

## О НОВОЙ ПАРАДИГМЕ ЭВОЛЮЦИИ ЗЕМЛИ, ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЭКСЦЕССАХ, СТРАТЕГИИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ НЕДР\*



**А.Е. ЛУКИН,**  
доктор геолого-минералогических наук,  
академик НАН Украины,  
Украина, Чернигов



**В.М. ШЕСТОПАЛОВ,**  
доктор геолого-минералогических наук,  
академик НАН Украины,  
Украина, Киев

**М**ы, безусловно, рады, что проявления дегазации Земли становятся интересными для все большего числа специалистов, занимающихся изучением недр нашей планеты как с целью выявления полезных ископаемых, так и для уменьшения рисков, связанных с опасными геолого-геофизическими процессами. Тем более отрандно, что этот интерес начинает набирать силы в такой интересной в геологическом отношении стране, как Казахстан. Со многими положениями статьи коллектива авторов мы согласны и считаем, что это направление исследований заслуживает самой активной поддержки и развития.

В статье затронута проблема распространения и развития лишь верхней части системы дегазации Земли. Она, безусловно, важна, как для оценки рисков экологической опасности в отношении к сооружениям, коммуникациям, транспортным средствам, экосистемам, так и для выработки критериев поисков некоторых полезных ископаемых. К упомянутым авторами статьи различным негативным событиям можно добавить воздействие взрывной дегазации на Чернобыльскую АЭС во время аварии в 1986 году взрыв в г. Сасово Рязанской области в 1991 году и многие другие.

\*Для получения более подробной информации обращайтесь в редакцию журнала.  
Адрес для переписки. E-mail: [nnk@mail.ru](mailto:nnk@mail.ru)

**Хотелось бы обратить внимание авторов на следующие аспекты затронутой ими темы.**

- По терминологии. Вряд ли есть смысл засорять русский язык иностранными терминами (покмарки), если имеется давно применяемое (в географии, грунтоведении и др.) слово «западина» с достаточно ясной трактовкой его значения.

- Следует обратить внимание, что термин «кольцевые субвертикальные структуры» может охватывать и вулканы, извергающие магму, газы и пепел, и соляные, глиняные штоки, штоки кристаллических пород, крупные взрывные кольцевые структуры щитов и платформ, описанные В.И. Вагановым, П.Н. Кропоткиным и др. в Сибири и Украине еще в 1985 году, и, наконец, гигантские глубинные трубы дегазации, производные, например, Центрально-Азиатского суперплюма, сформировавшие многочисленные ураново-золоторудные и редкоземельные рудообразования Северного Казахстана и Алтае-Саянского региона (А.А. Поцелуев, 2014). Иными словами, предложенный термин, по сути, охватывает гораздо более широкий набор типов структур, чем предлагают авторы.

- Анализ литературы и соответствующие наши данные показывают, что набор компонентов, извергаемых при формировании и функционировании западинных структур в морских условиях и на суше меняется во времени в связи с пульсирующим режимом интенсивности их активизации. Но, как правило, ведущим энергоносителем, двигателем процесса является газ, который при определенных условиях транспортирует и воду, и грязево-песчаный материал (достаточно вспомнить эрлифтные откачки воды из скважин или открытие бутылки шампанского).

- Следует обратить внимание на то, что основным газом, дегазирующим из западин на обширных территориях суши, является не метан, а водород. Достаточно обратиться к результатам исследований группы В.Н. и Н.В. Лариных в пределах центральной части Европейской России, регионе Каролина Бейс в США и нашим в Украине. Более того, как отмечает А.И. Тимурзиев (2013), основываясь на результатах исследований ЗАО «Пангея», в пределах весьма перспективной на углеводороды территории полуострова Ямал содержание в подпочвенном воздухе водорода от 2–6 до 80 раз больше, чем метана.

- В морских условиях мы должны различать западины, сформированные в результате выделения газов при процессах диагенеза молодых отлагающихся осадков, и структуры, связанные с глубинной дегазацией. Под первыми трубы дегазации имеют длину десятки и первые сотни метров и связаны с линзами и прослоями накопления газа в верхней части разреза. Вторые, как правило, протягиваются на значительные глубины, имеют нередко ступенчатое строение – глубинная труба дегазации (или раскрытый разлом) – промежуточный латеральный слой накопления газов – труба дегазации, выводящая газ к поверхности. Иногда такие системы могут быть многоступенчатыми с привлечением, как глубинных газов, так и приповерхностных, связанных с процессами диагенеза. Понятно, что первые из них не представляют интерес для поисковых целей. В условиях континентального длительного развития региона значимые дегазационные процессы, формирующие западины и подзападинные трубы дегазации, имеют преимущественно глубинное происхождение. Хотя процессы радиолиза воды, взаимодействия воды с глинами,

бактериальная активность и др. приводят к рассеянному производству и частичному поглощению водорода и углеводов, но их активность в основном не обеспечивает возникновение труб дегазации под влиянием концентрированных выходов газа.

• Безусловно, важнейшей задачей таких исследований является выявление и всесторонняя оценка источников и процессов глубинной дегазации. Продолжая и развивая магистральное направление исследований и сформированных представлений В.И. Вернадского, Дж. Вильсона, А. Ритмана, П.Н. Кропоткина, Б.М. Валяева, В.Н. Ларина, Э.Б. Чекалюка, Н.П. Семененко, Ф.А. Летникова, А.А. Маракушева, А. Джилата, А. Вола и многих других, мы в работе (Шестопалов и др. 2018), а затем в публикации в более концентрированном виде (Лукин, Шестопалов, Геофизический журнал, 2018, № 4) выразили уверенность в том, что *на основе представлений о дегазации Земли формируется новая парадигма эволюции Земли и проявления ее важнейших геологических процессов, включая возникновение концентраций различных полезных ископаемых, а также разнообразных экологических эксцессов, включая изменения климата.*

• *Развитие этой парадигмы вызывает необходимость пересмотра стратегии геологического изучения недр. Важнейшей задачей этих исследований становятся сквозьформационное, сквозьгеосферное комплексное изучение вещественных, геодинамических, геофлюидных и иных изменений и преобразования недр с учетом представлений о тесной связи всех геосфер Земли от ядра до гидро- и атмосферы.* 🌐

## НА ПУТИ ИЗУЧЕНИЯ МАССИРОВАННЫХ ВОДО-ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ ИЗ НЕДР ЗЕМЛИ



**Л.А. АБУКОВА**

доктор геолого-минералогических наук,  
Российская Федерация, Москва

**В** статье «*Каспийский регион: кольцевые субвертикальные структуры, покмарки и экс-покмарки*», опубликованной в журнале «Нефть и газ» (2019, № 6) затронута важная (и широкая) научная проблема выявления механизмов и масштабов проявлений геофлюидодинамических аномалий, связанных с разно-масштабной вертикальной разгрузкой воды, газа, разжиженных пород.

Авторы публикации (*Ю.А. Волож, М.С. Трохименко, А.М. Калимов, М.Т. Едилбаев*) анализируют различные морфоструктурные особенности проявления спонтанных выбросов пластичных, жидких и газообразных веществ из недр Земли, как следствие разгрузки пластовых флюидонасыщенных систем, находящихся под действием избыточных пластовых давлений. Природа последних полигенна и связана с совокупным влиянием на систему «вода–порода–газы» контрастных геодинамических обстановок, повышенной плотности теплового потока, интенсивной катагенной флюидогенерации при деструкции органического материала и ряда других природных и техногенных факторов.

Современные геофизические методы изучения геологической среды позволили оценить гигантский масштаб таких выбросов. Однако, их генезис, пространственно-временные закономерности возникновения до конца не изучены, прогноз времени и местоположения выбросов водо-газовых смесей недоступен.

Проблема имеет как научное, так и практическое значение, потому требует постановки комплексной (и межгосударственной) программы изучения механизмов, ведущих факторов, геоэкологических рисков проявления вертикальной (локализованная и рассеянная) разгрузки газосодержащих флюидов.

Первостепенными направлениями исследований могла бы стать оценка вклада в дегазационные процессы: (1) газов ранней генерации УВ, в том числе в придонных слоях открытых и закрытых водоемов; (2) подмерзлотных залежей метана; (3) газов угольных отложений; (4) техногенных залежей газа, расположенных выше продуктивных горизонтов в районах интенсивной газодобычи.

Особо подчеркнем, что основной составляющей выбросов являются подземные воды. Поэтому необходим углубленный анализ роли подземной гидросферы в дегазации Земли. Здесь важно учесть, что подземная гидросфера содержит газы в растворенном состоянии в объемах, в 100 и более раз превышающих ресурсы свободного газа. Глобальные ресурсы углеводородных (УВ) газов в пластовых водах осадочной оболочки планеты оцениваются в диапазоне  $n \cdot 10^{15}$ — $n \cdot 10^{16}$  м<sup>3</sup>.


Насыщение вод углеводородными и кислыми газами в пространственно-временном отношении неравномерно: даже в нефтегазоносных бассейнах воды преимущественно недонасыщены углеводородными газами. Вокруг залежей УВ концентрация водорастворенных газов резко повышается вплоть до предельной, однако известны и приконтурные отрицательные газогидрохимические аномалии. Возможны случаи перенасыщения вод УВ-газами, о чем речь пойдет ниже. Глобальная недонасыщенность вод осадочного чехла обуславливает запретительный механизм регионально

развитой рассеянной дегазации недр за счет газов любого генезиса; возможно лишь истечение газов по трещинным зонам, границам выклинивания изолирующих толщ (литологические окна), зонам геодинамических растяжений и другим (очаговые и линейные) зонам фильтрационной неоднородности геологической среды. В этом плане значимые пространственные масштабы «труб» или «каналов» дегазации ставятся под сомнение.

В пористой (низкопроницаемая) среде газ, выделившейся из водорастворенного состояния, малоподвижен, находится в виде газовой эмульсии (дисперсная фаза--газ, дисперсная среда--пластовая вода), способен к миграции только при достижении определенного объема и, как правило, под действием стрессовых нагрузок. Предельные значения газовой дисперсной фазы, по разным источникам, колеблются от 3–5% до 30–49%.

Проявление струйной миграции в среде с водами, недонасыщенными газами, массивованные прорывы газов по разломам и другим ослабленным (вертикально ориентированные дренажные системы) зонам возможны перманентно под действием совокупности геолого-геофизических и геодинамических факторов, обеспечивающих превышение давления прорыва вышележащих регионально выдержанных флюидопоров (давление прорыва для толщ с различной проницаемостью устанавливается экспериментально).

В платформенных условиях скорости вод предельно низкие, нередко преобладает режим гидродинамической стагнации. Экспериментально установлено, что коэффициент диффузии в неподвижной воде меньше, чем при активной миграции УВ и вод. Как следствие, более активно дискретные дегазационные процессы должны проявляться в краевых частях бассейнов (районы развития инфильтрационных систем), особенно в пределах развития предгорных разломных зон. Существуют и иные особенности поведения водо-газовых потоков, определяющих характер проявления процессов дегазации Земли, однако, здесь они не рассматриваются.

*Автор этих заметок благодарит редакцию журнала «Нефть и газ» за обсуждение затронутой проблемы. Несомненно, широкая дискуссия по различным аспектам изучения природных водо-газовых выбросов (генезис, энергетика, механизмы, природные и техногенные факторы, отражения в геофизических параметрах геологической среды, морфоструктурные и региональные проявления, геоэкологические следствия) послужит полезным толчком к обоснованию эффективных методов прогноза опасных в геолого-техническом и экологическом отношениях спонтанных извержений воды, газа, грязевых потоков и сопочных брекчий на земную поверхность.* 

## О «ВУЛКАНИЧЕСКИХ КАНАЛАХ» И МЕХАНИЗМЕ ФОРМИРОВАНИЯ ЗАЛЕЖЕЙ УГЛЕВОДОРОДОВ В БАССЕЙНЕ EAGLE FORD (ЮЖНЫЙ ТЕХАС)



**А.М. БАРАК,**  
создатель инновационных  
технологий Galex,  
США, Техас, Хьюстон

**П**римечательно: очередная жизненно важная инициатива родилась и активно реализуется под эгидой **Национальной инженерной академии Республики Казахстан.**

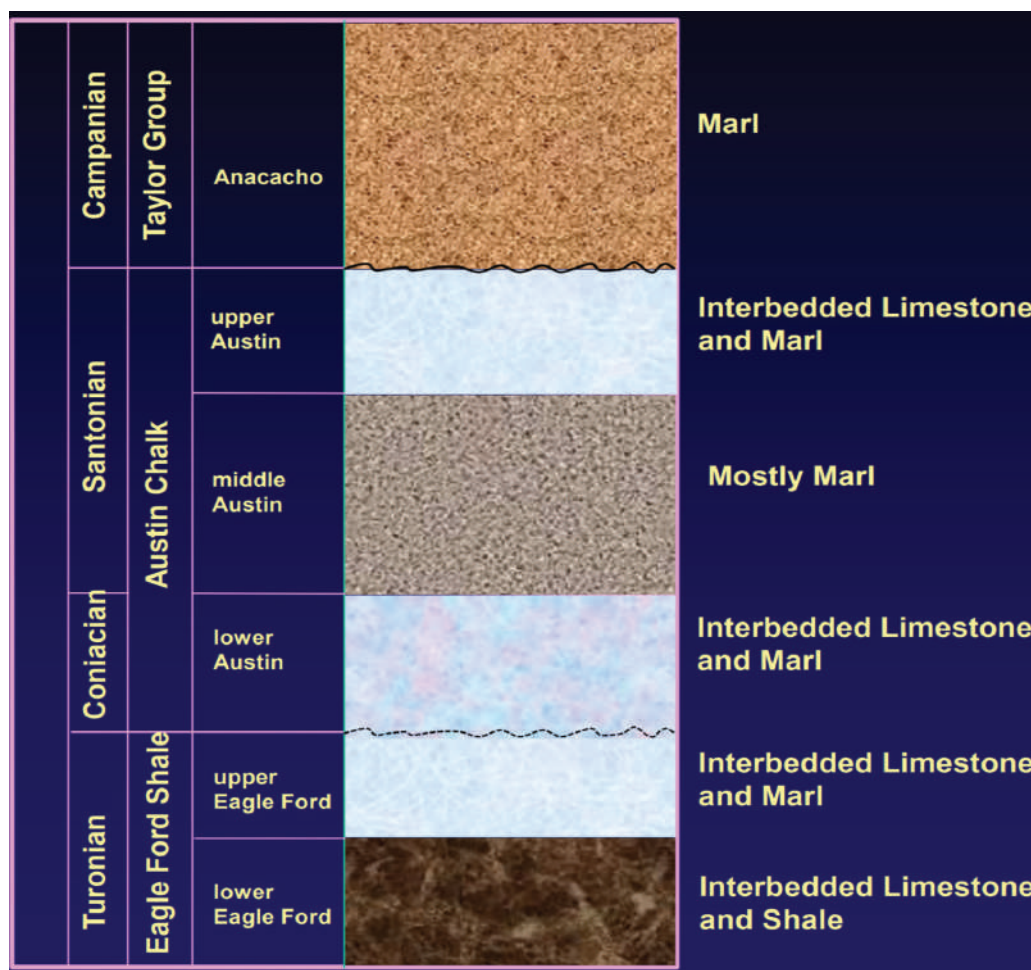
В статье *«Каспийский регион: кольцевые субвертикальные структуры, покмарки и экс-покмарки»*, опубликованной в журнале «Нефть и газ» (2019, № 6), затронута действительно важная научная проблема выявления механизмов и масштабов природных проявлений различных флюидов и их композитов на суше и дне морском. В фундаментальной статье представлен обзор и анализ глубинных процессов, формирующих кольцевые субвертикальные структуры, – базовая основа *системного поиска* залежей нефти и газа, а также других ископаемых ресурсов.

*Бессистемно* «кольцевые структуры» и венчающие их геологические структуры (покмарки, вулканические сопки и другое) традиционно используются геологами США, в частности вайлдкетерами (от «wild cat» – так издавна в Техасе называют геологов, занимающихся поисками месторождений нефти и газа). В уже разрабатываемых бассейнах в последние два десятилетия упомянутые аномальные структуры часто используются как индикаторы для поиска так называемых «сладких мест» («sweet spots») – мест наибольшей нефтегазонасыщенности, наилучших коллекторских свойств в целях заложения в них скважин и, как следствие, – получение

наилучших показателей текущей добычи скважинами. Одним из ярких и значительных примеров этого может служить подход к поиску «сладких мест» в бассейнах Maverick, Eagle Ford и др.

**Eagle Ford** – это нефтегазоносный бассейн, где добываются сланцевые нефть и газ (штат Техас, США), расположен в 300 милях к югу от известного Пермского бассейна. Продуктивные горизонты приурочены к толще верхнего мела (турон--кампан). На *рисунке 1* показана типовая для ряда бассейнов Южного Техаса стратиграфическая колонка.

Горизонт «Eagle Ford Shale», именем которого также назван бассейн, – это мощный и широко распространенный горизонт насыщенных органикой аргиллитов, именуемых «сланцы», насытивший нефтью и газом также нижележащий горизонт

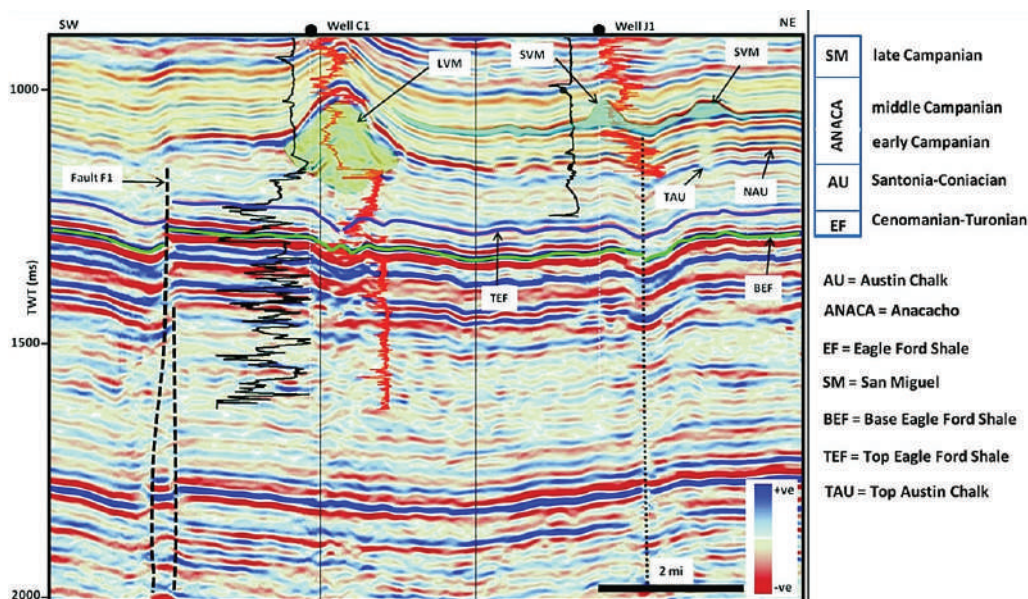


*Рисунок 1* – Типовой стратиграфический разрез верхнего мела (нефтегазоносные бассейны Maverick, Eagle Ford и др., Южный Техас), (по Osareni C. Ogiesoba, 2014)

Buda, и вышележащие Austin Choke, Olmos, San Miguel, Escondido, Anacacho. В альтитудном отношении горизонт воздымается с юг-юго-запада на север-северо-восток. Соответственно, более углубленная юго-западная часть сланцев насыщена преимущественно газовой фракцией, которая утяжеляется в процессе продвижения на северо-восток, перераспределяясь фракционно в жидкие и даже деградировавшие битумные фракции, выкрапливаемые на поверхность крайней оконечности меловых отложений.

Природа насыщения упомянутых выше горизонтов углеводородами из нефтематеринского Eagle Ford Shale, а также подход к обнаружению «сладких мест» является предметом этой заметки.

Бассейн Eagle Ford относится к району с, как принято считать, «микровулканической» активностью. Результат этой деятельности – это вулканические сопки (*Volcanic Mounds*) и типичные подводные каналы (*рисунок 2*). Подводящие каналы многими исследователями интерпретируются как участки региональных (и не только) разломов. При этом широко распространена модель, согласно которой, после образования взрывных кратеров-воронок с выбросом вулканического пепла подводящие каналы-отверстия и кратеры были заполнены потоками лавы, принявшими форму кургана (сопка).

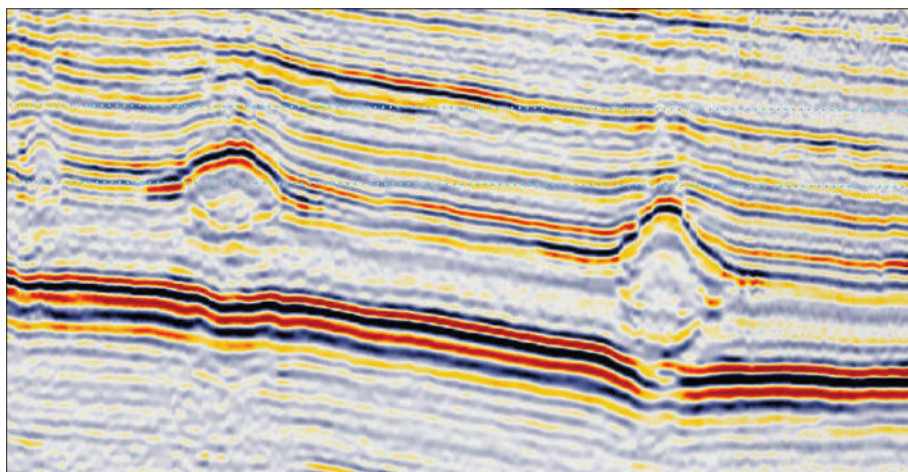


**Рисунок 2 – Временной сейсмический профильный разрез. Типичные вулканические сопки и вулканические каналы (нефтегазоносные бассейны Maverick, Eagle Ford и др., Южный Техас), (по Osareni C. Ogiesoba, 2014)**

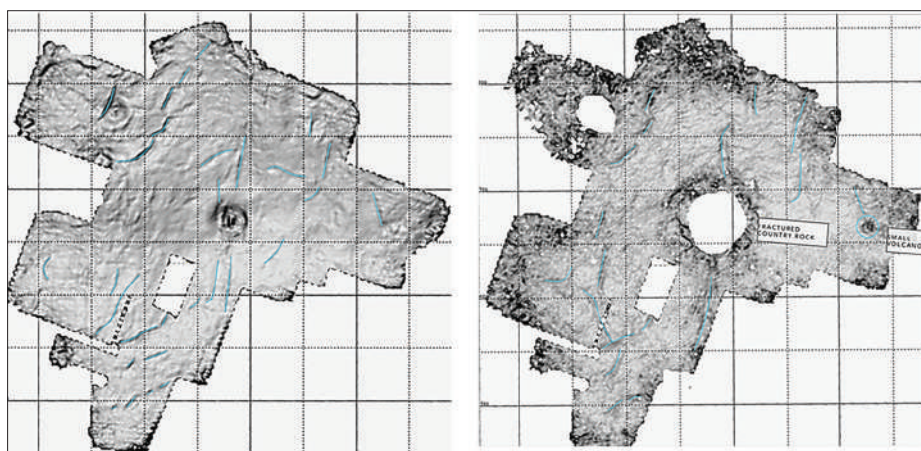
Гипотезе внедрения магматических расплавов в раннем сантоне и формировании вулканических сопки противоречат детальные сейсмические разрезы (*рисунок 3*), а также временные структурные карты, карты амплитуд, карты атри-



бутов подобий выбранного отражающего горизонта (*рисунок 4*). Представленные материалы позволяют утверждать, что проникновение магматических расплавов, по крайней мере, выше подошвы Eagle Ford Shale, маловероятно.



**Рисунок 3 – Фрагмент неинтерпретированного детального временного сейсмического разреза. Вулканические сопки и вулканические каналы**  
(по Laura Claire Bennett, 2015, с изменениями)



**Рисунок 4 – Карты атрибутов подобий по [2]:**  
**слева – подошва горизонта Eagle Ford Shale; справа – кровля горизонта Austin**  
(по Laura Claire Bennett, 2015, с изменениями)

Более вероятный механизм образования каналов-труб и венчающих их «вулканических сопки» следующий. От вулканического очага произошел прорыв раскаленной флюидной смеси: газы, водяной пар, силикатный вулканический пепел. В начале сантонского века возникли подводные взрывные кратеры, об этом свидетельствует палагонитовый туф, слагающий вулканические сопки.

Гипотеза о природе насыщения пластов Buda, Austin Choke, San Miguel и далее к поверхности из горизонта нефтематеринских пород Eagle Ford Shale большинством геологов не оспаривается. Однако, учитывая, что среди исследователей преобладает точка зрения о магматических породах, которые заполняют подводящие каналы и слагают вулканические сопки, в этом случае механизм формирования нескольких этажей залежей углеводородов из источника Eagle Ford Shale не находит внятного объяснения.

В нашем понимании только суперподвижные энергоносители (раскаленная флюидная смесь), достигнув горизонт Eagle Ford Shale, запускают термобарические процессы – экзотермические реакции, генерирующие новые энергии. Эти энергии создают в микропорах аномальное давление, разрушают структуру сланцев, высвобождая содержащиеся в порах флюиды (углеводородные газы, вода, кероген/нефть), которые мигрируют вверх и вниз и аккумулируются в пластах-коллекторах. Поэтажное формирование скоплений углеводородов в масштабе верхнемелового комплекса обеспечивали, по-видимому, как подводящие каналы, так и региональные разломы.

Термобарические процессы подобного типа нами изучены достаточно глубоко. Мы понимаем физическую сущность их и научились использовать их контролируемо и управляемо. На них основаны наши технологии S-BRPT и S-BTF. Поэтому мы понимаем, почему подводящие каналы и примыкающие к ним участки продуктивных пластов отличаются существенно лучшими фильтрационно-коллекторскими свойствами, повышенной насыщенностью углеводородами. Это также объясняет причину столь высоких производственных параметров нефте-газоизвлечения из этих каналов и вблизи их, повышенную газонасыщенность нефти.

***Можно предсказать нахождение аналогов описанного частного случая нефтидогенеза в других углеводородных системах, осложненных проявлением вулканической активности.***

***С известной долей смелости, в качестве потенциального регионального объекта для прогнозирования (поиска) подобных залежей углеводородов назовем, хотя бы, верхнюю пермь и триас Мангистау-Устюртского региона. Об активном вулканизме, возможном здесь, могут свидетельствовать: в поздней перми – туфогенные песчаники в разрезе (Оймаша и др.); в среднем триасе – вулканогенно-карбонатная формация. Ничего удивительного в этом может и не быть. Точнее, *nihil admirari* (ничему не следует удивляться). 🌐***

## ПУТИ МИГРАЦИИ ФЛЮИДОВ – ВАЖНЕЙШАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ УГЛЕВОДОРОДНЫХ СИСТЕМ



**Н.Г. МАТЛОШИНСКИЙ,**  
кандидат геол.-мин. наук,  
Казахстан, Алматы



**Н.А. СУЯРКОВА,**  
инженер-геофизик  
Казахстан, Алматы



**Д.С. ТЕПЛЯКОВ,**  
инженер-геофизик  
Казахстан, Алматы

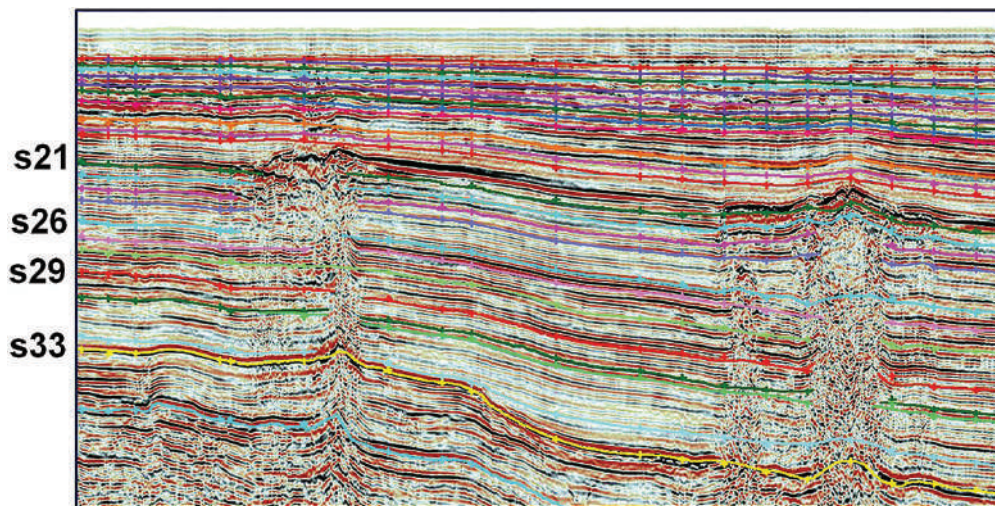
**О**бращение академика Н.К. Надирова о необходимости исследования и мониторинга природных флюидопроявлений в явно недостаточно изученном обширном Каспийском регионе – весьма актуально, в том числе в плане изучения УВ-систем Прикаспийской впадины. Естественно, мы с благодарностью принимаем предложение принять участие в обсуждении этих важных, но не простых проблем.

Статья *«Каспийский регион: кольцевые субвертикальные структуры, покмарки и экс-покмарки»* (Нефть и газ. № 6 (114). 2019. С. 15–50), подготовлена в рамках выполнения Программы Президиума РАН № 8 «Углеводороды из глубоких горизонтов в «старых» нефтегазодобывающих регионах как новый источник энергоресурсов: теоретические и прикладные аспекты». Необходимо сразу отметить, что, собственно, рассматриваемые в статье объекты – газовые трубы, покмарки и др., отражающие миграцию УВ, в первую очередь газа, никак не могут рассматриваться в качестве нового источника УВ. Скорее наоборот, эти явления однозначно указывают на тот факт, что УВ в данных условиях безвозвратно рассеиваются или рассеивались в околоземное пространство. Это явление, собственно, отражает факт сохранения энергетического равновесия в верхней части земной коры, когда по каналам происходит разгрузка возникающих избыточных давлений.

По-видимому, именно миграция УВ здесь может привлекать внимание с практической стороны. В то же время в случаях развития покмарков, «газовых труб» и

др. мы явно столкнулись с фактом существовавших или продолжающихся перетоков газов из недр в атмосферу Земли. Как бы ни были грустными такие факты для тех, кто занимается поисками УВ, тем не менее, их вряд ли следует рассматривать, как некие конечные явления, которые в данном случае проблему закрывают, поскольку об ушедших УВ и говорить нечего. С точки зрения экологии окружающей среды, со всеми проблемами изменения климата, изучение этого явления может представлять интерес для выяснения масштабов выбросов газа в атмосферу. С позиции поисков месторождений УВ интерес представляет понимание процессов генерации, предшествовавших дегазации через эти каналы. В последнем случае необходимо отделить явления, связанные с биогенным газом верхних горизонтов осадочной толщи, от реальных очагов генерации, формирующих промышленные скопления.

Рассматривая проблему в свете поисков УВ, особенно с привлечением методов сейсморазведки, необходимо расширить круг вовлекаемых объектов и использовать не только отражения от каналов миграции, но также и все отражения от возможных газовых залежей (как и залежей легкой нефти), в первую очередь в виде «ярких пятен». Наш опыт работы на вьетнамском шельфе с развитыми там газовыми залежами в плиоценовых отложениях вокруг грязевых вулканов (*рисунок 1*) показал, что далеко не все «яркие пятна» следует рассматривать в качестве индикаторов газовых залежей. Многие «яркие пятна» отражают только определенное насыщение пластовой системы газом, и при этом достаточно 5–10% насыщения газом пластовых вод, чтобы от этих пластов получить яркие отражения на сейсмических разрезах. Тем не менее, это раскрывает характер миграции газа по «газовым трубам» и распределение его в околотрубном пространстве, как питающем канале.

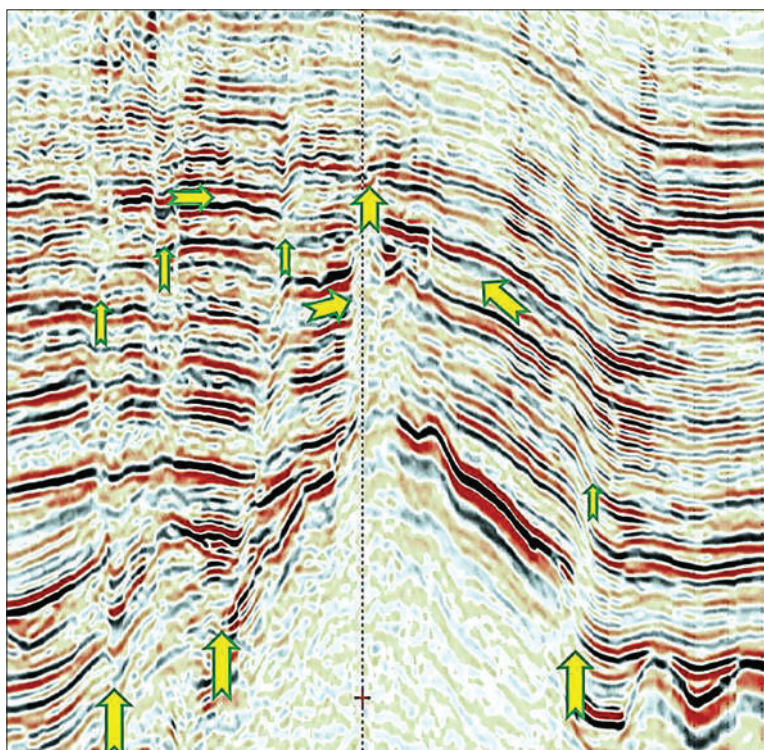


**Рисунок 1 – Северный Вьетнам. Шельф. Грязевые вулканы. «Газовые трубы». Сейсмический временной разрез МОГТ 2Д.**

Отражающие горизонты: s21 – подошва плейстоцена; s26 и s29 – внутри плиоцена; s33 – кровля регионально нефтегазоматеринских миоценовых отложений

Для казахстанских условий проблема путей миграции является весьма актуальной, в первую очередь для Прикаспийской впадины, где прогноз залежей в надсолевом комплексе определяется наличием бессолевых окон (Н.Г. Матлошинский, К.А. Адилбеков, 2019). Нужно отметить, что сама задача изучения путей миграции у нас поставлена в самом общем виде. Для успешных поисковых работ необходимо ее развитие, и в части изучения условий и особенностей генерации УВ нефтегазоматеринскими отложениями подсолевого палеозоя, и в части изучения путей и условий миграции УВ через верхнюю часть подсолевого комплекса и через нижнюю часть надсолевого (Н.Г. Матлошинский, К.А. Адилбеков, 2019; Н.Г. Матлошинский, 2019). Можно полагать, что выявление и изучение «газовых труб» и палеопокмарков здесь может оказаться весьма полезным.

В то же время изучение путей миграции имеет немаловажное значение для большинства бассейнов восточной части Республики, представляющих собой молодые постпалеозойские платформы. Ключевым вопросом поисков новых месторождений в их пределах является наличие источника УВ. И если этот источник не связан с низами мезозойской толщи глубоких прогибов (Арыскупская впадина), то предполагается, что в качестве его могут выступать палеозойские отложения. На *рисунке 2*

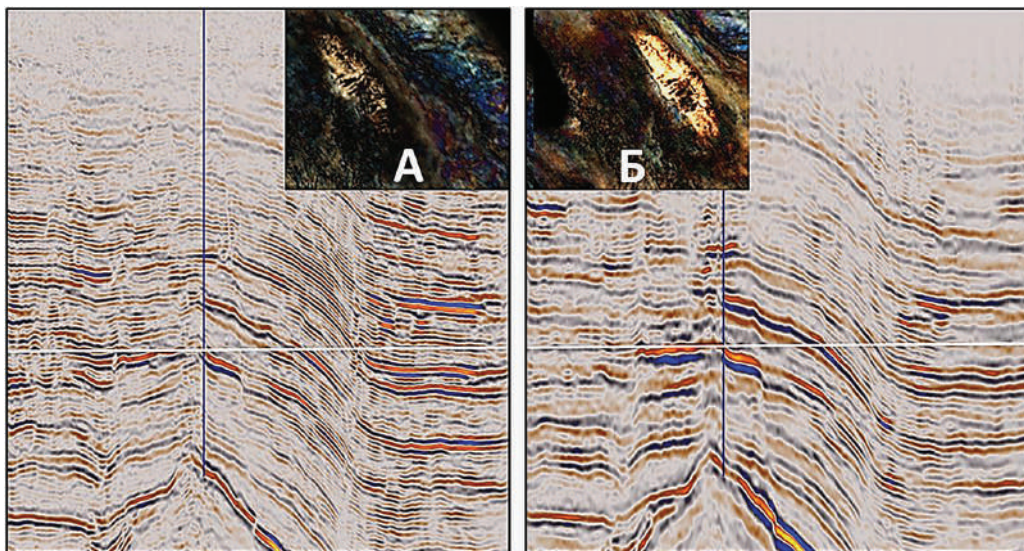


**Рисунок 2 – Западная бортовая зона Арыскупского прогиба. Модель формирования газового месторождения в юрских отложениях на базе сейсмического временного разреза МОГТ ЗД. «Газовые трубы». Яркие аномалии, отражающие скопления газа.**

приведен временной разрез 3Д через газовое месторождение в западной бортовой зоне Арыскупского прогиба, недавно выявленное в юрских отложениях. Характер «газовых труб» и амплитуд отражений позволяет наметить пути миграции газа. Характерно, что все «газовые трубы» начинаются у основания осадочной толщи и могут быть связаны как с более глубоко погруженными мезозойскими прогнутыми зонами, так и с палеозойским фундаментом.

В рассматриваемом случае глубина погружения мезозоя все-таки недостаточна для газовой генерации и, весьма вероятно, что источником газа здесь являются палеозойские отложения, термическая зрелость которых намного выше.

С точки зрения изучения рассматриваемого явления, серьезное значение имеет обработка сейсмических материалов. Если компании гонятся за высокой частотой на сейсмических отражениях, полагая, что их разрешенность напрямую привязана к высокой частоте, то иногда такие компании, отдавая предпочтение только высоким частотам, могут терять очень важную информацию. Эксперимент, проведенный в обрабатывающем центре ТОО «RES», показал, что при акцентировании на высокие частоты, в ущерб низким, получается искаженный временной разрез, на котором отражение от газовой залежи практически не выделяется ни по форме сигнала, ни по динамическим характеристикам, что видно как на разрезе, так и на срезе спектральной декомпозиции (рисунки 3, А). Совсем иная картина наблюдается при правильном учете всего спектра частот, где имеется четкое отражение от газовой залежи (рисунки 3, Б). Также и выразительность «газовых труб» становится более определенной в последнем случае.



**Рисунок 3 –** Западная бортовая зона Арыскупского прогиба. Газовое месторождение в юрских отложениях. Сейсмический временной разрез МОГТ 3Д, обработанный: А – с акцентом на высокие частоты; Б – с правильным учетом всего спектра частот

В заключение необходимо отметить, что авторами рассматриваемой статьи поднята очень актуальная тема, особенно важная в плане развития представлений об особенностях генерации и миграции УВ в нефтегазовых бассейнах. Известно, что рассматриваемые в статье явления очень внимательно изучаются в Северном море, где выявлены поля развития покмарков (J. Gafeira & D. Long, 2015), которые, по всей видимости, связаны с боковой миграцией УВ. При изучении путей повышения эффективности ГРП, мелочей не бывает и нужно признать очень своевременным появление рассматриваемой статьи. Дальнейшее изучение каналов миграции, применительно к конкретным осадочным бассейнам (Прикаспийская впадина), позволит оценить масштаб их проявления и значимость в плане раскрытия истории перемещения флюидов по этим зонам повышенной проницаемости, сформированным самим подвижным флюидом.

Наряду с зонами повышенной пористости, сформированными за счет процессов генерации (Акжар Восточный), зоны повышенной проницаемости могут стать важным составным элементом сложных процессов, сопровождающих генерацию УВ, особенно в условиях повышенных глубин залегания подсолевых отложений в Прикаспийской впадине. В этих условиях магнитуа энергии, определяемая как минимум литостатическим давлением, может увеличиваться до таких масштабов, которые могут оказывать влияние не только на перемещение флюидов, но и на тектонические процессы, например, соляной тектогенез. Природа землетрясений во впадине, одно из которых произошло в конце апреля 2008 г. с эпицентром в центральной ее части (район оз. Шалкар) с интенсивностью, оцениваемой в 7 баллов, так до конца и не установлена, но она, несомненно, связана со сложными явлениями в осадочном чехле внутренних частей впадины. 🌐

## МИНЕРАЛОГИЯ НА СЛУЖБЕ МОНИТОРИНГА ПРИРОДНЫХ ФЛЮИДОПРОЯВЛЕНИЙ



**Г.М. ПЕТРУНЯК,**  
Украинское минералогическое  
общество,  
Украина, Львов



**М.Д. ПЕТРУНЯК,**  
действительный почетный член  
Украинского минералогического  
общества,  
Украина, Львов

**Н**а фоне возникающих проблем глобального масштаба особо важным становится изучение как человеческого фактора, так и природных явлений, влияющих на экологию планеты Земля [1]. Мы с благодарностью принимаем приглашение академика Н.К. Надирова принять участие в обсуждении конкретной (ограниченной в пространственном отношении) проблемы: изучение и мониторинг природных флюидопроявлений на акватории Северного и Среднего Каспия и на сухопутной части Скифско-Туранской плиты.

Взаимодействия в *системе «Человек-Природа»* можно рассматривать в двух противоположных аспектах.

Специфика среды обитания человека заключается в сложнейшем переплетении социальных и природных факторов. Человечество представляет собой паноякуменный вид и, в отличие от других представителей животного мира, способно заселить любую экологическую нишу от открытого космоса до 5 км глубины шахты Витватерсранд [2].

Человек, как консумент, прилагает эрго-интеллектуальные усилия по освоению недр и плодородных пространств земной поверхности на фоне все возрастающей потребности в энергоносителях [3], дефицит которых увеличивает степень риска его существования.

Кроме того, «дегазация Земли», вулканические извержения, другие природные процессы имеют прямое отношение к благосостоянию цивилизации планеты Земля. Обзор и анализ многообразного набора структур, обеспечивающих флюидопроявления в атмосферу и водную среду, не оставляют сомнений в необходимости



мониторинга этих природных процессов [4]. К слову сказать, в настоящее время в США и Канаде снаряжаются *специальные экспедиции* для изучения на морском дне обширных полей западин (покмарки) и активизировавшейся дегазации недр в нивальных областях этих стран.

*Хотелось бы обратить внимание на определенные возможности изучения специфических минералогических индикаторов на границах: Земля–атмосфера и морское дно океанов, морей, озер и водная среда.*

Нами установлено, что процесс формирования залежей углеводородов в геологическом времени протекает незаметно. В последующем естественная потеря герметичности покрышки, разработка скоплений УВ сопровождается деформационно-метасоматическими преобразованиями, а в жестких средах может проявляться локальными землетрясениями [5].

Проведенные в Украине исследования озокеритовых месторождений показали: залежи Борислава, Трускавца и Старуни значительно отличаются ассоциациями новообразованных минералов. Изучение действующих и потухших поверхностных выходов нефти показало, что генезис минералов находится в зависимости от первичного состава породной среды.

Специфических минералогических индикаторов не существует, а главными диагностическими признаками выступают самостоятельная кристаллизация углеводородов и их производных, а также последствия взаимодействия минеральных составляющих пород и новообразованных видов. Во многих случаях отмечена метасоматическая природа этих преобразований. В этом отношении нас заинтересовали результаты бурения в Каратау [6].

В зоне гипергенеза нами установлено, что техногенный материал речного аллювия во время транспортировки в современных динамических руслах подвергается механическому влиянию и физико-химическим преобразованиям [7, 8]. Показателем разрушения нефтяных и нефтегазовых залежей могут выступать карбонатные стяжения с присутствующими в них внутренними инкрустациями, содержащими углеводороды. На поверхности ряда геологических структур наблюдается современное образование минералов, которые могут рассматриваться в качестве поверхностных индикаторов [9].

Встреченные на поверхности и/или в близповерхностном залегании без видимой связи с месторождениями углеводородов «аномальные» минералообразования могут служить индикаторами кольцевых структур глубинного заложения.

Одним из реперов в решении вопросов обнаружения залежей нефти с поверхности могут служить проявления прожилковой минерализации. Кристаллы кварца с включениями газов и флюидов рассматриваются как индивиды, генетически связанные с процессами дегазации.

В рассмотрении проблемы разработки поисковых критериев важным является вопрос миграции флюидов, проявление деформационного метасоматоза.

Потухшие и действующие поверхностные флюидопроявления в полноте отражают взаимодействие углеводородов в миграционных процессах, которые и определили генезис оригинальных ассоциаций органических и неорганических минералов в геологической обстановке.

Возможность приложения целенаправленных минералогических исследований для целей мониторинга природных флюидопроявлений и геологоразведки на дне Каспийского моря-озера и на сухопутной части Каспийского региона подтверждается целым рядом фактов.

### Только несколько примеров.

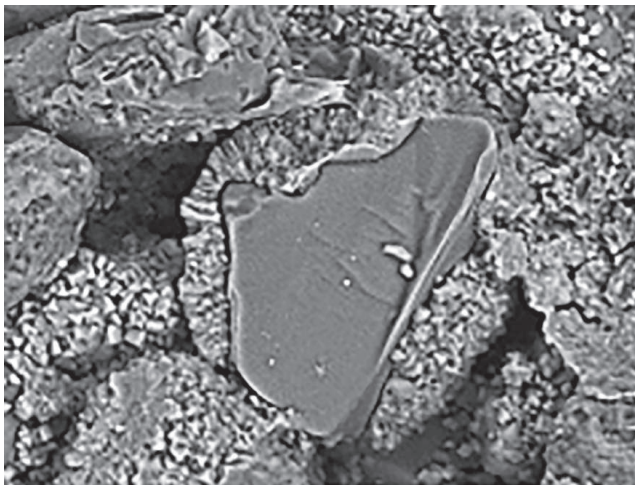
- По данным [11], в Прикаспийской солянокупольной области в кепроках над аномальными соляными штоками, предположительно являющихся индикаторами разломов глубокого заложения, отмечались проявления самородной серы, галенита, сфалерита. Эти штоки расположены, чаще всего, в центральных частях межкупольных депрессий и, согласно современным представлениям [4], – это «газо-солевые трубы». Следовательно, углеводороды, необходимые для образования самородной серы, могли поступать в кепрок только по кольцевым субвертикальным структурам.

- Также в Прикаспийской впадине, согласно устному сообщению М.С. Трохименко, в процессе детальных геологосъемочных работ на соляном куполе Акшоки в зоне сочленения аномально активной Акшокинской палеомульды и участка надсводового грабена закартирован небольшой тектонический блок, сложенный окремненным писчим мелом верхнего сантона (*рисунок 1*). Такое минералозамещение, сложное для изучения и понимания его происхождения, представляет собой объект, заслуживающий пристального внимания исследователей. Определенно, этот артефакт является индикатором глубины, активной динамики и химизма среды, точнее, имеются основания предполагать наличие под холмом Акшоки «газо-водяной трубы».



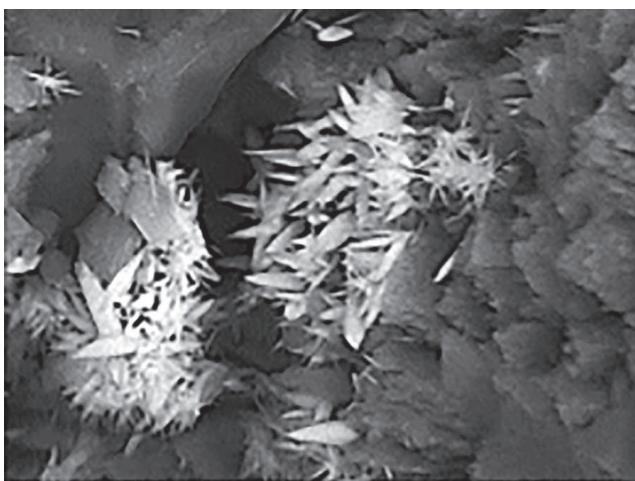
**Рисунок 1 – Прикаспийская впадина. Соляной купол Акшоки. Обнажение-холм, сложенное окремненным писчим мелом верхнего сантона.**  
Участники геоэкскурсии: ученые Берлинского университета и геологи «Актобе пройссаг»  
(фото из личного архива М. Трохименко)

• При детальном исследовании участка дна Северного Каспия, непосредственно в зоне активного проявления газовых сипов [11], были отобраны образцы донных отложений. «Исследование образцов под электронным микроскопом показало, что в поровом пространстве песчаников встречается несколько групп вторичных минералов. Основная масса пород сцементирована микрокристаллическим кальцитом» (рисунок 2).



**Рисунок 2 – Акватория Северного Каспия. Образец песчаника под электронным микроскопом. Каемки обрастания и кристаллы магниезного кальцита на поверхности песчаных зерен (по [11], с изменениями)**

Также, помимо сульфидов, в поровом пространстве песчаников изредка встречаются скопления мелких игольчатых кристаллов барита длиной не более 5  $\mu$  (рисунок 3). Барит характеризуется значительной примесью стронция и кальция. 🌐



**Рисунок 3 – Акватория Северного Каспия. Образец песчаника под электронным микроскопом. Игольчатые кристаллы барита (по [11], с изменениями)**

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Надиров Н.К. О важности изучения не только человеческого фактора, но и природных явлений, влияющих на экологию планеты Земля // Нефть и газ. 6 (114). 2019. – С. 14.
- 2 Алексеева Т.И. Географическая среда и биология человека. – М.: Мысль, 1977. – 302 с.
- 3 Реймерс Н.Ф. Природопользование: Словарь-справочник. – М.: Мысль, 1990. – 637 с.
- 4 Волож Ю.А., Трохименко М.С., Калимов А.М., Едилбаев М.Т. Каспийский регион: субвертикальные структуры, покмарки и экс-покмарки // Нефть и газ. – 6 (114). – 2019. – С. 15–50.
- 5 Петруняк Г.М., Петруняк М.Д. Углеводороды на границе раздела Земля-атмосфера // Нефть и газ. – 6 (114), – 2019. – С. 86–100.
- 6 Нефтегазовый сектор Казахстана // Нефть и газ. – 6 (114). – 2019. – С. 156.
- 7 Петруняк Г.М. Техногенный минерагенез водных артерий междуречья Прут-Черемош // Современные проблемы геологии, географии и геоэкологии. – Махачкала. – 2013. – С. 323–325.
- 8 Петруняк Г.М. Техногенний мінерагенез водних артерій межірччя Прут-Черемош // Мінералогічний збірник. – 2013. – № 63, Вип. 1. – С. 67–72.
- 9 Петруняк Г.М., Петруняк М.Д. Сучасне мінералоутворення на Прикарпатті (постановка проблеми) // Зб. наук. праць до 155-річчя П.А. Тутковського. – Київ. – 2013. – С. 274–276.
- 10 М.С. Трохименко. Связь проявлений самородной серы и углеводородов с больше-амплитудными разломами Прикаспийской впадины // Геология и геохимия горючих ископаемых. – Вып. 55. – Киев: Наукова думка, – 1980. – С. 71–74.
- 11 Безродных Ю.П., Делия С.В., Лаврушин В.Ю., Юнин Е.А., Пошибаев В.В., Покровский Б.Г. Газовые сипы на акватории Северного Каспия // Литология и полезные ископаемые. – 2013. – № 5. – С. 415–125.

## ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КАК СПОСОБ ИДЕНТИФИКАЦИИ ТИПОВ ПРИРОДНЫХ ГАЗОВЫХ И ГАЗО-ВОДЯНЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ



**Е.Ш. СЕЙТХАЗИЕВ,**  
инженер-геохимик,  
Казахстан, Атырау

Призыв академика Н.К. Надирова начать исследование и организацию мониторинга практически не изученных в Казахстане *процессов дегазации* как глубинных активных оболочек Земли, так и доступных для освоения скоплений углеводородов, – это целенаправленный выход на поиск решения экологических проблем и, вполне реально, – задач геологоразведки. Это – важная очередная ступень традиционно высокого имиджа Национальной инженерной академии как в Республике Казахстан, так и за ее пределами. Возможность принять участие в обсуждении и целенаправленных исследованиях для решения поставленной задачи заслуживает благодарности. Это – почетно и ответственно.

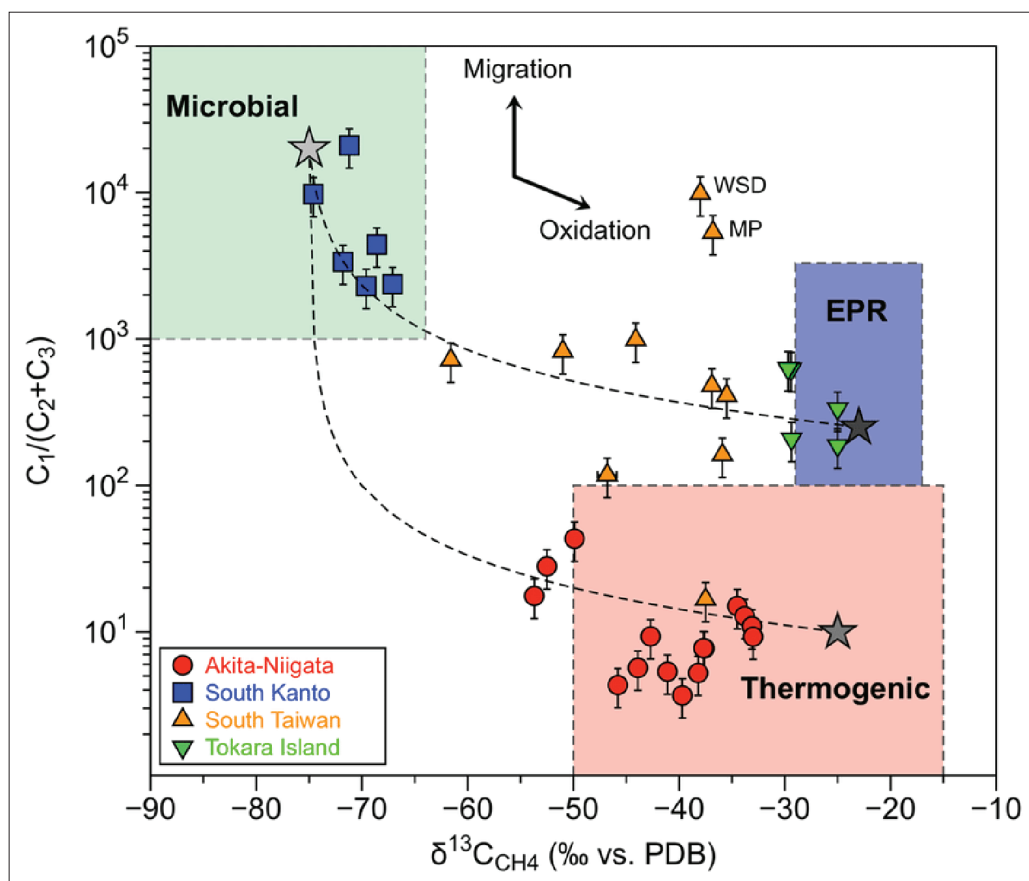
В публикации «*Каспийский регион: кольцевые субвертикальные структуры, покмарки и экс-покмарки*» [1] обоснованы энергетические источники, обуславливающие флюидопроявления на дне морей и суше, – три типа углеводородных систем. Важнейшим энергоносителем признан *углеводородный газ*.

На данном этапе планируемых исследований этому активному флюиду придется уделить основное внимание. Однако нельзя сбрасывать со счетов *водород*, которому, по мнению многих исследователей, отводится первостепенная роль в глубинной дегазации земных недр.

В достаточно широко распространенной практике определение вертикальной зональности углеводородных соединений базируются на результатах изотопных исследований. В соответствии с ними, в верхней части разреза до глубины 500–1500

м генерируются **биохимические изотопно-легкие газы** ( $d^{13}C$  от -90 до  $-55\text{‰}$ ) с содержанием гомологов метана тяжелых УВ  $C_2-C_4$  не более 0,1%. В средней зоне термокаталитических процессов до глубины 5–7 км генерируются **нефть, газоконденсаты и «жирные» газы** с высокими содержаниями тяжелых УВ (до десятков процентов) и значениями  $d^{13}C$  от -55 до  $-35\text{‰}$ . Глубже, в еще более жестких условиях, генерируются **термогенные (метаморфогенные) сухие газы** с  $d^{13}C$   $-35\text{‰}$  с незначительным содержанием тяжелых УВ.

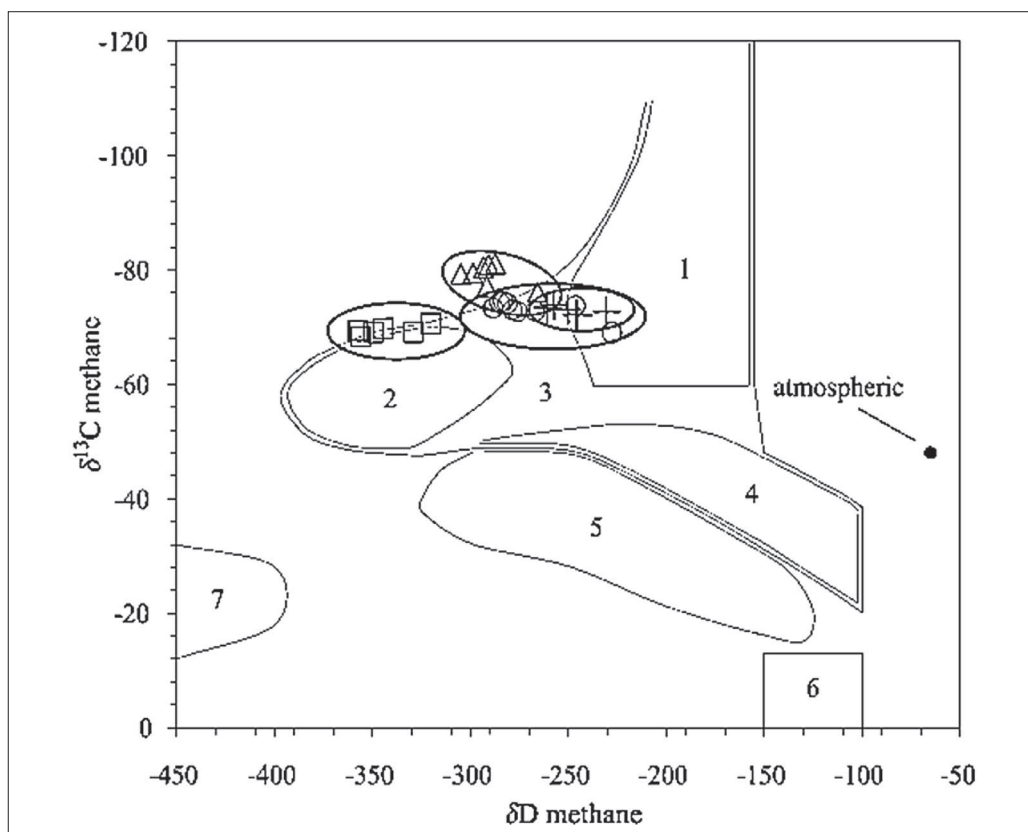
Традиционная зональность УВ-соединений нарушается глубинным абиогенным метаном. В качестве примера на *рисунке 1* представлен график Бернарда, составленный японскими исследователями [2] по результатам изотопных анализов образцов газов из разных районов Японии, Южного Тайваня и острова Токара. На графике выделены группы газов бактериального (Microbial), термогенного (Thermogenic), абиогенного (EPR) генетических типов. Между группами монотипов газов располагаются газы смешанных составов.



**Рисунок 1 – Западно-тихоокеанская граница конвергентной плиты. Корреляционная диаграмма (график Бернарда) между значениями  $\delta^{13}C$  и соотношениями  $CH_4/(C_2H_6 + C_3H_8)$  метана [2]**

Наглядный привлекательный пример применения геохимических методов – это изучение «газовых факелов и сипов», проведенное Ingeborg Bussmann и его коллегами [3], Они исследовали газы покмарков (rockmarks), обнаруженных на дне озера Констанс (Германия). Геохимические исследования отложений проводились в трех точках: отборы проводились на глубине 9 м и 12 м (PM9, PM12) и один образец на глубине 80 м (PM80).

Затем авторы проводили анализы изотопного состава углерода и водорода в метанах образцов (график Whiticar), результаты которого четко выявили различия в происхождении метана (рисунок 2). Изотопный состав метана из осадка внутри глубокого покмарка указывает на смесь двух различных бактериальных газов (пути ферментации и восстановления карбонатов).



**Рисунок 2. – Эмпирический график зависимости  $\delta^{13}\text{C}$  от  $\delta\text{D}$  по Whiticar (1999). Обозначенные поля означают следующие механизмы генерации метана:**  
 1 – бактериальный газ (восстановление карбоната), 2 – бактериальный газ (ферментация метильного типа), 3 – смешанные газы, 4 – термогенные газы, 5 – геотермальные или гидротермальные, 6 – абиогенные или мантийные газы ыотложений внутри глубокого покмарка (rockmark) (PM80). Треугольники представляют образцы отложений снаружи глубокого покмарка (PM80). Прямоугольники – это осадок образцов внутри мелкого покмарка (PM12). Крестики указывают на пузырьки газа из мелких покмарков (PM9, PM12).

## ЛАБОРАТОРИЯ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НЕФТИ, ВОДЫ И ПОРОДЫ В СОСТАВЕ ФИЛИАЛА ТОО «КМГ ИНЖИНИРИНГ» «КАСПИЙМУНАЙГАЗ».

Определение изотопного состава углерода газовых компонентов проводится методом GC-C-IRMS на изотопном масс-спектротометре DELTA V ADVANTAGE (производитель «Thermo Fisher Scientific», г. Бремен, ФРГ), к которому через интерфейсный блок ConFlo IV присоединяется газовый хроматограф TRACE GC ULTRA, оборудованный блоком GC Isolink. Разделение газовых компонентов в хроматографе происходит на капиллярной колонке PoraPlot Q (50 м • 0,32 мм • 10 мкм) (рисунок 3, А). Температурный режим капиллярной колонки зависит от определяемого компонента. Определение величины  $\delta^{13}\text{C}$  отдельного компонента возможно без каких-либо дополнительных операций, если его содержание в газовой смеси составляет 0,1 об. % и более. В случае более низких концентраций углеводородов, применяется концентрирование с использованием криоловушки (охлаждение жидким азотом). Для каждого анализируемого компонента проводится не менее трех параллельных измерений. Результаты считаются корректными, если расхождение между параллельными измерениями не превышает 0,3%.


Компонентный состав газов определяется на аппаратно-программном комплексе на основе хроматографа «Хроматэк Кристалл 5000» (рисунок 3, Б).



Рисунок 3 – А – изотопный масс-спектротометр DELTA V ADVANTAGE Б – аппаратно-программный комплекс на основе хроматографа «Хроматэк Кристалл 5000»

В рамках создания системы мониторинга природных флюидопроявлений, генерируемых «газовыми трубами» и «газо-водяными трубами», могут быть использованы геохимические методы аналитических исследований не только газов, но также вод и пород для решения следующих первоочередных задач:



- *изучение возможных газопроявлений в экспокмарках в солянокупольной области Прикаспийской впадины;*
- *изучение «газо-водяных» и «водяных» сопок на Туранской плите;*
- *идентификация проявлений неперспективного биогенного газа верхних горизонтов осадочной толщи, а также термогенного и абиогенного газов, формирующих промышленные месторождения углеводородов.* 

### ЛИТЕРАТУРА

- 1 Волож Ю.А., Трохименко М.С., Калимов А.М., Едилбаев М.Т. Каспийский регион: субвертикальные структуры, покмарки и экс-покмарки // Нефть и газ. – 6 (114). – 2019. – С. 15–50.
- 2 Yuji Sano, Naoya Kinoshita, Takanori Kagoshima et al., Origin of methane-rich natural gas at the West Pacific convergent plate boundary, SCIENTIFIC REPOrTS | 7: 15646 | DOI:10.1038/s41598-017-15959-5
- 3 Ingeborg Bussmann,<sup>a</sup> Stefan Schlomer,<sup>b</sup> Michael Schluter,<sup>c</sup> and Martin Wessels<sup>d</sup> «Active pockmarks in a large lake (Lake Constance, Germany): Effects on methane distribution and turnover in the sediment» Limnol. Oceanogr., 56(1), 2011, 379–393, E 2011, by the American Society of Limnology and Oceanography, Inc. doi:10.4319/l.o.2011.56.1.0379