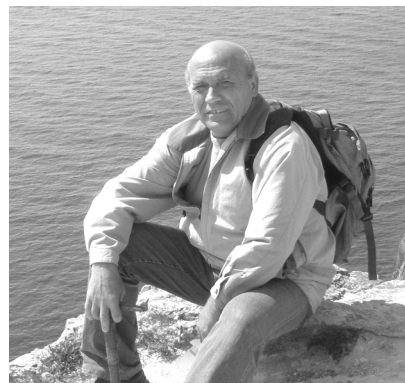


УДК (553.991.061.33+553.98.41):551.782](477.75-14)



Лысенко В.И.

Перспективы поиска месторождений нефти и газа в Юго-западном Крыму по результатам изучения палеодегазации неогена и геологии региона

Лысенко Виталий Иванович, кандидат геолого-минералогических наук, доцент Севастопольского филиала МГУ имени М.В. Ломоносова (Крым)

E-mail: Niagara_sev@mail.ru

Главными критериями наличия нефти и газа в регионах являются процессы углеводородной дегазации недр и тектоническое строение. Автор изучил минеральный состав и геологию залегания обломочного материала карбонатных палеопостроек неогена Юго-западного Крыма и дал им название «гераклиты». Результаты изучения свойств гераклитов позволили автору доказать их родство с современными аутигенными карбонатными образованиями. На основании наличия газов углеводородов, следов нефти в гераклитах и нефтепродуктов в плейстоценовых отложениях бухт Севастополя, а также анализа гидрогеологических данных, тектонического строения региона и особенностей литологического состава горных пород сделан вывод о существовании месторождений нефти и газа в Юго-Западном Крыму.

Ключевые слова: гераклиты, аутигенные карбонатные постройки, неоген, палеодегазация, метан, этан, нефть, тектоника, флюиды.

Полученные в последнее время аргументы и факты глубинной дегазации Земли, позволили сделать выводы, что значительная часть углеводородов месторождений нефти и газа имеет эндогенный генезис¹. Абиогенная природа образования требует переоценки перспектив нефтегазоносности ранее изученных регионов и разработки новых поисковых признаков углеводородного сырья. Сегодня главными критериями наличия нефти и газа являются процессы углеводородной дегазации недр и тектоническая активность региона, которая их сопровождает². В связи с этим большое внимание уделяется изучению геологических следов дегазации, которые часто являются прямыми и косвенными признаками нефтегазоносности. Данные, полученные автором при изучении палеодегазации неогена, и новые взгляды на геологию Юго-Западного Крыма позволяют считать, что в Севастопольском регионе можно обнаружить месторождения нефти и газа³.

В наше время имеется обширный материал, в котором рассматриваются различные аспекты процессы современной углеводородной дегазации в океанах, морях и озере Байкал. Обычно рядом с выходами холодных флюидов находятся «оазисы жизни», залежи газогидратов и «аутигенные»⁴ карбонатные образования⁵. Современные «аутигенные» карбонатные отложения, образованные в различных физико-географических условиях с разным газовым составом флюидов дегазации отличаются по внешнему виду, минералогическому составу, содержанию изотопов углерода и кислорода, геохимией⁶. Общими факторами их образования являются наличие дегазации

¹ Валяев Б.М. Углеводородная дегазация Земли и генезис нефтегазовых месторождений // Геология нефти и газа. 1997. № 9. С. 1–6; Тимурзиев Ф.И. Современное состояние гипотезы осадочно-миграционного происхождения нефти (вопросы миграции УВ) // Геология, геофизика и разработка нефтегазовых месторождений. 2009. № 12. С. 30–38.

² Там же.

³ Лысенко В.И. Гераклиты – карбонатные образования газовых источников и грязевых вулканов миоцена // Геология и полезные ископаемые мирового океана. 2008. № 2. С. 128–140.

⁴ Аутигенные минералы (от греч. authigenes – местного происхождения, самобытный) – минералы осадочных пород, образовавшиеся в процессе седиментации или последующих преобразований осадка на месте его захоронения. (Прим. ред.).

⁵ Геворкян В.Х., Бураков В.И., Исагулова Ю.К., Иванов М.К., Конохов А.И., Кульничский Л.М. Газовыделяющие постройки на дне северо-западной части Черного моря // Докл. АН УССР. 1991. № 4. С. 80–85; Егоров В.Н., Поликарпов Г.Г., Гулин С.Б., Артемов Ю.Г., Стокозов Н.А., Костова С.К. Современные представления о средообразующей и экологической роли струйных метановых газовыделений со дна Черного моря // Морской экологический журнал. 2003. Т. 2. № 3. С. 5–26; Леин А.Ю. Потоки метана из холодных метановых сипов Черного и Норвежского морей: количественные оценки // Геохимия. 2005. № 4. С. 138–159.

⁶ Егоров В.Н., Поликарпов Г.Г., Гулин С.Б., Артемов Ю.Г., Стокозов Н.А., Костова С.К. Указ. соч.; Прасолов Э.М., Лохов К.И., Логвина Е.А., Мазуренко Л.Л., Соловьев В.А., Блинова В.Н., Иванов М.К. Происхождение карбонатов в районах современной разгрузки флюидов по данным изотопной геохимии // Геохимия. 2005. № 3. С. 3–14; Шнюков Е.Ф., Кутный В.А. Карбонатные образования как производное газовых выделений на дне Черного моря // Геофизический журнал. 2003. Т. 25. № 2. С. 90–100.

флюидов, содержащих метан на границе литосферы и гидросферы и бактериальных матов с сообществом метанотрофных архей. На дне морей и океанов существует разнообразие связей между дегазацией, образованием карбонатов и наличием жизни. Большая часть участков струйного выделения газов характеризуется наличием бактериальных матов и процессами карбонатизации¹. Известны точки дегазации, где отсутствует жизнь и карбонатные постройки, что связано с молодым возрастом газовых струй углеводородов². Встречаются карбонатные постройки, на которых отсутствуют бактериальные маты в результате прекращения процессов дегазации³. Последние образования представлены белоснежными строениями, а осадки вокруг насыщены органическим углеводородным веществом, что являются свидетельством метановых газовыделений в недалеком прошлом.

Холодная дегазация и образование карбонатных построек происходит в зонах разломов с активным сейсמודинамическим режимом. Здесь нередко происходят кратковременные (мгновенные) катастрофические выбросы газов из недр, которые разрушают карбонатные постройки. Их обломочный материал из-за повышенной прочности очень хорошо сохраняется в осадочной карбонатно-глинистой толще, указывая на центры углеводородной дегазации в прошлом. Именно такой обломочный материал «аутигенных» карбонатных полепостроек был изучен автором в карбонатно-терригенной толще неогена Юго-Западного Крыма и получил название гераклиты⁴. Гераклиты характеризуются особым положением в геологическом разрезе, своеобразной морфологией, цветом, текстурой, минеральным составом, геохимией, газонасыщенностью, проницаемостью нефтепродуктами и содержанием обломочного материала макро- и микрофауны⁵. Данные многочисленных научных публикаций по геологии, минералогии и морфологии современных карбонатных «аутигенных» образований углеводородной дегазации в морях и океанах позволяют с помощью метода актуализма сравнить и доказать их родство с гераклитами⁶. Гераклиты – это обломочный материал «аутигенных карбонатных построек», которые находились рядом с центрами палеодегазации в неогене⁷.

По внешнему виду обломочный материал гераклитов имеет большое сходство с вулканическим шлаком (рис. 1). Гераклитам свойственна крайне разнообразная форма и размеры от 1 до 150 мм. Большие обломки обычно плоские и желваковидные, маленькие – без определенной формы с угловатыми и заливообразными границами. Обломки размером более 50 мм имеют обычно плоскую форму и характеризуются различной длиной и шириной, толщиной 20–30 мм. С вмещающей породой гераклиты имеют обычно плавные переходы (буквально врастают), а одна сторона имеет четкую границу и легко отделяется от породы. Эта поверхность имеет грубопористый оплавленный вид и на ней часто можно наблюдать микрократеры размером 3,0–15,0 мм со сквозными отверстиями посередине. Можно предположить, что до процессов диагенеза эта поверхность гераклитов была покрыта слизистыми бактериальными матами, которые характерны для современных «аутигенных» карбонатных построек в Черном море⁸.

Цвет гераклитов – от светло-серого (пепельного) до черного, что придает их внешнему виду шлаковидный облик, реже встречаются серовато-коричневые образцы. Часто в одном обломке отмечаются все виды окраски. При прокаливании черного порошка гераклитов он приобретает белый цвет. Это является доказательством того, что окраска гераклитов связана с органическим веществом, хотя по данным химических анализов его содержание в породах от 0,12 до 0,27%⁹.

Изучение образцов в шлифах под микроскопом показало, что гераклиты сложены мелко и среднекристаллическим кальцитом (размер от 0,01 до 0,3 мм) с включением в общую массу биогенных остатков и терригенного обломочного материала (рис. 2).

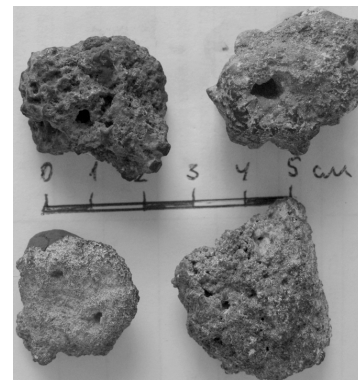


Рис. 1. Гераклиты «шлаковидного» облика с многочисленными углублениями и полыми сквозными отверстиями. Из обнажений мыса Херсонес.

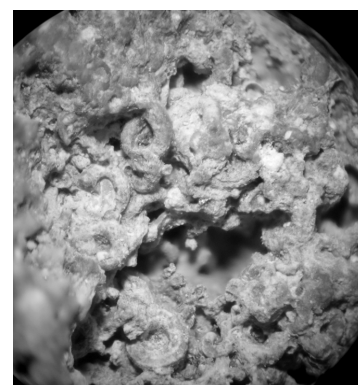


Рис. 2. Обрастание поверхности гераклитов серпулами. Из обнажения обрывов «Голубая бухта» (10-кратное увеличение).

¹ Егоров В.Н., Поликарпов Г.Г., Гулин С.Б., Артемов Ю.Г., Стокозов Н.А., Костова С.К. Указ. соч.; Шнюков Е.Ф., Кутний В.А. Указ. соч.

² Егоров В.Н., Поликарпов Г.Г., Гулин С.Б., Артемов Ю.Г., Стокозов Н.А., Костова С.К. Указ. соч.

³ Там же; Леин А.Ю. Потоки метана из холодных метановых сипов Черного и Норвежского морей...; Леин А.Ю., Пименов Н.В., Саввичев А.С., Павлова Г.А., Вогт П., Богданов Ю.А., Сагалевиц А.М., Иванов М.В. Метан как источник органического вещества и углекислоты карбонатов на холодном сипе в Норвежском море // Геохимия. 2000. № 3. С. 268–281; Шнюков Е.Ф., Собалевский Ю.В., Кутний В.А. Необычные карбонатные постройки континентального склона северо-западной части Черного моря – вероятное следствие дегазации недр // Литология и полезные ископаемые. 1995. № 5. С. 451–461

⁴ Лысенко Н.И., Лысенко В.И. Необычный камень – «гераклит» и проблемы дегазации метана в миоцене Крыма // Геодинамика и нефтегазовые системы Черноморско-Каспийского региона: Сб. докл. III Междунар. конф. «Крым-2001». Симферополь, 2001. С. 76–82.

⁵ Там же.

⁶ Геворкьян В.Х., Бураков В.И., Исагулова Ю.К., Иванов М.К., Конюхов А.И., Кульницкий Л.М. Указ. соч.; Леин А.Ю. Потоки метана из холодных метановых сипов Черного и Норвежского морей: количественные оценки // Геохимия. 2005. № 4. С.138–159; Прасолов Э.М., Лохов К.И., Логвина Е.А., Мазуренко Л.Л., Соловьев В.А., Блинова В.Н., Иванов М.К. Указ. соч.; Шнюков Е.Ф., Кутний В.А. Указ. соч.

⁷ Лысенко Н.И., Лысенко В.И. Необычный камень – «гераклит»...; Лысенко В.И. Гераклиты – карбонатные образования...

⁸ Егоров В.Н., Поликарпов Г.Г., Гулин С.Б., Артемов Ю.Г., Стокозов Н.А., Костова С.К. Указ. соч.; Леин А.Ю. Жизнь на сероводороде и метане // Природа. 2003. № 10. С. 1–13.

⁹ Лысенко В.И. Гераклиты – карбонатные образования...

Скелетные остатки биоты составляют 10–60% от общего объема породы и представлены скоплением трубок серпул, гастропод, моллюсков и водорослевых желвачков. Фауна из гераклитов в видовом отношении схожа с находками из вмещающих пород, что является доказательством их сингенетического образования. Обилие серпул, детритуса, водорослевых желвачков и терригенного материала указывает на образование их в шельфовой зоне с активным гидродинамическим режимом¹.

По результатам рентгенофазового анализа установлено, что гераклиты состоят из кальцита (85–95%), доломита (1–10%), кварца (3–10%) и трудно определяемой микрокристаллической части (3–5%). Реже в их составе отмечаются единичные находки кристаллов доломита, барита, целестина, баритоцелестина, баритокальцита, плагиоклаза и псевдоморфоз кальцита по моногидрокальциту, гейлюсситу и арагониту². Кальцит и доломит из гераклитов содержат в своём составе повышенные содержания железа, марганца, бария и стронция, элементов – индикаторов дыхания недр. Карбонаты гераклитов имеют полигенное образование. Большая их часть является продуктом жизнедеятельности метанотрофных архей. Другая – дыханием углекислого газа из недр, а остаток представлен кальцитом раковин фауны. Из-за малых скоростей образования карбонатных построек, заметной добавкой в их составе являются терригенные отложения придонных течений, воздушных потоков с материков и метеоритной пыли, которые характеризуются богатой минеральной ассоциацией. При изучении их под электронным микроскопом (РЭМ 106), в гераклитах установлено около 60 минералов³. Находки в них самородных металлов: железа; меди; свинца; олова; серебра; цинка, титана и интерметаллидов⁴, позволяют высказать предположение, что в образовании гераклитов активное участие принимают флюиды из мантии.

Гераклиты сложены карбонатами, образованными метанотрофными бактериями, биогенным и терригенным материалом. Такой набор характеризуется сложной геохимической ассоциацией халько-, лито- и биофильных элементов. Результаты анализов указывают на повышенное содержание в них Cu, Zn, Ni, Ag, V, Sb, Br, В Li, Р и Hg, что типично для низкотемпературных флюидов⁵.

При растворении гераклитов в кислотах, на поверхности растворов образуются эмульсионные прослои нефтепродуктов мощностью до двух сантиметров. Кроме масляной пленки радужного цвета, представленной легкой нефтью⁶, значительная часть нефтепродуктов имеет плотность больше единицы и по составу являются высокомолекулярными смолами и асфальтенами. Изучение гераклитов в лаборатории ВНИГРИ СПб установлено, что легкая нефть характеризуется низким катагенезом⁷. Не окисленные нефтепродукты свидетельствуют о быстрой литификации гераклитов во вмещающих толщах.

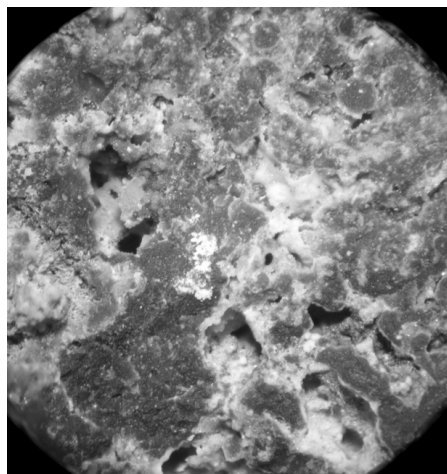


Рис. 3. Макро- и микропоры в гераклитах, покрытые микрокристаллическим кальцитом. Из обнажений обрывов Стрелецкой бухты (10-кратное увеличение).

Характерным свойством для гераклитов является высокая макро- и микропористость. Видимые «псевдопустоты» занимают в некоторых образцах до 30% поверхности скола породы. Размеры пор от 0,001 до 3,0 мм. Они характеризуются сложными формами с заливообразными контактами, которые имеют резкие границы с породой. Внутренняя поверхность пор покрыта сплошной пленкой мелкокристаллического кальцита (рис. 3). Поры, словно сетка, разделяют внутренний объем черной мелкокристаллической породы гераклитов на мелкие блоки многоугольной формы.

При ударе или трении двух образцов гераклитов друг о друга появляется специфический запах углеводородов, а при истирании их мелкообломочного материала в порошок, этот запах резко усиливается.

Поровое пространство в гераклитах заполнено метаном, углекислым газом, а в отдельных пробах присутствует этан, пропан, азот и сероводород (табл. 1). Содержание газов очень сильно зависит от пористости пород и изменяется от 2,559 до 216,9 г/т (разница в 100 раз). Метан и углекислый газ присутствуют во всех пробах. Содержание метана в процентном соотношении составляет от 33,7 до 99,3%, а в весовом – от 0,363 до 112,8 г/т (разница достигает 30 раз). Высокие концентрации метана характерны для образцов с черной окраской, взятых из зон Севастопольского и Херсонесского разломов. Содержания углекислого газа во флюидах из гераклитов составляет 0,4 до 47,8%, а в весовом – от 0,008 до 4,917 г/т (разница в 600 раз). Наибольшее содержание углекислоты обнаружено в

плотных окварцованных образцах. Гомологи метана – пропан и этан – находятся в анализах проб из гераклитов, которые имеют кремово-коричневую окраску. Эти образцы, по данным анализов ВНИГРИ СПб, характеризуются повышенным содержанием нефтепродуктов⁸. Содержание азота выявлено в двух пробах, которые характеризуются повышенным содержанием углекислого газа. Сероводород во флюидах из гераклитов связан с метановым типом газоносности. Концентрация его изменяется от 0,7 до 1,2%, а в весовом – от 0,005 до 1,2 г/т (разница в 240 раз).

¹ Лысенко Н.И., Лысенко В.И. Необычный камень – «гераклит»...; Лысенко В.И. Гераклиты – карбонатные образования...

² Лукин А.Е., Лысенко В.И., Лысенко Н.И., Наумко И. О происхождении гераклитов // Геолог Украины. 2006. № 3. С. 23–39.

³ Там же; Лысенко В.И. Гераклиты – карбонатные образования...

⁴ Там же.

⁵ Там же.

⁶ Лысенко В.И. Гераклиты – карбонатные образования...

⁷ Там же.

⁸ Там же.

Таблица 1

**Состав флюидов в гераклитах
по данным масс-спектрометрического химического анализа¹**

Номер образца	Место отбора	Название породы, минерала	Компоненты: объемная доля, %; весовые концентрации, г/т пробы						Относительная газонасыщенность ΔР, Па	Суммарная весовая концентрация, г/т пробы
			CO ₂	N ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	H ₂ S		
Л-К	Пляж Херсонес	Гераклит	0,6 0,011	–	99,3 111,333	0,1 0,0003	–	–	1,46	111,344
Л-987/А	Мыс Хрустальный	Гераклит черный	2,8 0,130	–	96,5 52,000	–	–	0,7 0,005	0,53	52,135
Л-987/Б	То же	Гераклит коричнево-черный	1,2 0,104	–	94,4 215,600	3,9 0,660	0,5 0,026	–	2,13	216,390
Л-24/А	Мыс Солнечный	Гераклит черный	0,4 0,003	–	97,3 82,467	2,3 0,087	–	–	1,13	82,558
Л-24/Б	То же	Гераклит серовато-коричневый	2,3 0,150	–	82,4 87,583	10,9 2,250	4,4 0,525	–	1,03	70,508
Л-24/В	То же	Гераклит кремовый	47,8 2,000	18,5 0,192	33,7 0,367	–	–	–	0,04	2,559
Л-28/А	Мыс Херсонес	Гераклит черный	0,5 0,008	–	98,6 112,800	–	–	0,9 0,010	1,00	112,818
Л-28/Б	То же	Гераклит серовато-коричневый	13,9 4,917	0,5 0,004	60,7 35,583	14,2 3,833	10,7 3,000	–	1,00	47,337
Л-997/А	Голубая бухта	Гераклит черный	7,1 0,880	–	91,7 56,467	–	–	1,2 0,020	0,87	57,367
Л-997/Б	То же	Гераклит серовато-коричневый	4,7 0,583	–	72,5 48,917	14,5 3,750	8,3 0,660	–	0,97	55,000
Л-997/Д	То же	Гераклит серый	1,3 0,018	–	98,7 41,404	–	–	–	0,44	41,422

Данные химических анализов, выполненные ВНИГРИ СПб, показывает отсутствие в них свободной и сульфидной серы². При изучении шлифов в отраженном свете в некоторых из них отмечаются редкие находки кристаллов пирита (возможно, марказита) треугольной и кубической формы. Изотопный состав сульфидной серы из гераклитов соответствует метеоритному стандарту³, что является доказательством поступления газов палеодигазации с больших глубин. В районе мыса Херсонес автор обнаружил обнажение, где встречается гераклиты в прошлом состоящие из сульфидов (предположительно пирита). В настоящее время они окислены до гидроокислов железа, но в центральном ядре остались фрагменты псевдоморфоз лимонита по пириту. Рядом встречается крупные обломки гераклитов с редкими отдельными прожилками, выполненными сульфидами, которые в наше время окислены до лимонита⁴. Существование в неогене мономинеральных «аутигенных сульфидных построек» позволяет сделать предположение, что в некоторых случаях сероводород был основным компонентом газовых флюидов палеодегазации. Находка современных пиритовых аутогенных образований при драгировании шельфа Черного моря позволяют предположить, что и в наше время в некоторых сипах в составе газовых флюидов преобладает сероводород⁵.

Породы с включениями гераклитов на Гераклейском полуострове приурочены к линейным тектоническим зонам. Общая их протяженность на полуострове составляет более 60 км (рис. 4). Помимо Гераклейского полуострова, они встречаются в выходах карбонатно-терригенных пород неогена районе полуостровов Тарханкут, Опук и Казантип. Автор находил гераклиты в обнажениях сарматских пород на побережье Черного моря в

¹ Там же.

² Там же

³ Лукин А.Е., Лысенко В.И., Лысенко Н.И., Наумко И. Указ. соч.

⁴ Лысенко В.И. Гераклиты – карбонатные образования...

⁵ Леин А. Ю. Жизнь на сероводороде и метане.

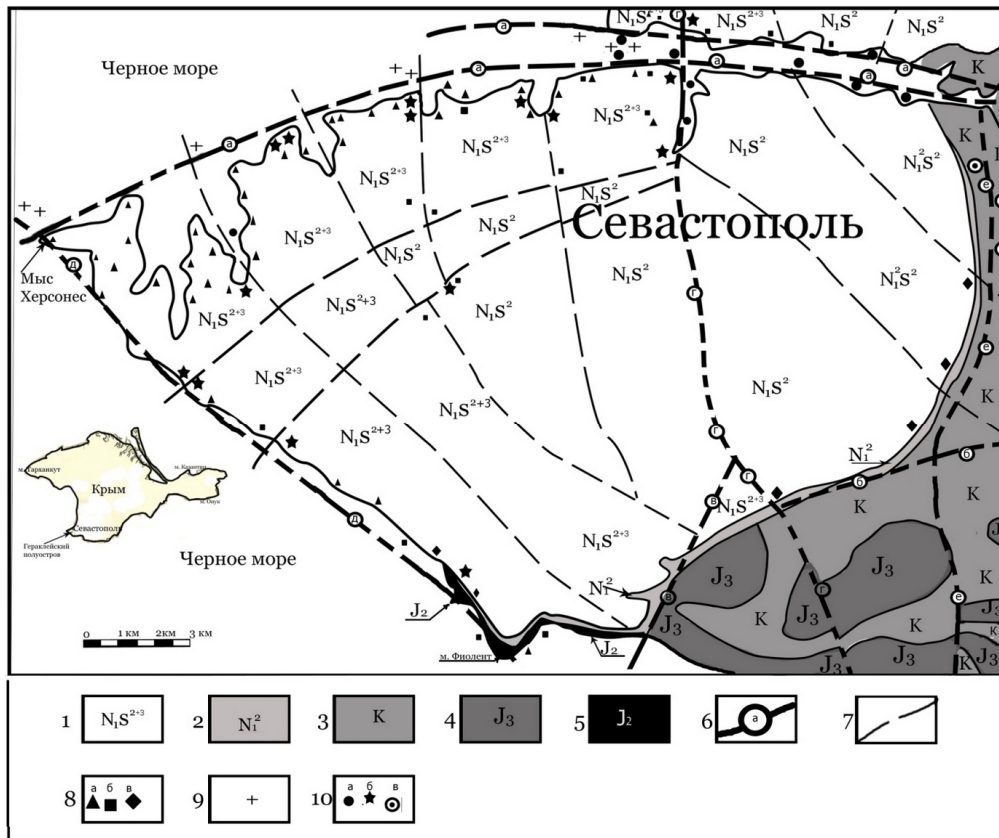


Рис. 4. Структурно-геологическая схема Юго-западного Крыма с точками находок гераклитов и проявления дегазации: 1 – Неоген. Средний миоцен. Средний и верхний сарматские ярусы. Известняки, мергели, глины и песчаники. 2 – Неоген. Средний миоцен. Чокракский, караганский и конкский ярусы. Известняки, мергели, кварцевые песчаники и конгломераты. 3 – Мел. Мергели, туфы, туфопесчаники, алевролиты, аргиллиты и глины. 4 – Верхняя юра. Известняк, песчаники, гравелиты и конгломераты. Средняя юра. Карадагская свита. Лавы и туфы натриевых базальтов и андезитов-базальтов. 6 – Глубинные разломы сопровождающие Предгорнокрымскую (а – Севастопольский; б – Бечку-Карагачский; в – Мраморной балки) и Криворожско-Евпаторийско-Скадовскую (г – Сарандинский, д – Херсонесский, е – Балаклавско-Хмельницкий) тектонические зоны. 8 – Тектонические нарушения. 9 – Места находок гераклитов в породах: а – верхнего сармата; б – среднего сармата; в – караганского яруса. 10 – Точки современной дегазации в пребрежной части Севастополя. 11 – Буровые скважины: а – вскрывшие прослои с нефтепродуктами в плиоценовых отложениях; б – с водой содержащей сероводород; в – с водой содержащей метан и сероводород.



Рис. 5. Гераклиты в сарматских органогенных известняках брекчиевидной текстуры. Обнажение в береговом обрыве на побережье Черного моря, северо-восточнее г. Варны, Болгария.

Болгарии (рис. 5). На больших глубинах гераклиты вскрыты в неогеновых породах отдельными скважинами, пробуренных на территории Крымской, Николаевской, Херсонской, Днепропетровской и Запорожской областей и Молдавии. Приведённые данные указывают на широкое географическое распространение процессов палеодегазации в неогеновый период в юго-восточной части Паратетиса. Возможно при дальнейшем изучении, следы карбонатных палеопостроев будут обнаружены в новых регионах и в других временных интервалах.

При изучении геологических разрезов Гераклейского полуострова можно наблюдать, что прослои, обогащенные гераклитами, залегают согласно, занимая стратиграфическое положение в карбонатно-терригенных толщах пород караганского, среднего и верхнего сарматских ярусов (рис. 4). В береговых обрывах Гераклейского полуострова наблюдается от трех до пятнадцати прослоев с гераклитами. Они имеют ленточное строение, протяженностью по простиранию 50–200 м и мощность от 10 до 150 см. Латеральные окончания их не сопровождаются литофациальными изменениями, а фиксируются лишь по исчезновению гераклитов. Через 15–30 м наблюдается следующая лента¹.

¹ Лысенко Н.И., Лысенко В.И. Необычный камень – «гераклит»...; Лысенко В.И. Гераклиты – карбонатные образования...

Нижняя граница прослоев с гераклитами выражена нечётко (фиксируется по появлению отдельных обломков), а верхняя имеет неровную волнистую поверхность. Распределение гераклитов крайне неравномерное (от единичных обломков до 60% от общего объема породы), часто с ними встречаются обломки сингенетических вмещающих известняков, которые имеют угловатую форму (рис. 5, 6 – см. цветную вкладку на с. 243). В строении линз с гераклитами главной особенностью является беспорядочное расположение обломков в общей массе без признаков гравитационной сортировки и структурной упорядоченности. Можно сделать вывод, что в структурном отношении порода представляет собой взрывную брекчию и по внешнему виду схожа с «асфальтобетоном» (рис. 5, 7 – см. цветную вкладку на с. 243). Обломочный материал сцементирован глинистым, глинисто-карбонатным, карбонатно-глинистым, реже карбонатным цементом. В породах верхнего сармата встречаются гераклиты, цементуемые, предположительно, гидротермальным крупнокристаллическим шестоватым кальцитом серовато-зеленого цвета. Для прослоев с гераклитами характерны брекчиевидность отложений; локальность и прерывистость распространения; яркость в разрезе и согласное залегание со слоистостью пород неогена¹. Такой характер распространения гераклитов во вмещающей толще можно объяснить их связью с сейсмическими процессами, в ходе которых происходят крупные выбросы углеводородов из недр. Примером взрывной дегазации метана могут служить вспышки, которые наблюдались в акватории Каламитского залива во время землетрясения 1927 г.²

Наши исследования геологического строения и литологии толщ, вмещающих гераклиты, позволяют высказать предположение, что их образование происходило в шельфовой зоне юго-восточной части Восточного Паратетиса в два этапа³. В начале, в результате просачивания и пузырькового выделения углеводородов в зоне активных разломов формировались карбонатные постройки бактериальных матов. Вокруг зон дегазации формировались своеобразные оазисы жизни, где органическое вещество, полученное при переработке метана сообществом архей и микроорганизмов, использовалось в процессах жизнедеятельности колониями моллюсков, гастропод и серпул. Большинство скелетных обломков организмов из гераклитов покрыты черной пленкой углерода, что характерно для зон современной дегазации⁴. Второй этап образования связан с крупными импульсами выбросов газа, которые сопровождали активные сейсмические процессы региона. В этот момент происходит разрушение построек до щебнистого материала и быстрое их захоронение. Осадочная толща насыщалась метаном, перерабатывая его, микроорганизмы усиливали процессы карбонатизации в её верхней части. После этого наступал некоторый перерыв в поступлении газов из недр в гидросферу и происходило формирование обычных карбонатных терригенных осадков. Общий временной интервал активной палеодегазации, результатом которой является формирование прослоев с гераклитами, включает в себя время с середины караганского до конца сарматского веков. Этот промежуток по абсолютной геохронологии соответствует более трем миллионам лет. Наиболее интенсивно импульсные выбросы газа происходили в верхнем сармате. В это время их было больше десяти. Временной интервал между отдельными выбросами предположительно составлял от десяти до пяти сот тысяч лет, что, возможно, связано с периодами сжатия и растяжения верхней части земной коры региона⁵. Процессы дегазации из мантийного вещества в литосферу идут постоянно. В периоды, когда не происходят выбросы крупных объемов газа в гидросферу и атмосферу, вероятно, происходят процессы формирования нефти и газа в верхней части осадочной толщи земной коры⁶.

Очень сложным является процесс взятия анализов для определения состава газовых флюидов сипов и грязевых вулканов, расположенных на дне Черного моря. Это связано с дистанционным способом отбора проб, большими глубинами, импульсно-пульсирующим характером газовой выделению, различной степенью растворимости разных газов при больших давлениях, наличием карбонатных построек над их выходами и с малыми размерами конусов дегазации. Поэтому данные опробования отдельных точек имеют значительные различия по составу газов и их содержанию. По результатам среднего суммарного опробования состав современных флюидов дегазации представлен на 65–99,6% метаном, в меньших количествах присутствует этан, пропан, изобутан, пентан, азот, углекислый газ, водород, сероводород, гелий и аргон⁷. Этот набор указывает, что состав газов из современных сипов не отличается от газового состава флюидов из гераклитов, что является подтверждением их генетического родства. Доказательствами глубинной природы палеодегазации в неогене могут служить следующие факты, полученные в ходе наших исследований гераклитов: наличие в них тяжелых углеводородов, углекислого газа, азота и сероводорода; присутствие тяжелой и легкой фракций нефти; находки в них самородных металлов и интерметаллидов; изотопный состав серы и углерода; импульсный характер дегазации; разброс величин содержания и состава газа; связь с сейсмическими процессами. Эти данные позволяют поставить под сомнение гипотезу о преимущественно биогенном генезисе углеводородов современных холодных сипов Черного моря и других морей⁸. Конечно, нельзя полностью отрицать существование биогенного метана, но его объемы, по нашему представлению, значительно меньше поступления углеводородов из недр. Дополнительным доказательством глубинной природы дегазации служат многочисленные струйные выделения пузырьков газа в Черном море на глубине более 750 м⁹. По теоретическим расчетам, здесь и глубже, метан при температуре воды

¹ Лысенко Н.И., Лысенко В.И. Необычный камень – «гераклит»...

² Двойченко П.А. Черноморское землетрясение 1927 г. в Крыму // Природа. 1928. № 6. С. 523–542.

³ Лысенко Н.И., Лысенко В.И. Необычный камень – «гераклит»...

⁴ Леин А.Ю. Потоки метана из холодных метановых сипов Черного и Норвежского морей...; Прасолов Э.М., Лохов К.И., Логвина Е.А., Мазуренко Л.Л., Соловьев В.А., Блинова В.Н., Иванов М.К. Указ. соч.

⁵ Сывороткин В.Л. Глубинная дегазация Земли и глубинные катастрофы. М.: Геоинформцентр, 2002. 250 с.

⁶ Валяев Б.М. Указ. соч.; Тимурзиев Ф.И. Указ. соч.

⁷ Геворкьян В.Х., Бураков В.И., Исагулова Ю.К., Иванов М.К., Конюхов А.И., Кульницкий Л.М. Указ. соч.; Егоров В.Н., Поликарпов Г.Г., Гулин С.Б., Артемов Ю.Г., Стокозов Н.А., Костова С.К. Указ. соч.; Леин А.Ю. Потоки метана из холодных метановых сипов Черного и Норвежского морей...; Рязанов А.К. Газ и газовые туманы на шельфе Черного моря // Докл. АН УССР. 1996. №4. С. 90–94.

⁸ Егоров В.Н., Поликарпов Г.Г., Гулин С.Б., Артемов Ю.Г., Стокозов Н.А., Костова С.К. Указ. соч.; Леин А.Ю. Потоки метана из холодных метановых сипов Черного и Норвежского морей...

⁹ Там же; Егоров В.Н., Артемов Ю.Г., Гулин С.Б. Метановые сипы в Черном море средообразующая и экологическая роль. Севастополь: НИЦ «Гидрофизика», 2011. 405 с.

+9°C и солёности свыше 22,5⁰/₀₀ может существовать только в форме газогидратов¹. Образование пузырьков газа на этих глубинах, автор объясняет заполнением их объёма многокомпонентным газовым флюидом из недр. Метан преобладает в составе этого флюида, но кроме него, здесь в небольших концентрациях содержится целый букет газовых добавок: углекислый газ, сероводород, аммиак, водород, азот, гелий, аргон и гомологи метана. Физические характеристики этой газовой смеси резко отличаются от свойств чистого «биогенного» метана. Физические параметры флюида из недр зависят от разнообразия и концентраций отдельных его компонентов. Именно такой сложный состав газов в пузырьке позволяет ему существовать на больших глубинах. Решение задачи, почему на больших глубинах «метан» находится не в газогидратной форме, связано с изучением состава и концентрацией отдельных газов в растворе флюида. Ответы объяснения феномена существования пузырьков на больших глубинах помогут созданию технологии разработки месторождений газогидратных залежей на морских глубинах и решению проблем с ликвидацией газогидратных пробок в газопроводах.

Ещё одним свидетельством глубинного поступления углеводородов в Юго-западном Крыму и прилегающей акватории являются следы плейстоценовой дегазации в отложениях Севастопольских бухт (рис. 4). Они были выявлены при проведении бурения в акваториях бухт во время выполнения изыскательских работ под строительство. В терригенных глинистых толщах, выполняющих бухты, неоднократно встречались интервалы, где песчано-глинистые отложения пропитаны нефтепродуктами. Прослой со следами нефти часто содержат остатки отмерших растений. В геологический отчетах Военморпроекта-30 за 1946–1990 гг. авторы считали, что следы пропитки нефти связаны с техногенными процессами загрязнения окружающей среды в периоды мировых войн. Ревизионный анализ материалов бурения в Севастопольских бухтах позволяет отказаться от такой трактовки этих фактов. Морские плейстоценовые отложения бухт имеют очень сложное литологическое строение, что связано с активными геодинамическими процессами в регионе в это время. Они залегают в нижней части бухт, которые имеют форму каньонов, прорезающих коренные породы среднего сармата. Мощность морских отложений в них 20–50 м. Осадки в толще имеют линзовидное строение и представлены глинами различного цвета с многочисленными прослоями алевролитов, песчаников и гравелитов на глинистом цементе. В средней и нижней части толщи встречается песчано-глинистые прослой обогащенные нефтью. По простиранию они обычно прослеживаются до 100 м и характеризуются изменчивой мощностью (от 0,05 до 0,3 м). Горизонты с нефтепродуктами приурочены к бортам бухт и часто пропадают в ее центральной части. В вертикальном разрезе прослой с нефтью отделены друг от друга глинами мощностью 5–10 м, а с поверхностью они перекрыты глиной и глинистыми алевролитами мощностью 12–23 м. Такое положение их в разрезе, позволяет сделать предположение, что нефтепродукты связаны с деятельностью грязевого вулканизма 30–150 тыс. лет назад. Центры палеоизвержения приурочены к бортам бухт, которые контролируются тектоникой. Процессы палеодегазации в плейстоцене характеризуются высокой интенсивностью. Предположительно было как минимум два периода всплеск грязевого вулканизма. Возможно глинистый материал морских отложений в бухтах, частично является продуктом грязевого вулканизма. Во многих обнажениях обрывов Севастопольских бухт картируются прослой с гераклитами, что позволяет говорить об унаследованных связях зон дегазации плейстоцена у неогена.

Самым достоверным признаком метановой дегазации в данном регионе являются современные струйные потоки газовых пузырьков на внешнем рейде Севастопольской бухты. Впервые они были зафиксированы в 1992 г. НИС «Профессор Водяницкий» в ходе проведения гидроакустических наблюдений². В 2006 г. на катере «Антарес» были выполнены детальные работы по поиску газовых аномалий в прибрежной зоне города Севастополя с помощью эхолота SeaCharter 480 DF (рис. 4). Подтвердились места струйного выделения газа прошлых лет и найдены более десятка новых площадок дегазации, которые «располагались вдоль линий геодинамических нарушений по стержню Северной бухты»³ (в зоне Севастопольского разлома). Изучение газовых струй проводилось дистанционными геофизическими методами, детальные работы по опробованию проводились на площадке около радиобиологического корпуса ИнБЮМ НАНУ. Здесь на площади 25 м² периодически выделялись пузырьки газа. По составу газ пузырьков состоит, как свидетельствуют анализы, из «метана (от 30 до 97%), азота (от 10 до 20%), углекислого газа (от 5 до 10%), а также примесей кислорода и серосодержащих газов. Радиоуглеродная датировка метана, показала, что его возраст не превышает 150 лет и это свидетельствует о его биогенном происхождении»⁴.

Такой вывод авторов статьи о «биогенном» происхождении газа, основанный на результате датировки, вызывает сомнения. Не ясно, что можно захоронить в 1850–1870 гг., что бы этот продукт перерабатывали бактерии в метан, углекислый газ и азот, такой большой промежуток времени. В наше время опытами доказано, что процесс разложения органики бактериями протекает очень быстро, это сутки при хорошей теплой погоде и месяцы при плохой. Также биогенному генезису этих газов, наблюдаемых в прибрежной аэробной среде, противоречат следующие факты: импульсный характер выделения газов; периодичность; непостоянство состава газа и сероводородный запах воды при взятии проб. Эти факты находят логичное объяснение с позиции глубинного происхождения струйных выделений газа.

Необходимо отметить, что процессы глубинной дегазации изучены по следам карбонатизации, пропитки нефтью горных пород и газовыделения, а их временной интервал более 14 млн лет. Просачивание и спокойное пузырьковое выделение дегазации, часто сменялось импульсными выбросами, которые имели периодический характер. Крупные объемы выбросов газов происходили в 1927 г. во время Ялтинского землетрясения к северо-западу от Севастополя. Всего наблюдалось 4 выброса, с которыми связаны огненные вспышки. Они наблю-

¹ Егоров В.Н., Поликарпов Г.Г., Гулин С.Б., Артемов Ю.Г., Стокозов Н.А., Костова С.К. Указ. соч.; Егоров В.Н., Артемов Ю.Г., Гулин С.Б. Указ. соч.

² Егоров В.Н., Артемов Ю.Г., Гулин С.Б. Указ. соч.

³ Там же.

⁴ Там же.

дались последовательно через небольшой временной интервал после главного толчка 12 сентября 1927 г.¹. Продолжительность вспышек 1–1,5 мин. Высота факелов достигала 500 м, а протяженность до 2 км². Можно предположить, что это были выбросы метана, водорода и сероводорода. Объемы их выбросов в течение минут, сравнимы с небольшим месторождением.

Результаты изучения палеодегазации требуют по новому проанализировать геологическое строение Юго-западного Крыма с целью выделения новых критериев поиска месторождений углеводородов абиогенного образования³.

Наличия дыхания глубинных флюидов месторождений нефти и газа на данной территории косвенно подтверждается газовым и гидрохимическим составом подземных вод. При проведении гидрогеологических работ в 1958–1962 гг. по изучению и обследованию водных объектов подземных вод в Севастопольском регионе, было установлено, что вода из более глубокого среднемиоценового горизонта обычно всегда с запахом сероводорода. Этот факт объяснялся застойным режимом подземных вод. Занимаясь вопросам водоснабжения города Севастополя с 1991 по 2012 гг., автор обратил внимания, что содержания в подземной воде сероводорода зависят от расположения скважин относительно региональных разломов (рис. 4). Водообильность скважин контролируется тектоникой. Подземная вода из скважин у зон разломов имеет запах сероводорода. В центральной части Гераклейского полуострова на удалении от региональных разломов нет даже следов этого газа. Наиболее сильно газуют скважины, пробуренные около Севастопольского разлома. Некоторые из них эксплуатируются около полувека. Из опроса жителей выяснилось, что сила запаха сероводорода не постоянна и очень сильно меняется в течение года, но не зависит от отборов объема воды. Вода из этих скважин характеризуется низким содержанием сульфатов и повышенным содержанием I, F, B, Vg и Si. При бурении скважины в зоне глубинного Сарандинакинского разлома (южное продолжение Криворожско-Евпаторийского – Скадовского) были встречены воды с повышенной газоносностью. В газе из скважин содержится метан – 57%, азот – 14,8%, углекислый газ – 18% и сероводород – 4,2%. Вода с запахом сероводорода из скважины, пробуренной в поселке Верхнее Садовое, изливается более 50 лет. Она характеризуется также повышенным содержанием аммиака, серебра, йода и кремния. В литературе имеется описание выделения метана в скважинах, пробуренных на воду в долине реки Черная⁴ (рис. 4). Здесь тоже проходит зона Балаклаво-Хмельницкого разлома глубинного заложения, но природа образования газов да настоящего времени не изучена.

Имеются многочисленные факты взаимосвязи нахождения крупных месторождений нефти и газа с активными глубинными разломами зон сочленения тектонически крупнородных геологических структур⁵. Севастопольский регион имеет сложное блоковое строение, так как находится на стыке Горного Крыма и Скифской плиты, разделенных долгоживущим глубинным Предгорнокрымским разломом (рис. 4). Мощность зоны этой тектонической структуры по данным отдельных профилей ГСЗ составляет 10–25 км. Она имеет сложную блоковую структуру и включает в себя Севастопольский, Бельбекский, Качинский и Альминский близповерхностные разломы. Есть предположение, что на больших глубинах эти разломы частично выполаживаются и формируют субгоризонтальные расслоенные и разуплотненные зоны возможных потенциальных резервуаров углеводородов. Основные сейсмические границы земной коры к северу и югу от Предгорнокрымского разлома залегают неодинаково. С северным крылом связано поднятие на несколько километров поверхности Мохоровичича и уменьшение базальтового слоя, а также увеличивается мощность мезокайнозойских отложений в осадочном слое. К Севастопольскому разлому приурочены аномалии теплового потока⁶. Наличие сейсмодислокаций и эпицентры землетрясений свидетельствуют о его современной активности. Усложнение тектоники региона Юго-западного Крыма связано с меридиональными Сарандинакинским и Херсонесским нарушениями. Предположительно они являются южным продолжением древнего Криворожско-Евпаторийско-Скадовского разлома глубинного заложения, который фрагментарно трассируется интенсивными полосовыми магнитными и гравитационными аномалиями до Днепровско-Донецкого авлакогена. Сарандинакинский разлом оказывал значительное влияние на мезо-кайнозойскую седиментацию и характеризуется крупно амплитудными знакопеременными подвижками. Узлы пересечения зон глубинных разломов Криворожско-Евпаторийско-Скадовского с Предгорнокрымским могут являться участками дегазации углеводородов из недр, что подтверждается изучением флюидов из гераклитов и современными выходами газов в акватории Севастопольской бухты⁷.

Юго-западный Крым относится к зоне активного геодинамического режима, которая характеризуется высокоамплитудными знакопеременными движениями, сопровождающихся вулканической деятельностью. В этих условиях образуется пестрый комплекс терригенных пород от глин, мергелей, известняков, до – песчаников и конгломератов, часто разделенных между собой стратиграфическими несогласиями и следами размыва. В местах выхода эффузивных пород на поверхность и их последующего преобразования, образуются коры выветривания, которые являются хорошим коллектором для углеводородов. Породами покровов для многоэтажных залежей газа и нефти в нашем регионе являются сланцы средней юры, флишевые отложения среднего тона, глины апта и альба, мергели верхнего мела и глины миоцена, верхнего плиоцена.

Предположительно, источником углеводородов для дегазации в окрестностях Севастополя может являться интрузивный диапир основных пород, залегающий в интервале 10–40 км от поверхности к западу и северо-

¹ Двойченко П.А. Указ. соч.

² Там же.

³ Тимурзиев Ф.И. Указ. соч.

⁴ Лысенко В.И. Гераклиты – карбонатные образования...

⁵ Валаев Б.М. Указ. соч.; Тимурзиев Ф.И. Указ. соч.

⁶ Кутас Р.И., Геотермические условия зон газовыделения и грязевого вулканизма в Черном море // Геология морей и океанов. Материалы XVII Международной науч. конф. (Школы) по морской геологии: В 4 т. Т. 4. М.: ГЕОС, 2007. С. 108–110.

⁷ Егоров В.Н., Артемов Ю.Г., Гулин С.Б. Указ. соч.

западу от пересечения зон Севастопольского и Херсонеского разломов¹. Он находится в земной коре на границе с мантией и характеризуется повышенным тепловым потоком и наличием магнитной аномалии интенсивностью 200–400 гамм. Такие крупные интрузивы основных пород часто наблюдаются в районах нефтегазоносных областей и являются источниками подпитки углеводородами. Этот процесс углеводородной дегазации имеет длительный временной интервал и продолжается в наше время к западу от Севастополя и в его бухтах.

Приведенные факты наличия газов углеводородов и следов нефти в гераклитах, наличие нефтепродуктов в плейстоценовых отложениях бухт Севастополя, гидрогеологические данные, тектоническое строение региона, литологический состав горных пород и данные геофизики, позволяют сделать вывод о большой вероятности наличия месторождений нефти и газа в Юго-Западном Крыму.

ЛИТЕРАТУРА

1. Валяев Б.М. Углеводородная дегазация Земли и генезис нефтегазовых месторождений // Геология нефти и газа. 1997. № 9. С. 1–6.
2. Геворкян В.Х., Бураков В.И., Исагулова Ю.К., Иванов М.К., Коннохов А.И., Кульницкий Л.М. Газовыделяющие постройки на дне северо-западной части Черного моря // Докл. АН УССР. 1991. № 4. С. 80–85.
3. Егоров В.Н., Артемов Ю.Г., Гулин С.Б. Метановые сипы в Черном море: средообразующая и экологическая роль. Севастополь: НПЦ «Гидрофизика», 2011. 405 с.
4. Егоров В.Н., Поликарпов Г.Г., Гулин С.Б., Артемов Ю.Г., Стокозов Н.А., Костова С.К. Современные представления о средообразующей и экологической роли струйных метановых газовыделений со дна Черного моря // Морський екологічний журнал. 2003. Т. 2. № 3. С. 5–26.
5. Двойченко П.А. Черноморское землетрясение 1927 г. в Крыму // Природа. 1928. № 6. С. 523–542.
6. Кутас Р. И., Геотермические условия зон газовыделения и грязевого вулканизма в Черном море // Геология морей и океанов. Т. 4. М.: ГЕОС, 2007. С. 108–110.
7. Леин А.Ю. Жизнь на сероводороде и метане // Природа. 2003. № 10. С. 1–13.
8. Леин А.Ю. Потоки метана из холодных метановых сипов Черного и Норвежского морей: количественные оценки // Геохимия. 2005. № 4. С. 138–159.
9. Лукин А.Е., Лысенко В.И., Лысенко Н.И., Наумко И. О происхождении гераклитов // Геолог Украины. 2006. № 3. С. 23–39.
10. Лысенко В.И. Гераклиты – карбонатные образования газовых источников и грязевых вулканов миоцена // Геология и полезные ископаемые мирового океана. 2008. № 2. С. 128–140.
11. Лысенко В.И., Лысенко Н.И. О происхождении «темных пятен» в сарматских отложениях Гераклейского полуострова (Крым) // Докл. Нац. Акад. наук Украины. 2003. № 12. С. 103–107.
12. Лысенко Н.И., Лысенко В.И. Необычный камень – «гераклит» и проблемы дегазации метана в миоцене Крыма // Геодинамика и нефтегазоносные системы Черноморско-Каспийского региона: Сб. докл. III Междунар. конф. «Крым-2001». Симферополь, 2001. С. 76–82.
13. Прасолов Э.М., Лохов К.И., Логвина Е.А., Мазуренко Л.Л., Соловьев В.А., Блинова В.Н., Иванов М.К. Происхождение карбонатов в районах современной разгрузки флюидов по данным изотопной геохимии // Геохимия. 2005. № 3. С. 3–14.
14. Ронов А.Б. Вулканизм, карбонатонакопление, жизнь (закономерности глобальной геохимии углерода) // Геохимия. 1976. № 8. С. 1252–1272.
15. Рязанов А.К. Газ и газовые туманы на шельфе Черного моря // Докл. АН УССР. 1996. № 4. С. 90–94.
16. Сывороткин В.Л. Глубинная дегазация Земли и глубинные катастрофы. М.: Геоинформцентр, 2002. 250 с.
17. Тимурзиев Ф.И. Современное состояние гипотезы осадочно-миграционного происхождения нефти (вопросы миграции УВ) // Геология, геофизика и разработка нефтегазовых месторождений. 2009. № 12. С. 30–38.
18. Углов Б.Д., Осипов Г.В., Маловицкий Я.П. Гидромагнитная съёмка [Западной части Черноморской впадины] // Строение западной части Черноморской впадины. Верхняя мантия. № 10. М.: Наука, 1972. С.191–196.
19. Шнюков Е.Ф., Щербаков Е.Е., Шнюкова Е.Е. Палеоостровная дуга севера Черного моря. Киев: Чернобыльинтерінформ, 1997. 287 с.
20. Шнюков Е.Ф., Кутний В.А. Карбонатные образования как производное газовых выделений на дне Черного моря // Геофизический журнал. 2003. Т. 25. № 2. С. 90–100.
21. Шнюков Е.Ф., Кутний В.А., Маслаков Н.А., Шнюкова Е.Е. К минералогии карбонатных образований газовых источников Черного моря // Геология и полезные ископаемые мирового океана. 2006. № 2. С. 69–81.
22. Шнюков Е.Ф., Собалевский Ю.В., Кутний В.А. Необычные карбонатные постройки континентального склона северо-западной части Черного моря – вероятное следствие дегазации недр // Литология и полезные ископаемые. 1995. № 5. С. 451–461.
23. Naudts L., Greinert J., Artemov Y., Staelens P., Poort J., Van Rensbergen P., De Batist M. "Geological and Morphological Setting of 2778 Methane Seeps in the Dnepr Paleo-Delta, Northwestern Black Sea." *Marine Geology* 227.3 (2006): 177–199.
24. Reitner J., Peckmann J., Blumenberg M., Michaelis W., Reimer A., Thiel V. "Concretionary Methane-Seep Carbonates and Associated Microbial Communities in Black Sea Sediments." *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 227.1 (2005): 18–30.
25. Reitner J., Peckmann J., Reimer A., Schumann G., Thiel V. "Methane-Derived Carbonate Build-Ups and Associated Microbial Communities at Cold Seeps on the Lower Crimean Shelf (Black Sea)." *Facies* 51.1-4 (2005): 66-79.

Цитирование по ГОСТ Р 7.0.11—2011:

Лысенко, В. И. Перспективы поиска месторождений нефти и газа в Юго-западном Крыму по результатам изучения палеодегазации неогена и геологии региона / В.И. Лысенко // Пространство и Время. — 2014. — № 2(16). — С. 234—243. Стационарный сетевой адрес: 2226-7271prov_r_st2-16.2014.82

¹ Шнюков Е.Ф., Щербаков Е.Е., Шнюкова Е.Е. Палеоостровная дуга севера Черного моря. Киев: Чернобыльинтерінформ, 1997. 287 с.



Рис. 6. Прослой с обломочным материалом гераклитов и сингенетических вмещающих известняков.



Рис. 7. Брекчиевидный облик гераклитов в известняках. Обрывы м. Херсонес (2-кратное увеличение).