

УДК 549.74

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
КАРБОНАТОВ КАК ИНДИКАТОРЫ УСЛОВИЙ
ИХ ОБРАЗОВАНИЯ НА НЕКОТОРЫХ
ЗОЛОТОПРОЯВЛЕНИЯХ ПРИПОЛЯРНОГО УРАЛА**

Е.И. Сорока, А.А. Галеев, Л.В. Леонова, О.Л. Галахова

Аннотация

С применением ряда физико-химических методов анализа состава и структуры минералов исследованы типоморфные признаки карбонатной минерализации, ассоциирующей с золотоносными отложениями. Объектами исследования являлись золотопроявления Амфитеатр и Чудное (Кожимский рудный район, Приполярный Урал). Рентгеноструктурными исследованиями установлены незначительные изменения параметров элементарных ячеек карбонатов из вмещающих пород, обусловленные наличием изоморфных примесей. По спектрам ЭПР в породах золотопроявления Амфитеатр установлено наличие ископаемого рассеянного органического вещества высокой степени метаморфизации, а также выявлены две генерации доломита: осадочная морская и гидротермальная околорудная. В породах Au–Pd-проявления Чудное присутствует только гидротермальный кальцит, который характеризуется высокой степенью дефектности структуры. Предполагается, что на золотопроявлении Амфитеатр гидротермальные карбонаты образовались в раннещелочную дорудную стадию, а на Au–Pd-проявлении Чудное – в позднещелочную пострудную.

Ключевые слова: золоторудные месторождения, карбонатные породы, кальцит, доломит, спектроскопические характеристики, жильные фации.

Введение

Карбонаты и карбонатные породы различного генезиса распространены на многих рудных месторождениях Урала. Анализ кристаллохимических и спектроскопических особенностей карбонатных минералов физико-химическими методами в комплексе с геологическими и литологическими методами изучения месторождений полезных ископаемых имеет важное прикладное значение для палеорекострукции процессов минерало- и рудообразования.

Исследованиями некоторых ученых [1, 2] показано, что с помощью методов электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) и люминесценции можно получить данные о кристаллохимических особенностях изоморфной примеси иона Mn^{2+} и других точечных дефектов кристаллической решетки карбонатов. Поскольку Mn^{2+} является типоморфным элементом сульфидообразующих гидротерм [3], прикладное значение этих исследований заключалось в выработке критериев оконтуривания палеогидротермальных рудных полей.

В работе [4] с применением методов ИК-спектроскопии, ЭПР и рентгенолюминесценции исследовалась стадийность формирования доломитовых брекчий

в карбонатных псефитолитах. При этом было установлено закономерное изменение концентрации парамагнитных дефектов в структуре доломита вследствие латеральных различий влияния континентального сноса на постседиментационные процессы. Кроме того, было выявлено частичное наследование примесного состава исходных доломитов в более поздних генерациях цемента доломитовых брекчий.

В ряде других работ [2, 5] была показана высокая информативность метода ЭПР при изучении органического вещества (ОВ) осадочных карбонатных пород, в частности рассеянного в породах органического вещества (РОВ). Установлено [5], что при метаморфизации ОВ концентрация углеродных радикалов последовательно увеличивается, достигает определенного максимума при средней (апоантрацитовый) степени метаморфизации и снижается при более высоких стадиях метаморфизации. Для РОВ в зависимости от его исходной природы и фациальных условий формирования осадков по парамагнитным свойствам можно выделить характерные типы спектров углеродных радикалов [2, 5].

Целью настоящей работы является установление типоморфных признаков карбонатной минерализации в золотопроявлениях Приполярного Урала, полученных с применением ряда физико-химических методов анализа состава и структуры минералов.

1. Объекты исследований

С целью уточнения условий рудообразования были изучены карбонаты в породах золотопроявления Амфитеатр и Au-Pd-проявление Чудное (Кожимский рудный район, Приполярный Урал) (рис. 1).

Золотоносные отложения Au-проявления Амфитеатр (левобережье р. Пелингичей, правого притока р. Балбанью) представлены кембрий-ордовикскими конгломератами, гравелитами, алевропесчаниками и алевросланцами, залегающими на брекчии мраморизованных известняков мороинской свиты верхнего рифея и перекрывающимися кварцито-песчаниками обеизской свиты нижнего ордовика [6]. Наиболее золотоносными являются рассланцованные серицитизированные, хлоритизированные и магнетитизированные гравелиты и алевропесчаники в средней части разреза. Самородное золото наблюдается в цементе пород и скоплениях магнетита, а также в сростках с магнетитом, хлоритом и слюдой. Большая часть золотин относится к мелким и тонким фракциям. Пробность золота 890–995 [6].

Брекчированная зона мраморизованных известняков в основании золотоносного разреза имеет мощность до 1 м. В ней присутствуют обломки доломитизированных известняков (рис. 2, *а*), цемент брекчий полностью перекристаллизован. В цементе представлены минеральные ассоциации: кварц – хлорит – биотит – кальцит и кварц – хлорит – серицит – кальцит (доломит). В валунно-галечных конгломератах (крупнообломочных конглобрекчиях) (рис. 2, *б*), залегающих над брекчированной зоной мраморов, появляется ассоциация кварц – хлорит – биотит – эпидот (альбит). Акцессорные минералы – сфен, турмалин, апатит. Рассеянная рудная минерализация представлена магнетитом (частично гематитизированным), гематитом и пиритом. Слюдистые минералы образуют чешуйки и лейсты крупностью до 1 мм. Хлорит зеленого цвета в цементе брекчии

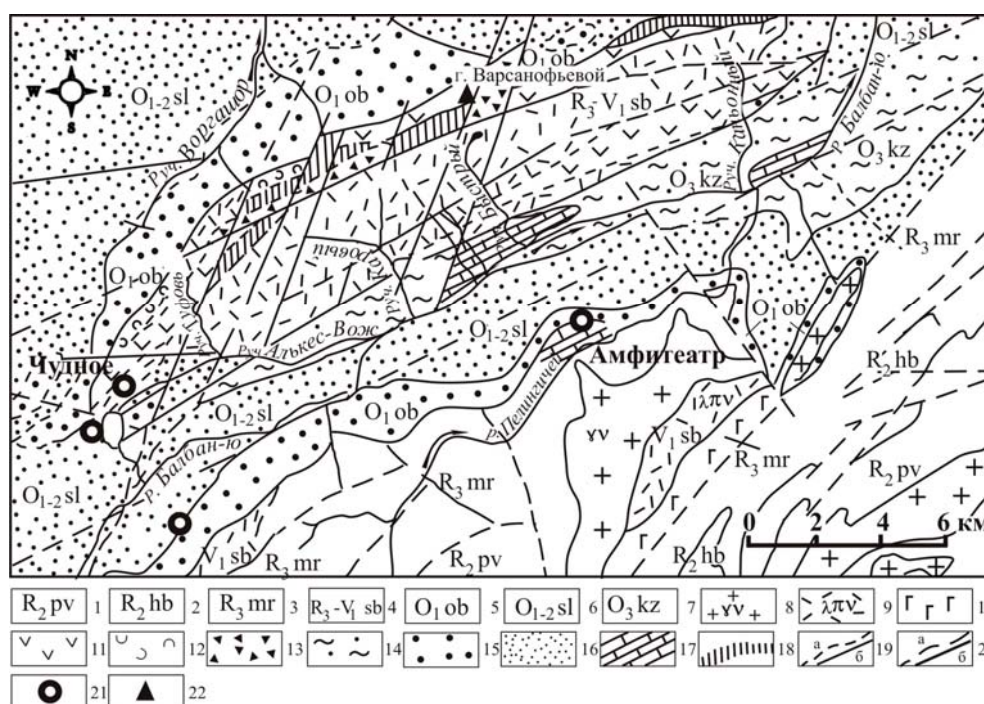


Рис. 1. Геологическая схема изучаемого района бассейна р. Балбанью, западный склон Приполярного Урала (по материалам Л.Т. Беляковой, 1963–1970 г.). Условные обозначения: 1 – средний рифей, пуйвинская свита (R_2pv), филлитовидные, серицит-хлоритовые, кварц-серицит-хлоритовые сланцы; 2 – верхний рифей, хобеинская свита (R_2hb), кварциты, кварцито-песчаники, серицит-хлоритовые сланцы; 3 – верхний рифей-венд, мороинская свита (R_2mr), базальтовые, андезит-базальтовые порфиры, их туфы, зеленые сланцы, филлиты с линзами известняков; 4 – верхний рифей-венд, саблгорская свита (R_3-V_1sb), кварцевые порфиры, фельзиты, их туфы, базальты; 5 – кембрий-нижний ордовик, тельпосская (обеизская) свита (O_1ob), полимиктовые, кварцевые конгломераты, гравелиты, песчаники, алевропесчаники, алевролиты; 6 – нижний-средний ордовик, хыдейская (салединская) свита (O_{1-2sl}), серицит-хлорит-кварцевые сланцы, алевролиты, алевропесчаники; 7 – средний-верхний ордовик, щугорская (кожимская) свита (O_3kz), известковистые сланцы, известняки, мраморы; 8 – кварцевые порфиры, субвулканическая фация; 9 – фельзиты, фельзитовые порфиры, туфы фельзитовых порфиров, туфопесчаники; 10 – туфолавы, лавовые брекчии; 11 – базальтовые и андезит-базальтовые порфиры; 12 – вулканические алевропесчаники, алевросланцы; 13 – кремнистые туффиты; 14 – мелкогалечные конгломераты, песчаники, серицит-хлорит-кварцевые сланцы; 15 – кварцевые конгломераты, гравелиты; 16 – песчаники, алевропесчаники; 17 – мраморизованные известняки; 18 – кварц-серицит-альбит-карбонат-хлоритовые, кварц-хлорит-серицитовые сланцы; 19 – стратиграфические границы: а – предполагаемые, б – достоверные; 20 – разрывные нарушения: а – предполагаемые, б – достоверные; 21 – Au–Pd-проявления Чудное и Нестеровское на левобережье р. Балбанью, Au-проявление Амфитеатр, месторождение кварца Желанное (правобережье р. Балбанью); 22 – вершины

относится к диабантиту с железистостью 46.0. Биотит зеленовато-коричневый с плеохроизмом по Ng – зеленым, по Nr – светло-желтым. Серицит фенгитового типа относится к политу типу $2M_1$. В цементе брекчий также обнаружены перекристаллизованные остатки палеозойской палеобиоты [7]. Мраморизованный известняк ниже зоны брекчирования представляет собой мелкозернистую породу, сложенную зернами доломита и кварца, в которой присутствует кальцит с полисинтетическими двойниками деформации по двум направлениям.

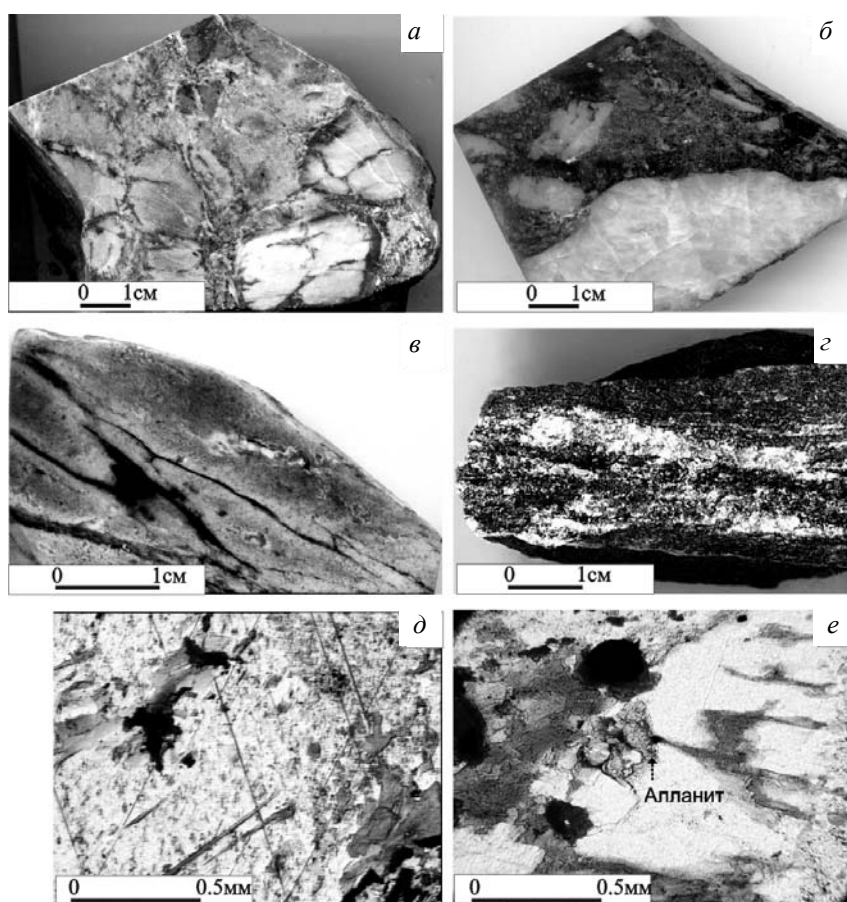


Рис. 2. Карбонат-содержащие породы рудопоявлений Амфитеатр и Чудное (Приполярный Урал): *а* – брекчия с обломками мраморизованных известняков, проявление Амфитеатр; *б* – конгломераты с обломками кварца и кварцитов, проявление Амфитеатр; *в* – трещиноватый риолит с выделением фуксита (темное) по трещинам, проявление Чудное; кварц-альбит-амфибол-хлоритовая порода с карбонатными прожилками (белые), проявление Чудное, скв. 106, интервал 12–14 м; микрофотография шлифа кварц-амфибол-серицит-хлоритовой породы с карбонатным (кальцитовым) прожилком, проявление Чудное, скв. 106, интервал 20–22 м, николи параллельны; микрофотография шлифа кварц-серицит-хлоритовой породы с кальцитовым прожилком, на границе с хлоритом виден новообразованный кристалл Се-эпидота (алланит), рудопоявление Чудное, скв. 106, интервал 32–34 м, николи параллельны

На площади Au–Pd-проявления Чудное (приводораздельная часть и юго-восточный склон хребта Малыднырд, левобережье р. Балбанью) на дневную поверхность выходят измененные породы кислого и основного состава, которые исследователи относят к вулканическим образованиям саблегорской свиты рифей-вендского возраста [8]. Рудные тела представлены штокверковыми зонами прожилковой минерализации северо-восточного простирания с углами падения 60–70° на северо-запад в породах кислого состава, в зонах расщепления и брекчирования осветленных и пронизанных сетью фукситовых, кварцевых, кварц-альбитовых, кварц-альбит-карбонатных и серицит-гематитовых прожилков [8]. Рудоносными являются преимущественно фукситовые прожилки (рис. 2, *в*).

Их мощность колеблется от 0.1 мм до 5–7 см. Кроме Au и PЗЭ, в рудах встречается самородный Pd и ряд его собственных минералов – арсенидов, антимонидов, стибноарсенидов, а также самородная Pt. Золото находится в ассоциации с фукситом и алланитом. Оно относится к весьма мелкому и тонкому. Пробность 726–880. В фукситовых прожилках в незначительном количестве присутствуют сульфиды. Отмечались находки Fe–Cr- и Fe–Cr–Ni-сплавов, а также в единичных случаях – Zn–Fe-хромшпинелидов в виде мелких зерен в фуксите [9].

На рудопроявлении Чудное карбонаты встречаются как в кислых породах, в кварц-альбит-карбонатных прожилках, так и в миндалинах и прожилках в породах основного состава, которые изучались по керну скважины 106, пробуренной на границе основных и кислых пород, выходящих на дневную поверхность на площади рудопроявления. Скважиной до глубины 45 м вскрыты породы темно-зеленого цвета амфибол-эпидот-альбит-хлоритового состава с карбонатными обособлениями (минадлинами) и прожилками мощностью от нескольких миллиметров до 1–2 см (рис. 2, *г–е*). С глубиной чаще встречаются интервалы, где содержание хлорита, кварца, слюды, карбоната увеличивается. Рудные представлены магнетитом и гематитом (1–2%), в меньшем количестве – титаномагнетитом и ильменитом. Магнетит представлен идиоморфными кристаллами, часто в сростках с хлоритом. На границе карбонатных и хлоритовых зон обнаружены кристаллы новообразованного Се-содержащего эпидота (рис. 2, *е*), оптически похожего на алланит. Повышенные содержания Au, Pt, Pd установлены и в основных породах по образцам из керна скважины 106 в интервале глубин 32–35 м: Au – 0.30 г/т; Pt – 0.05 г/т; Pd – 0.05 г/т (аналитик И.И. Неустроева, анализы выполнены химико-спектральным методом в Институте геологии и геохимии (ИГГ) УрО РАН) и приурочены к существенно хлоритовым участкам породы [10].

2. Методика и результаты исследований

Рентгеноструктурные исследования карбонатов рудопроявлений Чудное и Амфитеатр были выполнены на рентгеновском дифрактометре XRD-7000 (Shimadzu) в лаборатории физико-химических методов исследований ИГГ УрО РАН. Дифрактограммы кальцитов (рис. 3, *а*) содержат только симметричные по форме линии, интенсивности которых соответствуют табличным. Расщеплений линий, несимметричных уширений не наблюдается. Пробы структурно однородны и не содержат примесей другого изоструктурного карбоната. Расчет параметров элементарной ячейки карбонатов проведен по величинам межплоскостных отражений. У кальцитов из жильных образований проявления Чудное значения параметров элементарной ячейки пространственной группы $R\bar{3}c$ близки к эталонным: $a = 4.980(0) \pm 0.0003 \text{ \AA}$; $c = 17.01(2) \pm 0.006 \text{ \AA}$. Можно говорить о некотором понижении параметра a , что, возможно, связано с входением в структуру Mn^{2+} , Fe^{2+} .

Для доломитов брекчии золотопроявления Амфитеатр также были рассчитаны параметры элементарной ячейки пространственной группы $R\bar{3}$: $a = 4.812 \pm \pm 0.001 \text{ \AA}$; $c = 16.02 \pm 0.005 \text{ \AA}$. Они несколько завышены по сравнению с низкопримесными стехиометрическими эталонами. Дифрактограммы доломитов

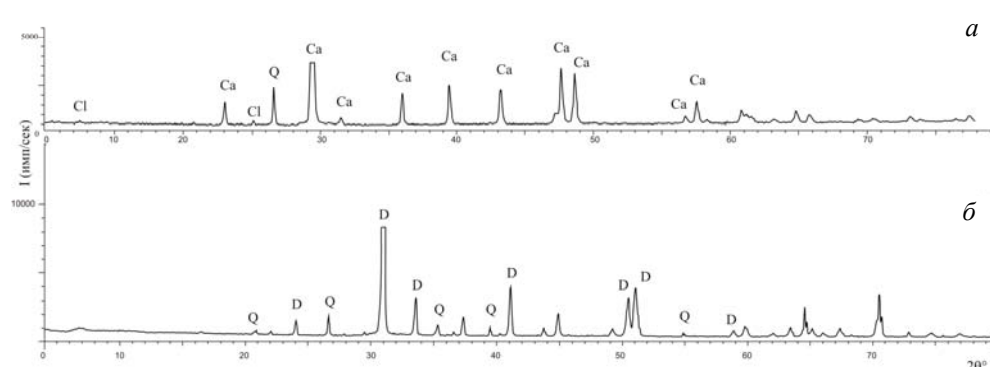


Рис. 3. Диффрактограммы карбонатов из пород золотопроявлений Чудное и Амфитеатр (Приполярный Урал): *a* – кальцит из прожилка, Au–Pd-проявление Чудное, скв. 106, интервал 32–34 м; *б* – доломит из обломков известняков золотопроявления Амфитеатр

показывают, что присутствует примесь кальцита и не исключена примесь кварца (рис. 3, *б*).

Анализ химического состава обломков карбонатных пород из доломитовой брекчии золотопроявления Амфитеатр показал (масс. %): SiO_2 – 5.72; TiO_2 < 0.05; Al_2O_3 – 0.16; Fe_2O_3 – 1.52; MnO – 1.30; MgO – 20.01; CaO – 28.59; Na_2O < 0.01; K_2O – 0.03; H_2O^- < 0.10; п.п.п. – 42.58; P_2O_5 – 0.08; CO_2 – 42.19; сумма – 99.99 (аналитик Ю.Ф. Мельнова, Южно-Уральский Центр коллективного пользования по исследованию минерального сырья, г. Миасс).

Карбонаты цемента брекчии были дополнительно исследованы в лаборатории рентгеноспектрального микроанализа (оператор В.А. Вилисов, ИГГ УрО РАН).

ЭПР-исследования карбонатов были выполнены в лаборатории физики минералов Казанского федерального университета. Использовались порошковые навески 20–40 мг исходных и прогретых образцов при температурах 350 °С и 600 °С в течение 30 мин. Запись производилась при комнатной температуре в автоматическом режиме на портативном спектрометре ПС100.Х с рабочей частотой 9.272 ГГц.

По спектральным характеристикам сигналов ЭПР карбонат обломков брекчии золотопроявления Амфитеатр содержит ископаемое рассеянное органическое вещество, фиксируемое в исходных образцов по сигналу Rс-org в области радикалов с $g \sim 2.0035$ (± 0.0005) и шириной «от пика до пика» $\Delta H_{pp} \sim 6$ Гс (рис. 4, *a*). Этот слабый сигнал уменьшается по интенсивности после прогрева при 350 °С вместе с более узкими сигналами радиационных центров и полностью исчезает после прогрева при 600 °С, что характерно для углефицированной органики на нисходящей ветви метаморфизации [2, 5]. Спектр ЭПР (рис. 4, *б*) изоморфных ионов Mn^{2+} доломитовой брекчии представляет собой наложение секстетов сверхтонкой структуры двух доломитовых фаз: интенсивный спектр с шириной линий более 40 Гс и гораздо менее интенсивный спектр с узкими линиями ~ 5 Гс.

Карбонат исследованных образцов из основных пород Au–Pd-проявления Чудное имеет на спектрах ЭПР только секстет из широких линий изоморфного Mn^{2+} в кальците (рис. 5). Для карбонатов, отобранных по скважине 106 с глубины

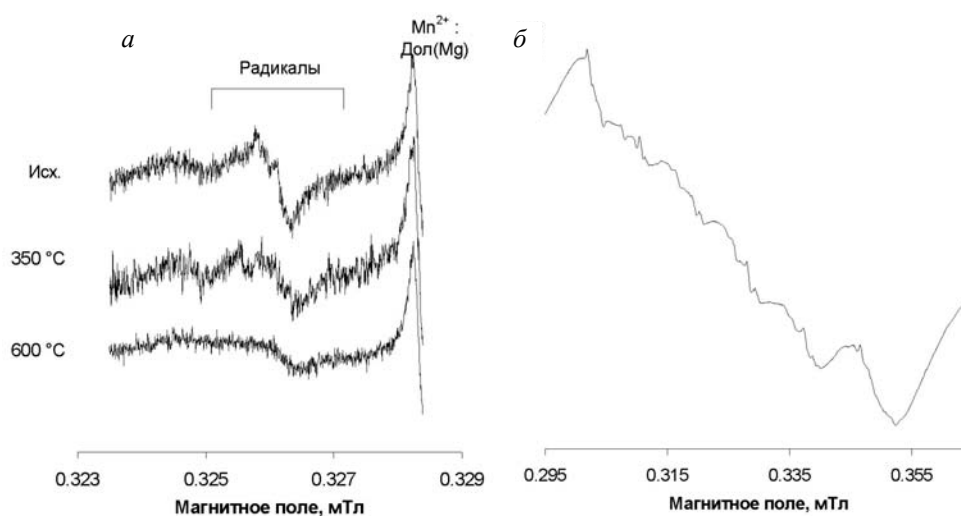


Рис. 4. Спектры ЭПР обломков карбонатов брекчии золотопроявления Амфитеатр: *а* – термостимулированные изменения в интенсивности линии спектра углеродного радикала; *б* – суперпозиция спектров Mn^{2+} с узкими и широкими линиями, принадлежащих двум разным генерациям доломита

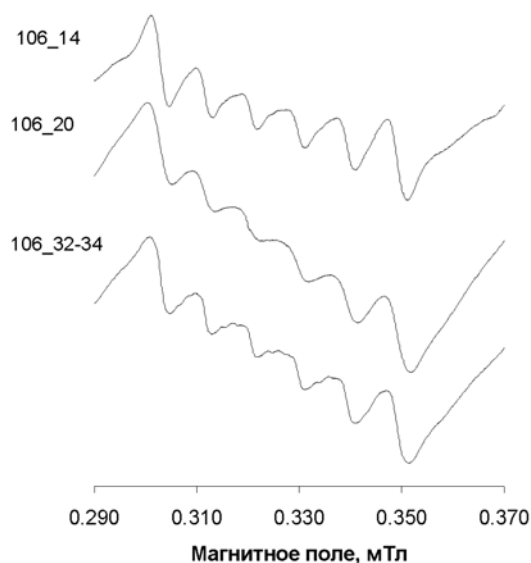


Рис. 5. Спектры ЭПР Mn^{2+} в кальците карбонатных прожилков из кварц-амфибол-хлоритовых пород, скв. 106, Au–Pd-проявления Чудное

14 м, ширина линий $\Delta H_{pp} \sim 37$ Гс, для образцов с глубины 20 м $\Delta H_{pp} \sim 50$ Гс, для карбонатов из интервала 32–34 м характерны спектры с $\Delta H_{pp} \sim (38 \div 49)$ Гс. После прогрева образцов при $600^\circ C$ ширина этих линий незначительно уменьшается. Для сравнения на рис. 6 приведены спектры ЭПР Mn^{2+} мраморизованных ордовикских известняков, развитых на хр. Малдынырд в нескольких км на северо-восток от площади Au–Pd-проявления Чудное. Мраморизованные известняки имеют узкие линии Mn^{2+} ($\Delta H_{pp} \sim 5$ Гс).

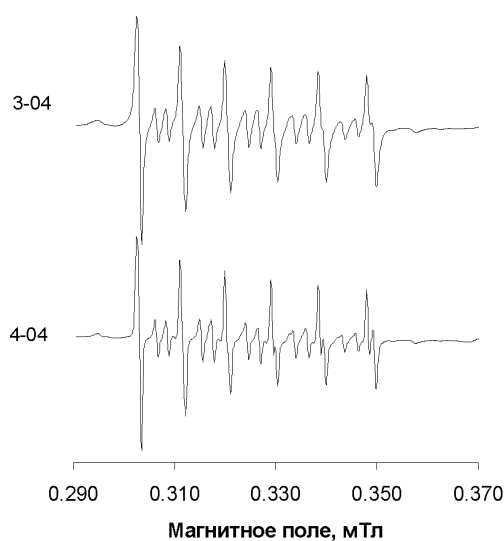


Рис. 6. Спектры ЭПР Mn^{2+} в кальците мраморизованных известняков хр. Малдынырд (Приполярный Урал)

3. Обсуждение результатов

В исследованных нами образцах с золотопроявления Амфитеатр карбонат с широкими линиями спектра, вероятно, вторичный, гидротермальный. Существенное уширение линий Mn^{2+} связано с увеличением взаимодействия катионов Mn^{2+} между собой и с катионами Fe^{2+} при их повышенных концентрациях в кристаллической структуре карбонатов [3]. Для удобства анализа экспериментальных данных исследователями [3] использовалась качественная классификация образцов по ширине линии, в результате чего ими было выделено 5 типов спектров. В карбонатах первых 4 типов ширина индивидуальных линий в спектре Mn^{2+} изменяется от 0.7 до 32 Гс. У карбонатов 5-го типа наблюдалась широкая линия спектра с неразрешенной СТС. Наиболее различаются по ширине линии мраморизованные известняки морского генезиса и жильные карбонаты внутри- и околорудных фаций. Для первых характерны узкие линии ЭПР Mn^{2+} , для последних – широкие.

Таким образом, по аналогии с [3], карбонат из золотопроявления Амфитеатр с узкими линиями может быть отнесен к осадочным морским образованиям (так как в морской воде содержание Mn и Fe недостаточно высокое, чтобы на спектрах обычных для этой среды карбонатных осадков наблюдалось концентрационное уширение линий ЭПР изоморфного марганца). Высокодефектные разности содержат наибольшее количество изоморфных примесей Mn^{2+} , Fe^{2+} и др. и соответствуют достаточно высокотемпературным условиям образования в присутствии флюидов, обогащенных рудными элементами.

По данным микронзондового анализа, приведенным в табл. 1, карбонаты брекчий представлены кальцитом, доломитом и долмитом-анкеритом. Кальцит обнаруживает широко варьирующую магнезиальность – от 0.62% до 2.36% $MgCO_3$. Отдельные его выделения зональны – краевые части (см. табл. 1, ан. 4) более магнезиальны и железисты, чем центральные (ан. 5). Зональный кальцит

Табл. 1

Химический состав карбонатов зоны брекчирования мраморов золотопроявления Амфитеатр (Приполярный Урал)

№ анализа	Минерал	CaCO ₃	MgCO ₃	FeCO ₃	MnCO ₃	Сумма
1	кальцит	94.79	2.05	0.21	2.89	99.94
2	кальцит	93.09	0.62	0.14	5.52	99.37
3	кальцит	92.17	1.73	2.36	3.18	99.44
4	кальцит	92.22	2.36	1.93	3.01	99.52
5	кальцит	96.82	0.62	0.62	1.72	99.78
6	кальцит	92.97	2.29	1.87	2.84	99.97
7	кальцит	94.02	1.63	0.17	3.49	99.31
8	доломит	36.58	43.46	0.12	0.00	101.94
9	доломит	54.21	44.91	0.19	0.19	99.50
10	доломит	56.41	43.08	0.06	0.02	99.57
11	доломит-анкерит	51.64	31.35	9.11	6.84	98.94
12	доломит-анкерит	54.71	28.65	11.78	4.69	99.83

Примечание: рентгеноспектральный микроанализ выполнен в ИГТ УрО РАН (оператор В.А. Вилисов).

заполнял, по-видимому, пустоты в силикатном материале цемента. Установлены равновесные сростания высокомагнезиального кальцита с доломит-анкеритом (9.11–11.78% FeCO₃) [11]. Используя доломит-кальцитовый геотермометр [12], можно рассчитать условия формирования карбонатных парагенезисов (ан. 3, 12 и 6, 11): $T = (486 \div 439) \text{ }^\circ\text{C}$, $P = (1.03 \div 0.72) \text{ кбар}$. Положение низкожелезистого и марганцовистого доломита в схеме минералообразования не ясно. Равновесие его с кальцитом не достигалось. Обращает внимание повышенная марганцовистость кальцита и доломита-анкерита (6.84% MnCO₃), что также может свидетельствовать о высокой активности марганца в растворах [13].

Вероятно, карбонатные породы золотопроявления Амфитеатр изначально являлись морскими отложениями, которые были подвергнуты тектоническому воздействию и гидротермальной проработке. Гидротермальные изменения пород сопровождали и следовали за тектонической деформацией, о чем свидетельствует наличие реликтов полисинтетических двойников в кальците. В цементе конгломератов и крупнообломочных конглобрекций, залегающих над брекчированной зоной мраморов, количество новообразованного карбоната резко снижается, что обусловлено, скорее всего, уменьшением активности CO₂ во флюиде. В минеральной ассоциации появляется эпидот. По опубликованным экспериментальным данным [14], для образования эпидота благоприятно воздействие слабокислых Са-содержащих хлоридных растворов. Оптимальная температура его образования составляет 300–400 °С, активность уголекислоты, очевидно, снижается, так как $X_{\text{CO}_2} > 0.1\text{--}0.2$ флюида препятствует образованию эпидота [14]. Можно предположить, что минеральная ассоциация, развитая на границе зоны брекчирования карбонатных и терригенных пород, соответствует эпидот-хлоритовой фации пропилитов с температурой образования 450–360 °С [15]. А карбонаты гидротермального происхождения в породах золотопроявления Амфитеатр можно отнести к раннещелочной стадии. Они образовались при $T \sim 450\text{--}400 \text{ }^\circ\text{C}$ и $X_{\text{CO}_2} > 0.1\text{--}0.2$.

По ширине линий спектра, карбонаты из основных пород Au–Pd-проявления Чудное можно отнести к жильным околорудным фациям, которые характеризуются высокой степенью дефектности структуры [3].

Новообразованный карбонат из основных пород Au–Pd-проявления Чудное неоднороден, представлен кальцитом, содержащим примеси Mg, Fe, Mn. Микронзондовый анализ кальцита (аналитик В.Н. Филиппов, JSM-6400, энергодисперсионный спектрометр Link, ИГ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар) позволяет рассчитать его кристаллохимическую формулу: $(\text{Ca}_{0.97}\text{Mn}_{0.02}\text{Mg}_{0.01}\text{Fe}_{0.01})_{1.01}[\text{CO}_3]$. Оторочка кальцитовой зоны представлена хлоритом и кварцем. Хлорит относится к клинохлору и шамозиту с кристаллохимической формулой: $(\text{Mg}_{2.37}\text{Fe}_{2.28}\text{Al}_{0.32}\text{Mn}_{0.05})_{5.02}\text{Al}_{1.00}[(\text{Si}_{2.76}\text{Al}_{1.24})_{4.00}\text{O}_{10}](\text{OH})_8$ (микронзондовый анализ, JСХА-733, энергодисперсионный спектрометр Link, оператор В.А. Муфтахов, ИМин УрО РАН, г. Миасс). В карбонатных миндалинах и прожилках на границе с хлоритом встречается Се-эпидот, оптически похожий на алланит рудных зон в породах кислого состава проявления Чудное [16]. Его кристаллохимическая формула: $(\text{Ca}_{1.58}\text{Ce}_{0.21}\text{Nd}_{0.10}\text{La}_{0.08}\text{Mn}_{0.03})_{2.00}(\text{Al}_{1.93}\text{Fe}_{1.10})_{3.03}[\text{Si}_{2.97}\text{O}_{12}](\text{OH})$.

В незначительном количестве в карбонате миндалин и прожилков встречаются сульфиды, представленные пиритом, халькопиритом, галенитом, а также теннантитом и сфалеритом [16]. Кроме того, в них обнаружены такие редкие минералы, как черчит $(\text{Y}_{0.87}\text{Dy}_{0.06}\text{Gd}_{0.02}\text{Er}_{0.04})_{0.99}(\text{P}_{1.01}\text{O}_4) \cdot 2.39\text{H}_2\text{O}$ и акантит $(\text{Ag}_{2.01}\text{Fe}_{0.11})_{2.12}\text{S}_{0.87}$ (аналитик В.Н. Филиппов, JSM-6400, энергодисперсионный спектрометр Link, ИГ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар).

По предположению ряда исследователей [9], растворы, с которыми была связана благороднометалльная минерализация Au–Pd-проявления Чудное, носили восстановительный характер. На это указывает и присутствие сульфидов. Рудный этап, образование самородных Au, Ag, Cu, минералов Pd, совпадал с образованием хромсодержащих слюд и алланита [9]. Для фуксита из фукситовых прожилков рудопроявления Чудное предлагаются следующие физико-химические условия образования: $T \sim (400 \div 370) \text{ }^\circ\text{C}$, $P \sim 1.7$ кбар, при близонейтральных значениях рН [17]. Активность углекислоты не была постоянной, что проявилось в новообразованных минеральных ассоциациях. Кроме того, образование таких минералов, как акантит и черчит, могло иметь место либо при падении температуры, либо при последующих гипергенных изменениях, так как акантит стабилен ниже $177 \text{ }^\circ\text{C}$. Таким образом, карбонаты в породах рудопроявления Чудное, скорее всего, образовались при температуре около $370 \text{ }^\circ\text{C}$ и $X_{\text{CO}_2} > 0.1\text{--}0.2$. По мнению ряда исследователей [9], их можно отнести к карбонатам позднещелочной пострудной стадии.

Полученные физико-химическими методами результаты изучения карбонатов данных золотопроявлений указывают на изменение РТ-условий и активности углекислоты в процессе рудообразования. При образовании гидротермальных карбонатов флюид имел восстановительный характер с $X_{\text{CO}_2} > 0.1\text{--}0.2$. Эволюция флюида на золотопроявлении Амфитеатр сопровождалась понижением температуры до $\sim (450 \div 270) \text{ }^\circ\text{C}$, общего давления – от 1.5 до 0.5 кбар и $X_{\text{CO}_2} < 0.1\text{--}0.2$. Карбонаты гидротермального происхождения в породах золотопроявления Амфитеатр можно отнести к карбонатам предшествовавшей рудообразованию раннещелочной стадии. Эволюция флюида на Au–Pd-проявлении

Чудное также сопровождалась понижением $T \sim (400 \div 170) ^\circ\text{C}$, общего давления от 1.7 до 0.5 кбар, но с последующим повышением активности углекислоты $X_{\text{CO}_2} > 0.1-0.2$. Поэтому карбонаты в породах золотопроявления Чудное можно отнести к карбонатам жильных фаций позднещелочной пострудной стадии.

Summary

E.I. Soroka, A.A. Galeev, L.V. Leonova, O.L. Galakhova. Physical-Chemical Characteristics of Carbonates as Indicators of Their Formation Conditions at Some Gold Ore Deposits of Nether-Polar Urals.

Carbonates from Amfiteatr and Chudnoe gold ore deposits (Nether-Polar Urals) were studied by a number of physical-chemical methods to reveal typomorphic features of carbonate mineralization. Only insignificant changes in the parameters of carbonate crystal structure caused by the presence of isomorphic impurities were observed by X-ray diffraction analysis. The EPR spectra showed the presence of dispersed organic matter with a high degree of metamorphization in the rocks of the Amfiteatr deposit. Two generations of dolomite (marine sedimentary and hydrothermal wallrock) were also revealed. Hydrothermal calcite from the Chudnoe deposit was characterized by a high degree of structural imperfection. According to the type of origin, submarine sedimentary and hydrothermal veined facies were distinguished. As regards the process of gold mineralization, hydrothermal veined carbonates correspond to the early alkaline pre-ore stage at the Amfiteatr deposit and the late alkaline post-ore stage at the Chudnoe one.

Key words: gold ore deposits, carbonate rocks, calcite, dolomite, spectroscopic characteristics, hydrothermal veined facies.

Литература

1. Крутиков В.Ф., Щербаков В.Д. Экспрессная диагностика кальцита, магнезита и доломита в карбонатсодержащих породах методами ЭПР и фотолюминесценции: методические рекомендации НСОММИ № 110. – М.: МПР РФ, 1995. – 34 с.
2. Муравьев Ф.А., Силантьев В.В., Винокуров В.М., Галеев А.А., Булка Г.Р., Низамутдинов Н.М., Хасанова Н.М. Парамагнитные свойства и дифференциация рассеянного органического вещества в пермских осадочных породах Татарстана // Материалы чтений к 170-летию Н.А. Головкинского. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2004. – С. 107–126.
3. Вотяков С.Л., Масленников В.В., Борисов Д.Р., Краснобаев А.А. Марганец – индикатор условий образования карбонатов на колчеданных медно-цинковых месторождениях Южного Урала (Россия) // Геол. рудн. месторожд. – 1996. – Т. 38, № 6. – С. 558–569.
4. Лютноев В.П., Антошкина А.И. Спектроскопические маркеры стадийности формирования карбонатных псефитолитов // Литосфера. – 2009. – № 6. – С. 107–116.
5. Хасанов Р.Р., Галеев А.А. Эволюция сингенетического органического вещества в палеозойских отложениях центральной части Волго-Уральской антеклизы // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2008. – Т. 150, кн. 3. – С. 152–161.
6. Тарбаев М.Б., Малюгин А.А., Сорока Е.И., Филиппов В.Н. Самородное золото из ордовикских конгломератов Приполярного Урала // Минералог. журн. – 1991. – Т. 13, № 5. – С. 52–59.
7. Сорока Е.И., Леонова Л.В., Галеев А.А. Возраст и происхождение доломитовой брекчии в основании разреза золотоносных отложений рудопроявления Амфитеатр (Приполярный Урал) // Типы седиментогенеза и литогенеза и их эволюция в исто-

- рии Земли: Материалы 5-го Всерос. литолог. симпозиума. – Екатеринбург, 2008. – С. 293–296.
8. *Тарбаев М.Б., Кузнецов С.К., Моралев Г.В., Соболева А.А., Лапутина И.П.* Новый золото-палладиевый тип минерализации в Кожимском районе Приполярного Урала (Россия) // Геол. рудн. месторожд. – 1996. – Т. 38, № 1. – С. 15–30.
 9. *Шумилов И.Х., Остащенко Б.А.* Минералого-технологические особенности Au-Pd-TR оруденения на Приполярном Урале. – Сыктывкар: Геопринт, 2000. – 104 с.
 10. *Волченко Ю.А., Коротеев В.А., Сорока Е.И., Неустроева И.И.* Малдинский тип золото-платина-палладиевых руд (западный склон Урала): состав, условия нахождения, способность к россыпеобразованию // Материалы XI Междунар. науч. конф. «Строение, геодинамика и минерагенические процессы в литосфере». – Сыктывкар: Геопринт, 2005. – С. 55–56.
 11. *Сорока Е.И., Мурзин В.В.* Гидротермальные изменения зоны брекчирования золото-проявления Амфитеатр // Ежегодник-1997. – Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 1998. – С. 115–116.
 12. *Таланцев А.С.* Геотермобарометрия по доломит-кальцитовым парагенезисам. – М.: Наука, 1981. – 135 с.
 13. *Бороденков А.Г., Русинов В.Л.* Физико-химические условия образования карбонатов и некоторых рудных месторождений // Геохимия. – 1982. – № 9. – С. 1257–1276.
 14. *Зарайский Г.П.* Зональность и условия образования метасоматических пород. – М.: Наука, 1989. – 341 с.
 15. *Сазонов В.Н., Мурзин В.В., Григорьев Н.А., Гладковский Б.А.* Энодогенное оруденение девонского андезитовидного вулcano-плутонического комплекса (Урал). – Свердловск: Ин-т геологии и геохимии, 1991. – 184 с.
 16. *Сорока Е.И., Ерохин Ю.В., Леонова Л.В., Муфтахов В.А., Филиппов В.Н.* Метасоматиты основного состава золото-палладиевого проявления Чудное (Приполярный Урал) // Материалы XIV геол. съезда. – Сыктывкар, 2004. – С. 105–107.
 17. *Сорока Е.И.* Высокоглиноземистые породы хребта Малдынырд (Приполярный Урал). – Екатеринбург: УрО РАН, 2009. – 82 с.

Поступила в редакцию
16.01.12

Сорока Елена Индустрвна – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Института геологии и геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург.

E-mail: soroka@igg.uran.ru

Галеев Ахмет Асхатович – кандидат физико-математических наук, заведующий кафедрой общей геологии и гидрогеологии Казанского (Приволжского) федерального университета.

E-mail: Akhmet.Galeev@ksu.ru

Леонова Любовь Владимировна – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Института геологии и геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург.

Галахова Ольга Львовна – научный сотрудник Института геологии и геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург.

E-mail: galakhova@igg.uran.ru