

**Образование гераклитов в юго-восточной части Паратетиса,
юго-западный Крым:
результаты изучения следов палеодегазации миоцена**

Процессы холодной дегазации углеводородов в морях, океанах и озере Байкал вызывают большой интерес у исследователей. Во многих случаях рядом со струйными выделениями газовых флюидов на дне обнаружены поля газогидратов и «оазисы жизни», а также карбонатные постройки [Шнюков и др., 2013]. В разных физико-географических условиях встречаются постройки различной морфологии: бугристые плиты, коралловидные наросты, трубчатые образования высотой несколько метров, тонкие дырчатые покровы мощностью 2–3 см, пляжные конгломераты и песчаники с примесью детрита, цементированные карбонатом бактериального синтеза. Практически все участки струйной холодной дегазации приурочены к тектоническим зонам с активным сейсмическим режимом, поэтому во время землетрясений происходит разрушение хрупких карбонатных построек. Их обломочный материал отличается повышенной твердостью и прочностью по сравнению с вмещающими породами, что позволяет им хорошо сохраняться в осадочной глинисто-карбонатной толще. Именно такой материал из карбонатно-терригенной толщи миоцена получил название «гераклиты» [Лысенко Н., Лысенко В., 2001].

Гераклиты – это обломочный материал бактериальных карбонатных палеопостроек метанотрофных архей, образованных около центров палеодегазации в миоцене. Как и современные «аутигенные» карбонатные постройки, они характеризуются своеобразной морфологией, цветом, присутствием скелетных останков организмов, высокой микро- и макропористостью, газонасыщенностью, пропиткой нефтепродуктами, структурой, текстурой, минералогией, геохимией и особыми условиями нахождения в геологическом разрезе [Лысенко Н., Лысенко В., 2001]. Задачей наших

исследований является установление признаков отличия гераклитов от вмещающих пород, что необходимо для реконструкции палеогеографических условий и выяснения генезиса их образования.

Автором детально изучены геологические разрезы обнажений береговых обрывов с гераклитами в Крыму на побережьях Гераклеяского и Тарханкутского полуостровов и в Болгарии севернее г. Варна. Поисковые работы и геологическое картирование проводилось по общепринятой методике. Состав газовых флюидов из гераклитов изучен в лаборатории ИГГИ НАН Украины (г. Львов) на масс-спектрометре МСХ-3А. Минеральный состав гераклитов исследовался методом рентгенофазового анализа на автоматическом дифрактометре MiniFlexII (Rigaku). Структурные и текстурные особенности строения и минералогии гераклитов изучались в шлифах на оптическом микроскопе Olimpus BX51 и электронном микроскопе РЭМ-106 с энергодисперсионной приставкой. Особое внимание уделялось исследованию нефтепродуктов и некарбонатных минералов в микропримесях, которые являются индикатором условий образования гераклитов. Для этой цели образцы различного цвета и морфологии растворяли в кислотах. Нерастворимый осадок после промывки и просушки был изучен при помощи сканирующего электронного микроскопа Tescan VegaII с ЭДС приставкой Drycool. Для определения химического, газового и минерального состава отбирались образцы разных цветов и морфологии из различных возрастных горизонтов на побережьях Гераклеяского и Тарханкутского полуостровов.

Главным признаком гераклитов является их внешнее сходство с «вулканическим шлаком». Они представлены пемзообразными желваками причудливой конфигурации с шершавой поверхностью и точечными отверстиями без признаков окатанности и размером от 2.0 до 150 мм. Сходство поверхности гераклитов с «вулканическими шлаками» можно объяснить серо-черной окраской и наличием на их поверхности многочисленных сферолитовых карбонатных шариков. Описание подобных сферолитов приводится в работах по изучению современных карбонатных построек Черного моря [Шнюков и др., 2013].

Другой особенностью гераклитов является присутствие обломочного материала раковин бентоса в общей массе породы. Биогенный материал раковин и детрита составляет 5–50 % общего объема. Гераклиты встречаются в породах караганского, среднесарматского и верхнесарматского ярусов, где видовой состав фауны отличается. Обязательное присутствие в гераклитах детрита и биогенных остатков фауны миоцена позволяет отказаться от гипотез, что они являются материалом взрывных выбросов карбонатного вулканизма или высокотемпературных туффзитов [Лукин и др., 2006].

Характерным признаком гераклитов является их высокая макро- и микропористость. Видимые «псевдопустоты» занимают в некоторых образцах до 30 % поверхности скола породы. Поры размером 0.001–3.0 мм характеризуются сложной формой и резкими заливообразными контактами с породой. Поровое пространство заполнено метаном и углекислым газом, а в отдельных пробах присутствуют этан, пропан, азот и сероводород. Содержание газов зависит от пористости и меняется от 2.5 до 216 г/т [Лысенко, 2008].

Присутствие нефтепродуктов в гераклитах является одним из главных критериев отличия их от пород вмещающей толщи и указывает на генетическую связь с современными карбонатными новообразованиями морей и океанов [Шнюков и др., 2013]. Углеводороды гераклитов имеют полигенный состав [Лысенко, 2008]. Они состоят из легкой нефти, высокомолекулярных смол и асфальтитов, плотность

которых больше воды, и сингенетического рассеянного органического вещества. Легкие нефтепродукты, высокомолекулярные смолы и асфальтиты являются продуктами глубинных гидротермальных флюидов. Высокомолекулярное углеводородное органическое вещество создается хемогенными микроорганизмами за счет переработки метана.

По результатам рентгенофазового анализа установлено, что гераклиты состоят из кальцита (85–95 %), доломита (1–10 %), кварца (3–10 %) и трудноопределяемой микрокристаллической части (3–5 %) [Лысенко, 2008]. При изучении шлифов отмечаются карбонаты трех генераций. Основная масса сложена микрозернистым микритом, в котором наблюдаются округлые, хлопьевидные, нитчатые, игольчатые, гантелеобразные и веретенообразные агрегаты кальцита [Лукин и др., 2006]. Возможно, это материал фоссилизации бактерий [Розанов, Заварзин, 1997]. В микрите отмечаются многочисленные сферические образования черного цвета и их сростки размером 0.01–3.0 мм. Они представлены тончайшими игольчатыми кристаллами, выходящими из центральной пустотелой части. Подобные сферолиты описаны в карбонатных постройках шельфа и континентального склона Черного моря [Шнюков и др., 2013]. Позже в бактериальных матах, сопровождающих карбонатные постройки, найдены «мелкие включения (0.5–2.0 мм) карбонатного жемчуга» [Гальченко, 2001]. Их природа прояснилась при изучении поверхности газогидратов метана на дне озера Байкал, где были обнаружены «необычные желеобразные шарики диаметром 2–5 мм» [Земская и др., 2011]. В них выявлено богатое морфологическое разнообразие сообществ микроорганизмов, состоящих из нитчатых форм, палочек различной длины и единичных кокков. Это сообщество содержит метаногенные и метанотрофные археи. Можно предположить, что сложноустроенный консорциум простейших является фабрикой по производству углеводородного органического вещества и карбонатов.

Хемогенный карбонат, связанный с глубинными флюидами, встречается в многочисленных порых выщелачивания в виде прозрачных мелких кристаллов кальцита игольчатого габитуса размером 0.04–0.5 мм по длинной оси на стенках пор. Биогенный карбонат в гераклитах представлен скоплением трубок серпулид, раковинами и обломками остракод, гастропод, моллюсков и фораминифер.

Некарбонатная микрокристаллическая фракция нерастворимого остатка кислот представлена терригенным материалом и минералами, связанными с глубинными углеводородными флюидами. Терригенный материал переноса морских и воздушных течений включает минералы глинистой группы, амфиболы, пироксены, полевой шпат, плагиоклаз, кварц и микрометеоритное вещество [Шнюков и др., 2013]. Эти примеси являются дополнительным доказательством, указывающим на поверхностное образование карбонатов гераклитов в водной среде на дне Мирового океана.

Неожиданным результатом исследований стали новые находки включений самородных металлов, описанных ранее [Лукин и др., 2006]. В пробах встречаются никель, железо и медь, а также единичные находки висмута, серебра, олова, цинка, алюминия, вольфрама и платины. В углеродистом материале встречаются многочисленные нановключения самородного никеля и меди. Особый интерес вызывают находки угловатых микропластинок интерметаллидов меди и цинка (природная латунь), титана и железа, хрома и железа. Микровключения самородных металлов приурочены к участкам, обогащенным черным углеродистым веществом.

Породы с включениями гераклитов на Гераклеийском полуострове приурочены к линейным тектоническим зонам общей протяженностью более 60 км [Лысенко, 2008]. При изучении геологических разрезов можно наблюдать, что прослои, обога-

ценные гераклитами, залегают согласно в карбонатно-терригенных толщах пород караганского, среднего и верхнего сарматских ярусов. В береговых обрывах наблюдается от трех до пятнадцати прослоев с гераклитами. Они имеют ленточное строение, протяженность по простиранию 50–200 м и мощность от 10 до 150 см. Их латеральные окончания не сопровождаются литофациальными изменениями, а фиксируются лишь по исчезновению гераклитов. В строении линз с гераклитами главной особенностью является беспорядочное расположение обломков в общей массе без признаков гравитационной сортировки и структурной упорядоченности [Лысенко, 2008]. Такой характер распространения во вмещающей толще можно объяснить их связью с сейсмическими процессами, в ходе которых происходят крупные выбросы углеводородов из недр [Лысенко Н., Лысенко В., 2001].

Результаты исследований позволяют высказать предположение, что образование прослоев пород с гераклитами происходило в шельфовой зоне юго-восточной части Восточного Паратетиса в два этапа. В начале пузырькового выделения углеводородных флюидов в зоне активных разломов формировались карбонатные постройки за счет бактериального синтеза метана в углеводородное органическое вещество и карбонат. Вокруг них образовывались «оазисы жизни», где органическое вещество, полученное при переработке метана сообществом архей и микроорганизмов, использовалось в процессах жизнедеятельности колониями моллюсков, гастропод и серпул. Их симбиоз с метанотрофными и метаногенными микроорганизмами доказывается черными пленками углерода на скелетных обломках биоты из гераклитов. Раковины фауны из гераклитов характеризуются карликовой формой и тонко скульптурированными поверхностями, чем они отличаются от подобных видов из вмещающих известняков. Биоценоз зон дегазации миоцена испытывал дискомфорт обитания среди метана и сероводорода, что подтверждают результаты изучения газового состава флюидов из гераклитов.

Второй этап образования связан с мощными выбросами газа, которые сопровождали активные сейсмические процессы. В этот момент происходит разрушение построек до щебнистого материала и его быстрое захоронение. После прекращения поступления глубинных газов происходило формирование обычных карбонатных терригенных осадков. Активная палеодегазация, результатом которой является формирование прослоев с гераклитами, длилась с середины караганского до конца сарматского веков, что по абсолютной геохронологии соответствует более трем миллионам лет. Наиболее интенсивно (более десяти раз) выбросы газа происходили в верхнем сармате. Можно предположить, что активность палеодегазации в это время связана с усилением неотектонических движений в зоне пересечения Криворожско-Евпаторийско-Скадовского с Предгорнокрымским глубинными разломами. Находки самородных металлов и интерметаллидов, нефтепродуктов, газовый состав, изотопия углерода и геологическое строение позволяют предполагать, что в образовании гераклитов глубинные флюиды из мантии принимают более активное участие, чем это предполагалось ранее. Формирование флюидов происходит на больших глубинах, возможно на границе ядра и мантии [Лукин и др., 2006]. Захваченный гидротермальными растворами ультрамикроструктурный материал и металлы выносились совместно с тяжелыми углеводородными компонентами и газовыми флюидами на поверхность. Глубинный материал вовлекался археями в сложный биохимический процесс, в результате чего образовались карбонатные постройки на морском дне.

Таким образом, гераклиты являются свидетельством активных процессов углеводородной дегазации миоцена и неотектонических движений земной коры в юго-

восточной части Паратетиса. Высокие содержания в них метана, этана, пропана и следов легкой и тяжелой нефти являются доказательством присутствия в нижней части геологического разреза юго-западной части Крыма месторождений нефти и газа.

Литература

Гальченко В. Ф. Метанотрофные бактерии. М.: ГЕОС, 2001. 500 с.

Земская Т. И., Шубенкова О. В., Максименко С. Ю. и др. Структура желеобразных матов в районе приповерхностного залегания газогидратов структуры Санкт-Петербург (Средний Байкал) // Материалы XIV международной научной конференции (школы) по морской геологии «Геология морей и океанов». М.: ГЕОС, 2011. Т. 2. С. 42–43.

Лукин А. Е., Лысенко В. И., Лысенко Н. И., Наушко И. О происхождении гераклитов // Геолог Украины. 2006. № 3. С. 23–39.

Лысенко Н. И., Лысенко В. И. Необычный камень – «гераклит» и проблемы дегазации метана в миоцене Крыма // Крым–2001. Геодинамика и нефтегазоносные системы Черноморско-Каспийского региона. Симферополь, 2001. С. 76–82.

Лысенко В. И. Гераклиты – карбонатные образования газовых источников и грязевых вулканов миоцена // Геология и полезные ископаемые мирового океана. 2008. № 2. С. 87–98.

Розанов А. Ю., Заварзин Г. А. Бактериальная палеонтология // Вестник РАН. 1997. Т. 67. № 3. С. 241–245.

Шнюков Е. Ф., Коболев В. П., Пасынков А. А. Газовый вулканизм Черного моря. Киев: Логос, 2013. 383 с.