в гипергенном. Кроме того, в гипергенном самородном золоте отмечается иногда медь в количестве 1.9 и 2.45% и палладий — 0.2–0.3%.

4. Золото в приповерхностной зоне окисления с содержанием благородных металлов ниже 10 г/т имеет неправильную комковатую форму частиц, размером 0.1 мкм и менее.

5. В верхней части глубинной зоны окисления золото образует веретенообразные частицы, размером 2–3 мкм, которые подвергнуты разрушению. Ближе к средней части глубинной зоны окисления золото рассеяно в поликристаллических лейстах самородной меди, размером в десятки мкм. Здесь же установлены обособления самородной платины, содержащей палладий.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют, что процессы гипергенеза на Онежских месторождениях значительно

проявлены. При этом выщелачивание и перераспределение благородных металлов в зоне окисления уменьшаются с глубиной. Размер зерен самородных металлов в этом направлении увеличивается, что дает основание полагать наличие больших концентраций благородных металлов в нижних частях глубинной зоны окисления. Такой вывод является дополнительным критерием, как и ранее приведенные данные, в пользу неоднократно высказанного утверждения (Черников, 1997, 2001 и др.; Черников и др., 2000, 2005, 2007) о возможности наличия крупных или уникальных запасов благородных металлов, в первую очередь вблизи разведенных уран-ванадиевых месторождений.

Роль минералов-сорбентов и рентгеноаморфного вещества в концентрации благородных и других металлов в зоне гипергенеза

Все образования зоны гипергенеза, как это было показано И.И. Гинзбургом и И.А. Руквишниковой (1951), Ф.В. Чухровым (1955), А.П. Никитиной (1968), А.А. Черниковым (1981; Chernikov, 1982; Chernikov *et al.*, 2006), И.В. Витовской и Ю.Ю. Бугельским (1982), Савко и другими (2007), содержат глинистые минералы, оксиды и гидроксиды Fe, Al, Mn, Si, плохо раскристаллизованные и рентгеноаморфные продукты, которые адсорбируют различные рудные элементы. Ранее было выделено (Черников, 1992) пять главных групп интенсивных природных сорбентов химических элементов и соединений, которые характерны для гипергенных образований Онежских и других месторождений. Природные сорбенты этих пяти групп объединяют большое количество минеральных и органических образований. Преобладающая часть

их имеет кристаллическое строение, меньшая — рентгеноаморфное: опал, аллофан, нераскristализованные или наноразмерные оксиды и гидроксиды алюминия, кремния, железа, марганца и другие широко распространены в коре выветривания различных кристаллических пород, а также в зоне гипергенеза выше рассмотренных и других рудных месторождений.

Среди кристаллических минералов-сорбентов, имеющих сложный, часто переменный состав, большинство обладает большой сорбционной емкостью. Прежде всего, это относится к монтмориллонит-сапонитам, в которых межпакетные катионы легко обмениваются, и их состав может изменяться от одновалентных простых — Li^+ , Na^+ , K^+ , NH_4^+ или двухвалентных Ca^{2+} , Mg^{2+} , до таких сложных, как $[\text{Al}(\text{OH})_2]^+$ или RNH_3^+ .

Минералы-сорбенты и плохо раскristализованное, нераскristализованное минеральное или органическое вещество выше упомянутых пяти групп являются главными компонентами таких распространенных гипергенных пород и полезных ископаемых, как бентониты, бокситы, латериты, цеолиты, перлиты, сапропель, уголь, торф, битумы и другие. Характеристика их дана в многочисленных публикациях на русском и иностранных языках. Необходимо еще раз подчеркнуть то, что природные сорбенты сложены несколькими, часто значительно различающимися минералами-сорбентами, нераскristализованным минеральным и органическим веществом, а во многих образованиях кор выветривания, в почве и торфе присутствует живое вещество в значительных количествах (Вернадский, 1926; Изучение..., 1970; Торфяные и сапропелевые месторождения, 1982; Школьник и др., 2004; Савко и др., 2007). В бокситах, фосфоритах, некоторых марганцевых, железных, золотых и других рудах присутствует биоморфное рудное вещество. Поэтому эти руды всегда обладают комплексом свойств, характеризующих их сорбцион-

ные особенности. В частности, большинство природных сорбентов, особенно таких, как лимониты, латериты, опоки и другие, имеют полимодальный характер распределения объема пор, трещин и каналов по размерам и относятся к смешаннопористым. В них различаются микропоры, мезопоры и макропоры. Макропоры являются наиболее крупными артериями, по которым осуществляется подвод сорбтива через мезопоры к микропорам. В микропорах происходит большая часть адсорбции вещества (Тарасевич и Овчаренко, 1975; Кельцев, 1984) в промышленных установках. Тогда как мезопоры и макропоры в естественном состоянии помимо транспортных функций играют значительную роль при хемсорбции, десорбции и трансформационных преобразованиях, так как это единственные каналы, по которым происходит циркуляция природных растворов, а просачивание подземных вод осуществляется несравненно медленнее в сравнении с циркуляцией жидкостей в экспериментальных установках. Поэтому именно макропоры, каналы и трещины в природных условиях содержат основную долю продуктов таких процессов (рис. 3). По ним происходит образование, в том числе прожилковое, рудных минералов, в данном случае β -уранофана, а сорбирующие минералы — цеолиты и глинистое вещество, судя по радиографии, также обогащены ураном.

Обогащение химическими элементами минералов-сорбентов, коллоидных частиц, органического вещества и микроорганизмов происходит: 1) благодаря соосаждению сорбента и адсорбирующего вещества; 2) обменным реакциям из растворов, просачивающихся через сорбент; 3) адсорбции, а также абсорбции, хемсорбции, биосорбции и капиллярной конденсации из растворов и газов, с которыми соприкасается сорбирующие минералы и вещество.

При соосаждении сорбция химических элементов коллоидными частицами и микроорганизмами начинается в растворе. Наибо-

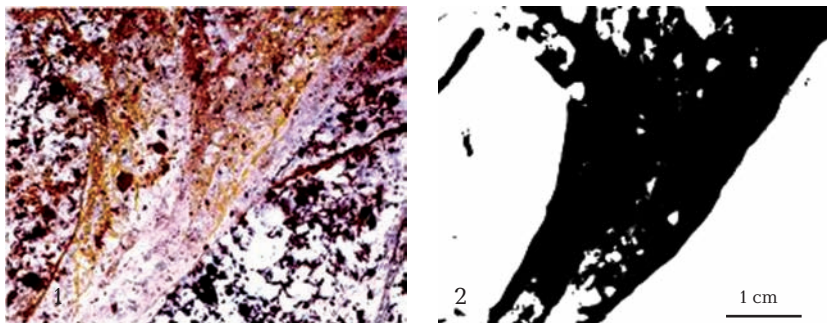


Рис. 3. Выделение β -уранофана в цеолит-глинистой брекчии и в цеолитизированном граните. Желтые выделения и прожилки — β -уранофан. Темно-коричневые пятна — гематитизированные обломки гранита. 1 — полированный шлиф, 2 — радиография шлифа.

лее широко это явление проявляется при формировании осадков в океанической, озерной и речных средах. В осадках озер, рек, морей и океанов, в том числе в железо-марганцевых конкрециях, накопление Pb, Bi, Th, U, Au, Ag, Ta, Se, Ge, Tl и многих других химических элементов происходит главным образом или только в результате соосаждений. Это подтверждают экспериментальные данные и анализ фактических данных (Перельман, 1979; Bowen, 1979; Eislser, 1981; Батулин и др., 1989; Гордеев, Орешкин, 1990; Перцев и др., 1990).

Обменные реакции и другие сорбционные процессы (второй и третий способы извлечения химических элементов и соединений из подземных вод природными сорбентами) имеют сложные взаимоотношения. Разграничение собственно ионного обмена и других сорбционных процессов теряет всякий смысл, например, для таких минералов, как цеолиты и смектиты, которые сочетают разные способы извлечения ионов из растворов. Именно в результате ионного обмена и других сорбционных процессов изменяются с глубиной pH, Eh, минерализация и хими-

ческий состав трещинно-жильных вод складчатых областей и пластовых вод артезианских бассейнов и происходят последовательные трансформационные преобразования слоистых силикатов через разупорядоченные и упорядоченные смешанослойные минералы до хлоритов и слюд. Таким же образом в щелочных массивах формируются гипергенные карбонаты, сульфаты, воднорастворимые силикаты, фосфаты и другие минералы (Черников, 1992, 2001; Черников и др., 1994). Необходимо только подчеркнуть, что слабая устойчивость в гипергенных условиях нефелина — основного порообразующего минерала щелочных массивов, позволяет представить его легкий переход в гипергенные силикаты при выщелачивании просачивающимися от поверхности в глубинные горизонты массивов подземными водами калия и натрия из тетраэдрического алюмосиликатного каркаса, который трансформируется при этом в октаэдрически-тетраэдрические алюмосиликатные слои. При частичном выщелачивании натрия и калия из нефелина и вхождении H_3O^+ в кристаллическую решетку формируется иллит или смешанослойные минералы; при полном выщелачивании щелочей из нефелина и насыщении OH решетки новообразуемого минерала образуется каолинит, пиррофиллит и другие глинистые минералы, содержащие из водородных оксидов только OH в своей структуре. Просачивающиеся от поверхности слабокислые воды, в связи с этим, уже на глубине нескольких метров становятся слабощелочными, а на глубине сотен метров — иногда фтор-силикатными сильнощелочными с pH = 12 (Крайнов и др., 1969). Благодаря сорбционным и трансформационным процессам, при взаимодействии щелочных подземных вод с вмещающими породами происходит формирование легко растворимых жильных минералов. Процессы образования таких минералов рассматривались неоднократно (Дорфман, 1962; Дорфман и др., 1981; Чесноков и др., 1982; Черников и др., 1994; Черников, 2001). Они являются типоморфными минералами, формирующимися при глубинном гипергенезе в щелочных породах.

Известное накопление золота и других металлов в зоне окисления и коре выветривания месторождений Урала, Алтая, Казахстана, Узбекистана и других стран (Шаддун, 1948; Чухров, 1950; Голованов, 1961; Петровская, 1973; Мурзин, Малогин, 1987; Черников, 1992) связано именно с этими процессами. На рисунке 4 показано выделение самородного золота в результате такого

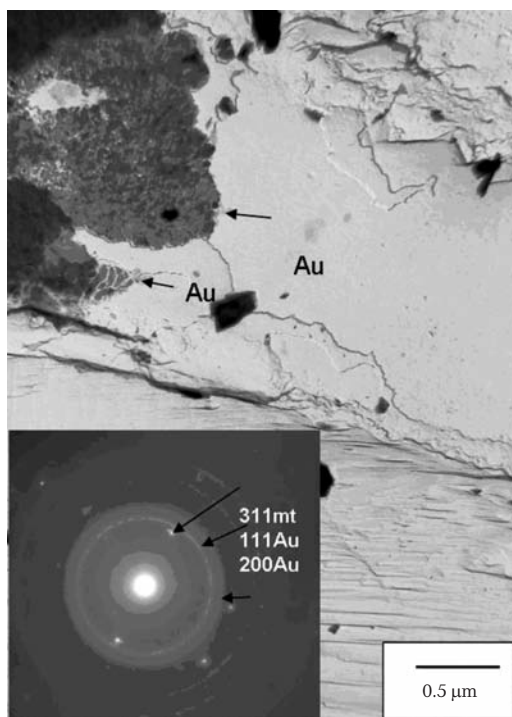


Рис. 4. На поверхности якобсита (Усинское м-ние, Кузнецкое Алатау) наблюдаются пленочные обособления самородного золота (показаны стрелками). Микродифракционная картина приведена рядом, на ней присутствуют кольцевые отражения самородного золота и якобсита (311 mt).

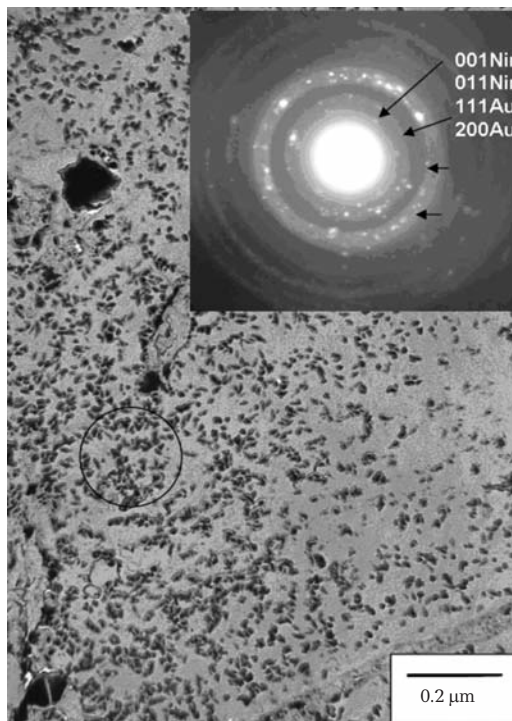


Рис. 5. На поверхности зерна кварца (поле рисунка) наблюдаются тонкодисперсные обособления ассоциаций самородного золота и нингиюита, месторождение Хиагда, Витимское плато. Микродифракционная картина приведена в правом верхнем углу рисунка, она получена с участка, показанного кружком. На ней присутствуют отражения (111), (200) самородного золота и (001), (011) нингиюита.

процесса на железо-марганцевом оксиде — яkobсите.

На Олимпиадском месторождении (Енисейский Кряж), где основные крупные запасы золота и платиноидов связаны с корой выветривания, установлено развитие самородного золота в виде глобулярных выделений размером 0.3–4.0 мкм на поверхности метакolloидных почек вольфрамсодержащего трипугиита (Сергеев, Самогин, 1990). Наиболее часто самородное золото выделяется в виде тонкой присыпки в метакolloидных гидроксидах железа (Петровская, 1973). Для золотоносных кор выветривания обычна приуроченность золота к зональным конкрециям лимонита в зонах развития глинистых минералов. Это наблюдалось на месторождениях Голден-Гроув и Кульгарди в Австралии, Фазенда-Нова в Бразилии, Нуламбур в Индии и в профиле коры выветривания кварц-мусковитовых сланцев Светлинского и Катаблинского месторождений Урала (Wilson, 1984; Bhaskara *et al.*, 1983; Nair *et al.*, 1987; Кузнецова, 2000).

Комплекс сорбционных и ионообменных процессов может приводить к накоплению других химических элементов и соединений. Хемсорбционные, а также последующие трансформационные и десорбционные преобразования, ведут к формированию минеральных ассоциаций и руд настуран-цеолитовых, β-уранофан-цеолитовых (рис. 3), фосфатов уранила-глинистых, шрекингерит-глинистых (Бойцов, Легиерски, 1977; Черников и др., 1983; Черников, 1981, 1992, 2001), серебро-глинистых, серебро-цеолитовых, серебро-гетитовых, золото-гетитовых (Артеменко, 1981; Сахарова и др. 1983; Шило и др., 1992; Черников, 1992; Двуреченская, 2001). На месторождении Хиагда, Витимское плато в результате подобных процессов произошла концентрация выделений нингиюита с золотом, а также тонкодисперсных ассоциаций самородного золота и нингиюита на зернах кварца (рис. 5).

Кроме известных случаев сорбции (Ni и Co — гетитом и нонтронитом, урана и редких земель — апатитом) установлены высокие концентрации Au, Pd, Pt, Ag в оксидах Fe, Mn, Al из кор выветривания Урала, Алтая, Забайкалья и других районов России и зарубежных стран

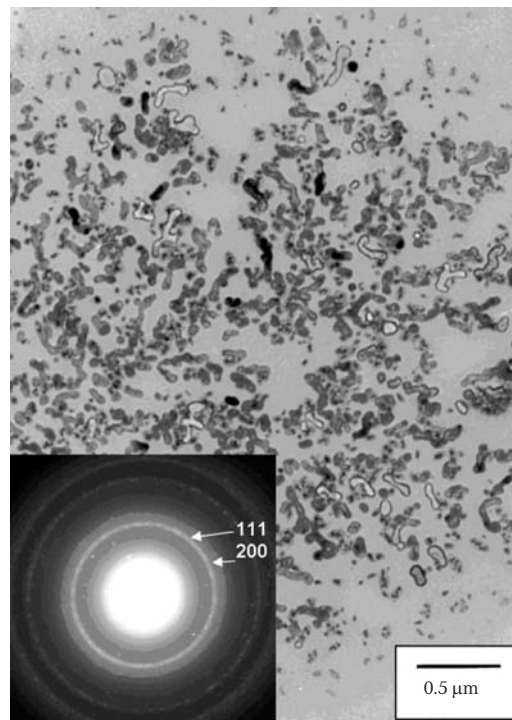


Рис. 6. Выделения самородного золота (темно-серое, серое и светло-серое) на поверхности оксида марганца (поле рисунка) (Никополь, Украина). Микродифракционная картина приведена в левом нижнем углу.

(Chernikov *et al.*, 2006; Савко и др., 2007). На Никопольском марганцевом месторождении (Украина) выявлены такие выделения самородного золота на оксидах марганца (рис. 6).

Сорбционные процессы играли значительную роль в формировании руд редких металлов (Nb, Ta, Be, Zr, TR, Li, Ti) в коре выветривания ряда областей России. Детальные геологические и минералогические работы в этих районах имеют высокие перспективы установить здесь промышленные месторождения урана, благородных и других металлов.

Заключение

В результате проведенных исследований установлены сходные черты в расположении минеральных ассоциаций в геологическом разрезе полиметалльных Онежских месторождений с минералого-геохимической зональностью, наблюдаемой на экзогенных инфильтрационных месторождениях Средней Азии и Казахстана, которые свидетельствуют об их генетической близости. Некоторые различия в минеральном составе их отвечают физико-химическим особенностям минералообразования при глубинном и приповерхностном гипергенезе двух рассматриваемых типов месторождений. Эти различия отразились и на содержании благородных металлов. Более высокие концентрации благородных металлов в Онежских месторождениях, в которых интенсивно проявился глубинный гипергенез, минералогические особенности различных генетических образований, форма выделений, их размер и характер распределения в зонах дают основание подтвердить ранее высказанное положение о возможности обнаружить крупные и уникальные запасы благородных металлов, в первую очередь вблизи разведанных уран-ванадиевых месторождений.

Выявлены близкие черты в минеральных ассоциациях пород Онежского прогиба, Южного Урала и, особенно, Кодаро-Удоканского прогиба, в котором перспективы обнаружения значительных запасов благородных металлов весьма велики.

Комплекс сорбционных, ионообменных, хемсорбционных процессов объясняет причины зонального расположения типоморфных минеральных ассоциаций и формирования фтор-силикатных с высоким рН прудземных вод в щелочных массивах. Сорбционные, а также последующие трансформационные и десорбционные преобразования сформировали значительный ряд практически важных геохимических и минеральных ассоциаций и

руд в зоне гипергенеза Урала, Алтая, Забайкалья и других районов России и зарубежных стран. Последующее геохимическое, минералогическое и геологическое изучение зоны гипергенеза месторождений, рудопроявлений и аномалий этих районов приведет к значительному увеличению сырьевых ресурсов урана, благородных и других металлов в нашей стране и за рубежом. Наличие месторождений с легко растворимыми минералами уранила позволяет рекомендовать отработку их подземным выщелачиванием урана на месте естественного залегания руд или кучным выщелачиванием. При таких методах отработки будет экономически выгодным вовлекать в разработку не только балансовые, но и забалансовые руды (до 0.01% U) и блоки пород с низким содержанием урана (возможно, до 0.005%, а может быть и ниже) в виду легкого его извлечения. Запасы этих руд значительно увеличатся, вплоть до крупных и суперкрупных. В первую очередь это касается шрекингеритовых скоплений в Монголии, Казахстане, возможно, США и других странах с аридным климатом, а так же β -уранофан-цеолитовых руд и руд с минералами уранила в ассоциации с глинистым веществом месторождений Забайкалья и других районов России и зарубежных стран.

Литература

- Артеменко О.В. О минералогических особенностях регенерированных рудных минералов из сереброносных гидротермальных жил // Вести МГУ. Сер. геол. **1981**. № 6. С. 93–97.
- Батулин Г.Н., Савенко В.С., Юшина И.Г. Об ассоциациях химических элементов в океаническом осадочном цикле // Докл. АН СССР. **1989**. Т. 309. № 6. С. 1453–1457.
- Билибина Т.В., Мельников Е.К., Савицкий А.В. О новом типе месторождений комплексных руд в Южной Карелии // Геол. рудных м-ний. **1991**. Т. 33. № 6. С. 3–13.
- Бойцов В.Е., Легиерски Я. Последовательность и время минералообразования на некоторых гидротермальных урановых месторождениях // Геол. рудных м-ний. **1977**. № 1. С. 39–50.
- Вернадский В.И. Биосфера. Очерки I и II. Л.: Научно-техн. изд-во. **1926**. 242 с.
- Витовская И.В., Бугельский Ю.Ю. Никеленосные коры выветривания. М.: Наука. **1982**. 190 с.
- Гинзбург И.И., Руквишников И.А. Минералы древней коры выветривания Урала. М.: АН СССР. **1951**. 715 с.

- Гонгальский Б.И., Сафонов Ю.Г., Кривоуцкая и др. Уникальная Удокан-Чинейская рудно-магматическая система. В кн.: Крупные и суперкрупные месторождения рудных полезных ископаемых. Т. 2. М.: ИГЕМ РАН. **2006**. С. 483–509.
- Гордеев В.В., Орешин В.Н. Серебро, кадмий и свинец в водах реки Амазонки, ее притоков и эстуария. *Геохимия*. **1990**. № 2. С. 244–256.
- Двуреченская С.С. Гипергенные минералы серебряных месторождений. М.: ЦНИГРИ. **2001**. 258 с.
- Дорфман М.Д. Минералогия пегматитов и зоны выветривания в ийолит-уртитях горы Юкспор Хибинского массива. М., Л.: АН СССР. **1962**. 168 с.
- Дорфман М.Д., Горощенко Я.Г., Бирюк Л.И., Князева Д.Н. Взаимодействие ломоносовита с водными растворами фтористого натрия и углекислого газа // Новые данные о минералах. М.: Наука. **1981**. Вып. 29. С. 149–151.
- Изучение торфяного сырья и сапропели. М.: Недра. **1970**. 150 с.
- Кельцев Н.В. Основы адсорбционной техники. М.: Химия. **1984**. 592 с.
- Кнауф В.В., Макарьев Л.Б., Ланда Э.А. Новый тип платиновой минерализации // Докл. РАН, геология. **2000**. Т. 371. № 3. С. 347–350.
- Крайнов С.Р., Марьков А.Н., Петрова Н.Т. и др. О существовании в глубоких горизонтах Ловозерского массива фтор-силикатных рассолов с низко щелочной (рН 12) реакцией // *Геохимия*. **1969**. № 7. С. 791–796.
- Кузнецова О.Ю. Минералого-геохимические особенности формирования золотоносных кор выветривания Урала. Автореф. дис. к. г. мин. наук. М.: ИГЕМ РАН. **2000**. 19 с.
- Кулешевич Л.В. Педролампы — золото-сульфидное месторождение в докембрии Карелии // Докл. РАН. **2008**. Т. 422. № 6. С. 802–806.
- Лаверов Н.П., Величкин В.И., Шумилин М.В. Урановые месторождения стран дружества: Основные промышленно-генетические типы и их размещение // *Геол. рудных м-ний*. **1992**. Т. 34. № 2. С. 3–18.
- Мельников Е.К., Шумилин М.В. О возможной модели образования уран-ванадиевых с благородными металлами месторождений в Онежском районе (Карелия) // *Изв. Высших учебных зав-ний. Геол. и разведка*. **1995**. № 6. С. 31–37.
- Мурзин В.В., Малюгин А.А. Типоморфизм золота зоны гипергенеза. Свердловск: УНЦ АН СССР. **1987**. 96 с.
- Никитина А.П. Древняя кора выветривания кристаллического фундамента Воронежской антеклизы и ее бокситоносность. М.: Наука, **1968**. 160 с.
- Перельман А.И. *Геохимия*. М.: Высш. шк., **1979**. 423 с.
- Перцев Н.В., Ульберг З.Р., Коган Б.С. и др. Механизм биогенного концентрирования металлов в шельфовых зонах дефицита наносов // *Геохимия*. **1990**. № 1. С. 112–116.
- Петровская Н.В. Самородное золото. М.: Наука. **1973**. 330 с.
- Савко А.Д., Бугельский Ю.Ю., Новиков В.М., Слукин А.Д., Шевырев Л.Т. Коры выветривания и связанные с ними полезные ископаемые. Воронеж: Истоки. **2007**. 355 с.
- Сахарова М.С., Посохова Т.В., Артеменко О.В. Типоморфизм самородного серебра // *Минералогический журнал*. **1983**. Т. 3. № 3. С. 3–13.
- Сергеев Н.Б., Самтоин Н.Д. Типоморфные минеральные парагенезисы и механизм минералообразования в золотоносных рудообразующих системах коры выветривания // *Экзогенные рудообразующие системы кор выветривания*. М.: Наука, **1990**. С. 207–215.
- Татаринов А.В., Ялович Л.И., Никитин С.Е. и др. Перспективы на платинометальное оруденение в Забайкалье // *Разведка и охр. недр*. **2000**. № 1. С. 58–61.
- Тарасевич Ю.Н., Овчаренко Ф.Д. Адсорбция на глинистых минералах. Киев: Изд-во АН УССР, **1975**. 353 с.
- Тихомирова В.Д. Самородные золото и серебро в рудах медистых песчаников севера Урала // *Алмазы и благородные металлы Тимано-Уральского региона. Материалы Всероссий. Совещ. Сыктывкар*. **2006**. С. 223–224.
- Тихомирова В.Д. Минералогия окисленных руд в месторождениях медистых песчаников на севере Урала. Сыктывкар. Геопринт. **2008**. 40 с.
- Торфяные и сапропелевые месторождения. Калинин: Калининский ун-т. **1982**. 154 с.
- Черников А.А. Поведение урана в зоне гипергенеза. М.: Недра. **1981**. 206 с.
- Черников А.А. Природные сорбенты, их поисково-оценочное и экологическое значение // *Изв. РАН. Сер. геологичес.* **1992**. № 3. С. 118–126.
- Черников А.А. Соотношение процессов коры выветривания и гипогенных факторов при формировании комплексных (V, Pd, Pt, Au, U) месторождений онежского

- типа // Главные геологические и коммерческие типы месторождений кор выветривания и россыпей, технологическая оценка и разведка. М.: ИГЕМ РАН. **1997**. С. 117.
- Черников А.А. Глубинный гипергенез, минерало- и рудообразование. М: Минер. Музей им. А.Е.Ферсмана РАН. **2001**. 100 с.
- Черников А.А., Дорфман М.Д., Двуреченская С.С. Особенности образования минеральных ассоциаций криогенного и глубинного гипергенеза // Доклады РАН. **1994**. Т. 335. № 4. С. 485–448.
- Черников А.А., Дубинчук В.Т., Ожогин Д.О., Чистякова Н.И. Особенности нахождения и распределения благородных металлов в рудах и в зоне окисления онежских уран-ванадиевых месторождений Ю. Карелии // Новые данные о минералах. **2007**. Вып. 42. С. 43–49.
- Черников А.А., Дубинчук В.Т., Чистякова Н.И. и др. Новые данные о ванадиевом гематите, микро- и нанокристаллах ассоциирующих с ним минералов благородных металлов, меди цинка и железа // Новые данные о минералах. Вып. 40. **2005**. С. 65–71.
- Черников А.А., Зенченко А.А., Шивторов И.В. Ассоциация минералов урана с цеолитами в новом типе урановых месторождений // Минералогия рудных месторождений. М.: Наука, **1983**. С. 5–13.
- Черников А.А., Хитров В.Г., Белоусов Г.Е. Роль углеродистого вещества в формировании крупных полигенных комплексных месторождений онежского типа // Углеродсод. Формации в геолог. истории. Петрозаводск: КНЦ РАН. **2000**. С. 194–199.
- Чесноков Б.В., Попов В.А., Никондров С.Н. Тенардит – мирабилитовая минерализация Ильменских и Вишневых гор Урала – новый тип сульфатной минерализации щелочных массивов // Докл. АН СССР. **1982**. Т. 263. № 3. С. 693–696.
- Чухров Ф.В. Зона окисления сульфидных месторождений степной части Казахстана. М.: АН СССР. **1950**. 244 с.
- Чухров Ф.В. Коллоиды в земной коре. М.: АН СССР. **1955**. 672 с.
- Шагдун Т.Н. Минералогия зоны окисления колчеданного месторождения Бявы на Южном Урале. М.: Тр. ИГиН АН СССР. **1948**. Вып. 96. 103 с.
- Шило Н.А., Сахарова М.С., Кривицкая Н.И. и др. Минералогические особенности золото-серебряного оруденения северо-западной части Тихоокеанского обрамления. М.: Наука. **1992**. 257 с.
- Школьник Э.Л., Жегалло Е.А., Богатырев Б.А. и др. Биоморфные структуры в бокситах. М.: Эслан. **2004**. 184 с.
- Шмариович Е.М., Натальченко Б.И., Бровин К.Г. и др. Поведение благородных металлов при инфильтрационном рудообразовании // Изв. РАН. Сер. геолог. **1992**. № 9. С. 121–132.
- Bhaskara R.A., Barros T.G.C., Adusumilli M.S. Lateritic gold project. **1983**. Ibid. P. 159–176.
- Bowen N. Environmental geochemistry. L. Etc., Acad. Press. **1979**. 333 p.
- Chernirov A.A. Typomorphism of uranium minerals and its practical significance // Inter. Geol. Reviu. **1982**. 24. N 5. P. 567–576.
- Chernikov A., Slukin A., Bugelskiy Yu., Novikov V. Near-Surface and Deep-Seated Weathering products and large or superlarge ore deposits // 12th Quadrennial IAGOD symposium. **2006**. Moscow. 21–24 august 2006. Abstracts. P. 91.
- Eisler R. Trace-metal concentration in marine organisms. N.Y.: Etc. Pergam. Press. **1981**. 687 p.
- Nair N.G.K. Lateri. // Chem. Geol. **1987**. V. 60. N 1/4. P. 309–315.
- Wilson A.F. Origin of quartz-free gold nuggets and supergene gold found in laterites and soils – a review and some new observations // Austral J. Earth Sci. **1984**. V. 31. N 3. P. 203–316.