

МЕТАКАРБОНАТНЫЕ ПОРОДЫ ПРОТЕРОЗОЯ ЕВРАЗИИ (ПЕТРО-ГЕОХИМИЧЕСКИЙ АСПЕКТ)

В.Т. Сафронов

Геологический институт РАН, Москва, safronov_vt@mail.ru

В настоящее время присутствие карбонатных отложений известно на всем доступном геологическому изучению отрезке истории Земли. При этом карбонатные породы докембрия несут важную информацию о ранних этапах седиментации, о возникновении и развитии жизни на Земле. С карбонатными толщами довольно часто связаны месторождения и проявления ряда рудных полезных ископаемых (Pb, Zn, Mn и др.). Кроме того, известно, что карбонатные породы содержат не менее 40 % мировых запасов нефти, хотя по различным оценкам составляют 16–25 % осадочной оболочки Земли, да и сами карбонатные породы представляют собой важное полезное ископаемое. Таким образом, изучение карбонатных толщ имеет большое научное и практическое значение.

В данной работе будут рассмотрены метакарбонатные отложения протерозоя в разных районах Евразии (хапчанская серия Анабарского щита 2,4–2,1 млрд лет; метакарбонатные породы бумбугерского (PR₁) и ульдзитгольского (R₁₋₂) комплексов Байдарикского блока Центральной Монголии; кальцифиры гранулитового комплекса (PR₁) Балтийского щита и метакарбонатные толщи (2,1–1,92 млрд лет) Северо-Карельской синклинали зоны Балтийского щита.

В пределах **Анабарского щита** метакарбонатные породы (мраморы, кальцифиры) наиболее широко развиты в верхних частях разреза, где они входят в состав карбонатно-гнейсовой ассоциации, которая наблюдается в виде двух полос в пределах западной (вюрбюрская серия) и восточной (хапчанская серия) окраин щита (Розен и др., 1990 и др.).

В составе вюрбюрской серии метакарбонатные породы (кальцифиры) составляют до 7 % разреза. Кальцифиры данной серии представлены в основном кальцитовыми разностями и наблюдаются в виде линзовидных тел мощностью от первых метров до первых десятков метров и протяженностью до сотен метров. Сложены кальцифиры в основном кальцитом, диопсидом, скаполитом, кварцем, \pm плагиоклаз, \pm ортоклаз.

В составе хапчанской серии метакарбонатные породы (мраморы и кальцифиры) составляют до 15 % разреза свиты и представлены протяженными горизонтами (до 8–12 км в длину и мощностью до первых сотен метров). Метакарбонаты хапчанской серии в основном представлены кальцитом, диопсидом, скаполитом, \pm плагиоклаз, \pm кварц.

Проведенные литохимические пересчеты метакарбонатных пород показали, что исходными отложениями кальцифиров вюрбюрской серии, видимо, были песчано (существенно кварцевые)-карбонатные осадки, а первичными отложениями метакарбонатов хапчанской серии — песчанисто-глинисто-карбонатные (преимущественно кальцитовые) осадки (Розен и др., 1990 и др.). Изотопный состав углерода кальцита кальцифиров вюрбюрской серии имеет значения $\delta^{13}\text{C}=9,3\div 11,6$ ‰ и, видимо, свидетельствует, что формирование исходных отложений происходило в эвапоритовых условиях, а изотопный состав углерода карбонатных пород хапчанской серии ($\delta^{13}\text{C}=-3,5\div 0,5$ ‰) характерен для карбонатов, сформировавшихся на шельфе открытого моря (Розен и др., 1990 и др.). Повышенные содержания в отдельных разрезах Ba (до 500 г/т), Sr (до 2500 г/т), присутствие сульфат-иона в скаполите, изотопно-тяжелого углерода, говорит об эвапоритовых условиях формирования исходных отложений в некоторых частях палеобассейна.

В разрезе **Байдарикского блока докембрия Центральной Монголии** метакарбонатные породы известны в составе бумбугерского (PR₁) и ульдзитгольского (R_{1,2}) комплексов (Митрофанов и др., 1981 и др.). В составе бумбугерского комплекса метакарбонатные породы (мраморы) слагают пласты от 1–2 до 6–8, иногда до 15–20 м мощности. Породы обычно белые, светло-серые, но иногда имеют полихромную окраску (от белого, светло-желто-зеленого до янтарно-желтого, ярко-зеленого) и состоят из кристаллов доломита, кальцита с небольшими количествами кварца, флогопита, пироксена и оливина. Изредка отмечаются небольшие (1–2 мм) чешуйки графита. По значениям коэффициента доломитности ($M=\text{MgO}/\text{CaO}+\text{MgO}$, %) данные породы относятся к ряду известково-доломитовых — доломитовых мраморов, а по содержаниям SiO₂ и CO₂ — к карбонатным отложениям с силикатной (песчанистой) примесью.

В вышележащем ульдзитгольском комплексе карбонатные породы представлены двумя пачками: нижняя пачка — светло-серые известковистые доломиты мощностью 20–25 м. Верхняя пачка (25–30 м) сложена известняками, которые по коэффициенту доломитности (M) составляют ряд от чистых известняков до доломитовых известняков. Заканчивается разрез ульдзитгольского комплекса толщей углеродсодержащих филлитовых сланцев. Довольно часто карбонатные породы данного комплекса имеют разные оттенки серого цвета, что обусловлено присутствием в их составе тонкораспыленного углеродистого вещества, о биогенности которого свидетельствуют находки в них следов жизнедеятельности сине-зеленых водорослей (строматолитов, онколитов) и органических остатков (Бойшенко, 1978 и др.). Литохимические пересчеты карбонатных метаспоров на нормативно-минеральный состав по методу (Розен и др., 2003) показали, что исходными отложениями данных пород, видимо, были как чисто карбонатные (силикатной примеси менее 5 %), так и отложения, содержащие заметные количества (5–25 % и более) силикатных минералов (кварц, полевые шпаты) и практически не содержащие глинистых минералов, т. е. среди исходных отложений, вероятно, присутствовали только породы ряда песчаник (алевролит) – карбонат. Характерной особенностью метакарбонатных пород двух комплексов являются пониженные, относительно карбонатов фанерозоя (Turekian, Wedepohl, 1961), содержания ряда петро- и микроэлементов (Al, Mn, K, Cr, Ni, V, Zn, Zr, Pb). Во всех проанализированных образцах присутствует Sr, причем минимальные содержания (среднее

по 4 образцам — 56 г/т) приурочены к доломитовым мраморам бумбугерского комплекса, а максимальные — к толще известняков ульдзиггольского комплекса (среднее по 10 образцам — 1929 г/т), что более чем в три раза превышает его кларк (610 г/т) в карбонатах фанерозоя по (Turekian, Wedepohl, 1961). При этом во всех изученных образцах отмечается корреляционная зависимость содержаний Sr от количества Ca, т.е. метаморфизм не нарушил связь Sr с Ca, характерную для карбонатных отложений фанерозоя. Повышенные содержания Sr в известняках R₁₋₂, возможно, объясняются заметным присутствием в исходных отложениях арагонита и высокомагнезиального кальцита, являющихся концентратором Sr. Можно предположить, что метакarbonатные отложения бумбугерского комплекса PR₁ формировались в морском палеобассейне вблизи береговой линии, а осадконакопление карбонатов ульдзиггольского комплекса происходило в мелководном палеобассейне, в котором были развиты сине-зеленые водоросли и отмечались признаки засоления.

Кальцифиры **гранулитового комплекса Балтийского щита**. В составе гранулитового пояса, кроме кислых и основных гранулитов, в небольших количествах присутствуют и метакarbonатные породы (кальцифиры). Это светло-серые среднезернистые породы, часто имеющие полосчатую текстуру, обусловленную микрослоистым распределением цветных минералов. Они состоят из кальцита, доломита, кварца, полевого шпата, диопсида, оливина, граната с примесью флогопита, апатита, скаполита, рудных. Данные кальцифиры по содержаниям CaO и MgO и их соотношениям подразделяются на доломитовые и известковые (кальцитовые) разности, а по количеству силикатной примеси — на силикатно-карбонатные (CO₂=20–30 %) и карбонатно-силикатные (CO₂<20 %).

Литохимические пересчеты кальцифиров на нормативно-минеральный состав по методу (Розен и др., 2003) показали, что исходными отложениями, вероятно, были песчано(алевроито)-карбонатные осадки, в которых обломочная часть была представлена главным образом кварцем и в меньшей мере кислым плагиоклазом, а глинистая составляющая — небольшим количеством иллита и хлорита. Карбонатная компонента первичных отложений состояла из кальцита и доломита, т. е. среди исходных отложений наиболее был развит литогенный ряд: песчано (алевроито)-карбонатные осадки. Можно предположить, что подобные отложения формировались в прибрежной мелководной части палеобассейна, о небольшой глубине говорит и факт присутствия в составе метакarbonатов биогерма строматолитов (Ивлиев, 1971), которые, как известно, формировались на глубинах до 40–60 м. Повышенные содержания ряда индикаторных элементов (Fe, Mn, Cr до 100–170 г/т, Ni до 85–210 г/т, Sc до 25–32 г/т, Pb до 25–51 г/т, Zr и др.) свидетельствуют, что обломочный материал, поступавший в палеобассейн, был производным широкого круга пород (ультраосновные-основные – средние-кислые).

Присутствие в составе кальцифиров и вмещающих пород графитовой минерализации и следов жизнедеятельности простейших организмов (строматолитов) говорит о наличии органической жизни в палеобассейне седиментации. Значительные концентрации Sc (среднее по 13 образцам — 22 г/т), положительная корреляция Rb с K, Ti и V с Al указывают на осадочное, хемогенно-осадочное происхождение кальцифиров гранулитового пояса Балтийского щита.

Довольно широко распространены метакarbonатные породы в пределах **Северо-Карельской синклинали** Балтийского щита, где в разрезах Куоляярвинского и Кукаосзерского синклинали наблюдаются пласты, пачки, сложенные метакarbonатными породами.

В пределах Куоляярвинского синклинали метакarbonатные породы (доломиты, известняки) присутствуют в составе соварвинской свиты, которая прослеживается в меридиальном направлении на расстояние 60–80 км, причем в южной части свиты карбонатные породы составляют большую часть разреза. В северной части свиты метакarbonаты представлены линзами и горизонтами серых, темно-серых доломитов мощностью до 10 м. Порода состоит из зерен доломита, кальцита, кварца, полевого шпата, амфибола (до 5 %). Довольно часто в этих породах присутствует тонкодисперсное углеродистое вещество, которое распределяется или равномерно по всей породе, или в виде микрослоек мощностью от 0,02–0,04 до 0,25–0,8 мм, причем углеродсодержащие слои сложены более мелкозернистым карбонатом, чем слои без углерода. По содержанию силикатной примеси изученные породы представлены либо чисто

карбонатными породами ($\text{CO}_2 > 40\%$), либо породами с силикатной примесью (CO_2 30–40 %), либо породами смешанного состава (20–30 %), а по коэффициенту магнезиальности ($M = \text{MgO} / (\text{CaO} + \text{MgO})$, %) они образуют ряд от известково-доломитового до доломитового мрамора. Данные литохимических пересчетов по методу (Розен и др., 2003) показывают, что исходными отложениями исследованных пород были как чисто карбонатные, так и силикатно-карбонатные осадки. В последней обломочная часть была представлена в основном кварцем и плагиоклазом, а глинистая — небольшим количеством иллита и хлорита.

В разрезе Кукасозерского синклинория метакарбонатные породы наблюдаются в пределах хирвинаволоксской свиты, где они составляют значительную часть III пачки свиты и полностью слагают IV пачку (50–100 м). Метакарбонатные породы свиты хирвинаволоков, представленные кальцитовыми, доломитовыми мраморами, карбонатными сланцами, имеют различную окраску (белые, серые, темно-серые, черные, весьма редко красные), обусловленную наличием или отсутствием в составе пород пигментирующего углеродистого вещества. Главными минералами являются: в доломитовых мраморах — доломит (до 90–93 %), в кальцитовых — кальцит (до 93 %), второстепенными — кварц, полевой шпат, амфибол, рудные. Углеродистое вещество, так же как и в метакарбонатах свиты соваярви, распределяется или равномерно по породе, или в виде микрослоек мощностью от сотых долей до 1 мм, причем содержание углеродистого вещества в свите хирвинаволоков значительно выше, чем в свите соваярви. Так, в доломитовых мраморах свиты хирвинаволоков среднее содержание $C_{\text{орг}}$ (по 4 образцам) равно 1,05 %, а в кальцитовых мраморах среднее содержание (по 6 образцам) — 2,76 % $C_{\text{орг}}$, что значительно выше, чем в карбонатах фанерозоя — 0,28 % (Ронов и др., 1996). Проведенные литохимические пересчеты метакарбонатов данной свиты показывают, что исходными отложениями были как чисто карбонатные осадки, так и содержащие то или иное количество силикатной примеси, причем в обломочной части преобладал кварц и в меньшем количестве плагиоклаз, глинистая составляющая осадка была представлена незначительными количествами иллита и хлорита.

Содержания ряда микроэлементов (Cr, Mn, Ge, Ga, Mo, Pb, V, Ti) в исследованных породах сопоставимы с содержаниями этих элементов в карбонатных отложениях фанерозоя, при этом почти все микроэлементы в породах свиты соваярви содержатся в несколько больших количествах, чем в мраморах свиты хирвинаволоков, что, возможно, объясняется более низкой степенью метаморфизма пород свиты соваярви и большей насыщенностью этих пород вулканогенным материалом основного состава.

Изотопно-кислородный состав изученных метакарбонатов характеризуется достаточно узким диапазоном (от 12,6 до 19,5 ‰) значений $\delta^{18}\text{O}$, что соответствует значениям первично-осадочных, затем метаморфизованных карбонатов. Часть метакарбонатов свиты хирвинаволоков содержат значимые количества $C_{\text{орг}}$ (от 0,79 до 8,20 %), что находит отражение в их изотопном составе ($\delta^{13}\text{C}$ от –1,1 до –17,2 ‰), формирующимся при участии биогенной изотопно-легкой углекислоты. В то же время безуглеродистые породы обогащены изотопно-тяжелым углеродом ($\delta^{13}\text{C}$ от 3,3 до 8,6 ‰), что, по-видимому, объясняется биогеохимическими процессами на стадии диагенеза. Изотопный состав углерода метакарбонатов свиты соваярви характеризуется более узким (от 0,5 до 10,0 ‰) диапазоном значений $\delta^{13}\text{C}$, что также, вероятно, объясняется микробиально-диагенетическими преобразованиями ОВ и карбонатов.

Таким образом, формирование изученных метакарбонатных пород происходило в результате метаморфизма карбонатных, силикатно-карбонатных отложений, причем преобладающей частью силикатной примеси являлся кварц и в меньшей мере плагиоклаз, т. е. среди исходных осадков был развит ряд песчаник (алевролит) – карбонат.

Формирование карбонатных отложений происходило, по-видимому, в мелководной части морских палеобассейнов вблизи береговой линии, о чем говорят находки строматолитов, онколитов, наличие песчанистого материала, а также небольшие мощности пород, иногда линзовидные формы их нахождения. Повышенные содержания (Sr, F, Ba), данные изотопных анализов свидетельствуют, что иногда седиментогенез карбонатных отложений происходил в условиях эвапоритизации палеобассейнов.

Довольно часто исследованные метакарбонатные породы содержат в своем составе углеродистое вещество (графит), а также следы жизнедеятельности простейших организмов (строматолиты, онколиты, органические остатки), причем это характерно для метакарбонатных отложений докембрия всего земного шара. При этом большинство находок органических остатков, строматолитов приурочено к метадоломитам (Сафронов, 1981 и др.). Это, по данным (Рухин, 1969; Davies et al., 1975 и др.), объясняется тем, что ОВ, органические остатки способствуют формированию первично-осадочных доломитов.

Литература

- Бойшенко А.Ф. О возрасте пород метаморфического комплекса Баян-Хонгорской зоны (МНР) // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1978. № 1. С. 48–56.
- Ивлиев А.И. Находка строматолитов в гранулитовом комплексе Кольского полуострова // ДАН СССР. 1971. Т. 198, № 3. С. 661–664.
- Митрофанов Ф.П., Козаков И.К., Палей И.П. Докембрий Западной Монголии и Южной Тувы. Л.: Наука, 1981. 156 с.
- Розен О.М., Аббясов А.А. Количественный минеральный состав осадочных пород: расчет по петрохимическим данным, анализ достоверности результатов (компьютерная программа MINLITH) // Литология и полез. ископаемые. 2003. № 3. С. 299–312.
- Розен О.М., Злобин В.Л., Сынгаевский Е.Д. Метаморфизованные карбонатные породы гранулитового комплекса Анабарского щита: особенности первичного состава и осадконакопления // Литология и полез. ископаемые. 1990. № 6. С. 72–81.
- Ронов А.Б., Мигдисов А.А. Количественные закономерности строения и состава осадочных толщ Восточно-Европейской платформы и Русской плиты и их место в ряду древних платформ // Литология и полез. ископаемые. 1996. № 5. С. 451–475.
- Рухин Л.Б. Основы литологии. Л.: Недра, 1969. 703 с.
- Сафронов В.Т. О биогенном происхождении углеродистого органического вещества карбонатных пород докембрия // Проблемы осадочной геологии докембрия. Вып. 6. М.: Наука, 1981. С. 97–103.
- Davies Peter J., Ferguson James, Bubela B. Dolomite and organic material // Nature. 1975. V. 255. № 5508. P. 472–474.
- Turekian K.K., Wedepohl K.H. Distribution of the elements in some major units of the Earth's crust // Bull. Geol. Soc. America. 1961. V. 72. P. 175–192.