

УДК 504.5.06

DOI 10.29222/ipng.2078-5712.2018-23.art79

## УГЛЕВОДОРОДНАЯ ДЕГАЗАЦИЯ ЗЕМЛИ: МОНИТОРИНГ, МАСШТАБЫ И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ

Гулиев И.С.<sup>1</sup>, Керимов В.Ю.<sup>2,3</sup>

1 – Институт геологии и геофизики НАН Азербайджана, 2 – МГРИ-РГГРУ имени Серго Орджоникидзе; 3 – РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина

E-mail: i.s.guliyev@gmail.com

**Аннотация.** В статье рассмотрены принципы углеводородной дегазации Земли. Прямая оценка масштабов углеводородной дегазации Земли представляет собой сложную задачу и возможна только на основе многоуровневого мониторинга с применением новейших аналитических технологий на базе аэрокосмических и наземных измерительных устройств в реальном масштабе времени. Выполненные исследования в данной области позволили установить, что процессы периодического выделения углеводородов из осадочных пород характеризуются значительными объемами и интенсивностью. Наиболее характерными примерами возбуждения пористой среды, насыщенной углеводородами, являются извержения грязевых вулканов, корреляция которых, например, с солнечной активностью, гравитационными полями (приливные и неприливные вариации) и термобарическими факторами (волны разрежения и отрицательного давления) показывают, что малоамплитудные физические воздействия могут активизировать процессы в «очагах» возбуждения.

**Ключевые слова:** дегазация, поток газа, масштабы углеводородной дегазации, нефтегазовые залежи.

## HYDROCARBON DEGASSING OF THE EARTH: MONITORING, SCALE AND GEOECOLOGICAL CONSEQUENCES

Guliyev I.S.<sup>1</sup>, Kerimov V.Yu.<sup>2,3</sup>

1 – Geology and Geophysics Institute of National Azerbaijan Academy of Science, 2 – Sergo Ordzhonikidze Moscow Geological Prospecting University; 3 – Gubkin Oil and Gas University

E-mail: i.s.guliyev@gmail.com

**Abstract.** The article discusses the principles of hydrocarbon degassing of the Earth. Direct assessment of the Earth hydrocarbon degassing scale is a complex task and is possible only on the basis of multi-level monitoring using the latest analytical technologies based on real-time aerospace and ground-based measuring devices. Studies in this area have allowed

determining that the processes of hydrocarbons periodic separation from sedimentary rocks are characterized by significant volumes and intensity. The most typical examples of the excitation of a porous medium saturated with hydrocarbons are eruptions of mud volcanoes, the correlation of which, for example, with solar activity, gravitational fields (tidal and non-tidal variations) and thermobaric factors (rarefaction and negative pressure waves) show that low-amplitude physical effects can intensify processes in “foci” of excitation.

**Keywords:** Degassing, gas flow, scale of hydrocarbon degassing, oil and gas deposits.

Изучение газового режима земной коры относится к числу актуальных и недостаточно изученных проблем современной геологии. Теоретический аспект проблемы связан с познанием роли природных газов в эволюции поверхностных и глубинных оболочек Земли, становлении и развитии биосферы, накоплении горючих полезных ископаемых. Актуальность проблемы на современном этапе резко возросла в связи с опасностью развития парникового эффекта. Картирование и оценка масштабов выноса углеродсодержащих газов и сравнение их с техногенными, представляется одной из важнейших проблем современной науки. Важной практической проблемой является разработка моделей формирования, методов прогнозирования и поисков углеводородных (УВ) скоплений в сложных геологических условиях, прежде всего, на больших глубинах. Образование, миграция и накопление УВ-газов на больших глубинах относится к числу наиболее сложных проблем в геологии горючих ископаемых.

Исследования показывают, что в недрах некоторых молодых бассейнов, в частности, в Южно-Каспийской впадине, функционирует естественным образом сложившаяся непрерывная «технологическая линия» по преобразованию подземного вещества в энергетическое и химическое сырье, характеризующееся высокой производительностью и являющееся ценным достоянием осадочного комплекса впадины. На рис. 1 дана принципиальная схема многоуровневого мониторинга дегазации Земли. Ориентируясь на далекую перспективу, на базе такой линии можно создать такую природную добывающую и восстанавливающую нефтегазовую систему, которая была бы в состоянии обеспечить некоторую гарантированную восполняемую норму отбора продукции в течение достаточно длительного времени. Факт воздействия малоамплитудных процессов на возбуждение углеводородных систем (на примере работ по вибрационному воздействию на нефтегазовые залежи подтверждены на фактическом

материале, что позволяет приблизиться к решению проблемы управления процессами выделения углеводородов из недр).

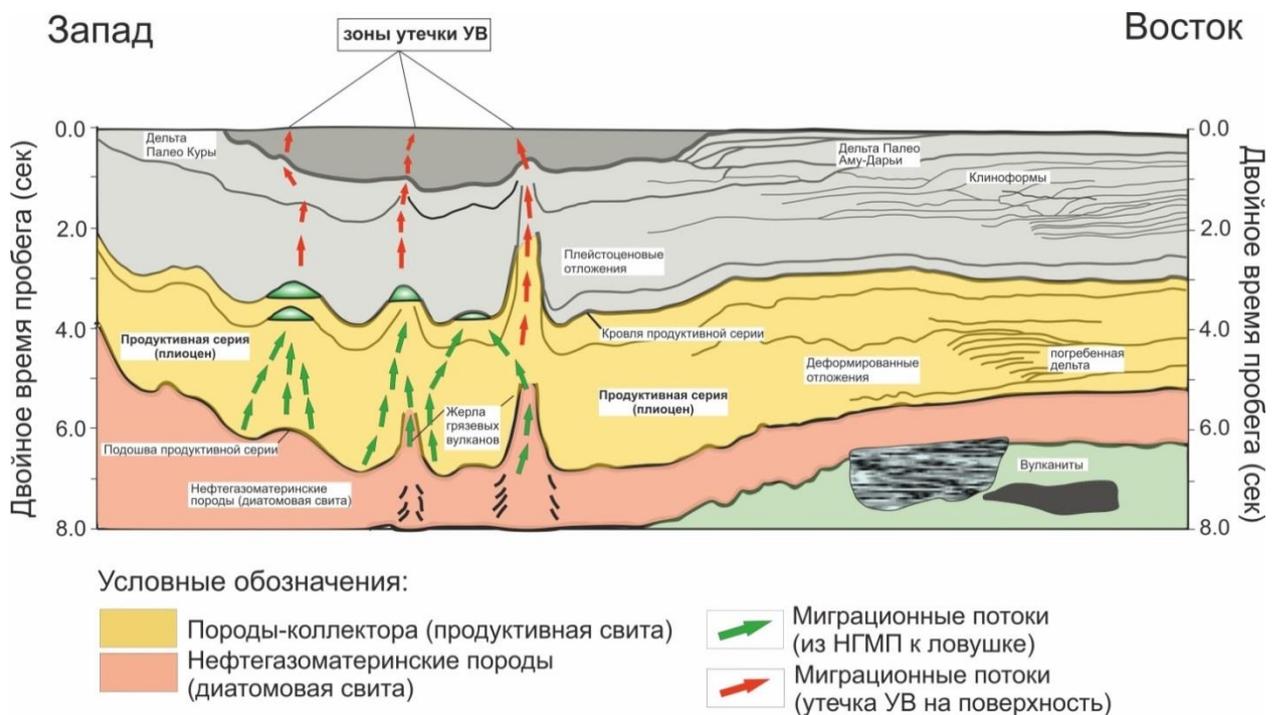


Рис. 1. Принципиальная схема многоуровневого мониторинга дегазации Земли

### Методика исследований

Методика современного высокотехнологичного мониторинга разрабатывается в рамках совместных исследований Института геологии и геофизики НАН Азербайджана и Министерства Природных Ресурсов Германии. Оценки осуществлялись на базе геофизической обсерватории на грязевом вулкане Дашгиль, Перекишкюль и др. в реальном масштабе времени в течение периода с 2003 по 2018 гг. Станция мониторинга газа, расположенная в пределах малой сальзы вулкана Дашгиль в период первой фазы исследований, включала сенсоры измерения потока метана, радона, атмосферного давления и температуры. Устройство регистрации полученных данных переводило информацию в цифровой формат, сохраняло ее и с помощью передающей антенны транслировало на базовый компьютер (рис. 2 и 3).

Пространственно-временные закономерности развития грязевого вулканизма указывают на их взаимосвязь с солнечной активностью, лунно-солнечными приливами, землетрясениями, оползнями и колебаниями уровня моря. Исследования показывают, что солнечная активность и соответствующие изменение электромагнитных полей, а также вариации гравитационного поля (например, приливные) являются основным механизмом,

обеспечивающим принудительную синхронизацию большинства геологических процессов. При этом необходимо отметить довольно сложный характер связи, поскольку реального влияния событий глобального масштаба (землетрясение в Суматре) на газовую разгрузку в зоне грязевого вулкана нами не было выявлено.

Очевидно, отсутствие хорошо оснащенной технологической базы, представительной геофизической, геологической и геохимической информации о структуре и свойствах пород и флюидов, а также термодинамической характеристике среды и процессах происходящих в очагах не позволило получить достоверные и подтверждаемые результаты.

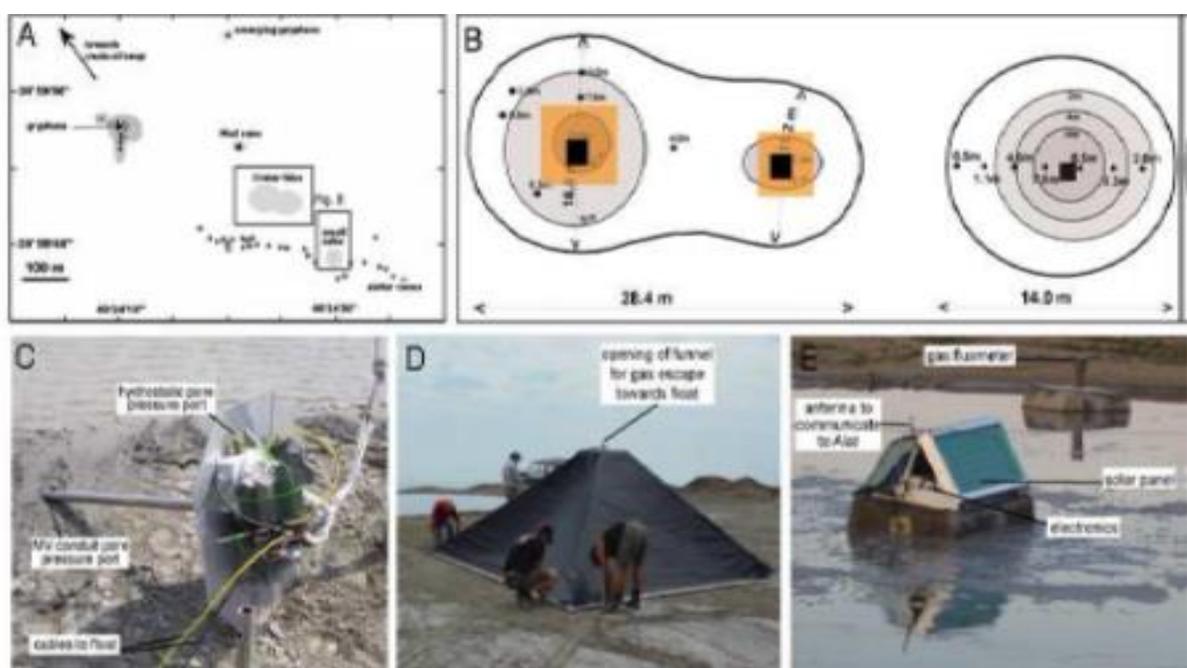


Рис.1 Станция мониторинга газа, расположенная в пределах малой сальзы вулкана Дашгиль.



Рис. 3. Устройство для измерения потока газа, размещенное в зоне грязевого вулкана Пирекяшкюль, смонтировано в захороненном в грунт алюминиевом контейнере

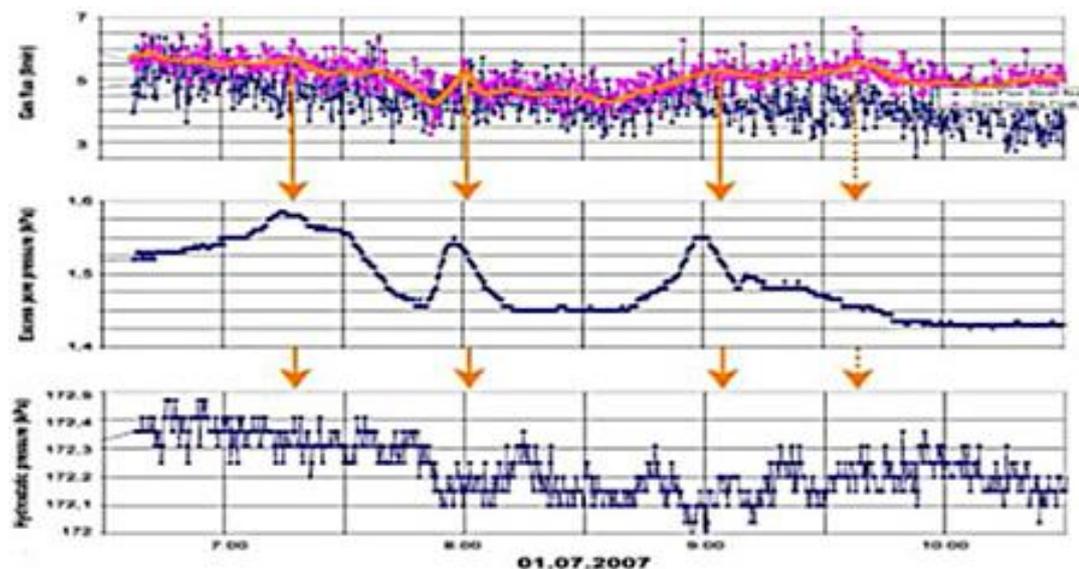


Рис. 4. Частотный анализ параметров дегазации, зарегистрированного с помощью станции мониторинга показывает четкие пики частотой в 12 и 24 ч (атмосферные приливы).

#### Масштабы углеводородной дегазации

Выделяют две основные категории геологических источников поступления  $\text{CH}_4$  в атмосферу – это процесс образования углеводородов в осадочных бассейнах и геотермальные или вулканические выделения. В тоже время первую категорию можно условно разделить на четыре группы, включающие в себя а) грязевые вулканы на суше; б) просачивания на суше (не связанные с грязевыми вулканами); в) макро-выходы на суше; и г) морские (подводные) макро-выходы (в том числе и морские грязевые вулканы)

Косвенные оценки могут быть сделаны на основе баланса выделяющихся газов и флюидов на месторождениях углеводородов, грязевых вулканов и фокусированных струй. Периодические извержения грязевых вулканов, выносящие десятки и сотни миллионов куб. м газа на протяжении последних сотен лет. Данные об исторических извержениях, показывают, что за новейший период деятельности грязевых вулканов в атмосферу в процессе извержений было выброшено порядка нескольких десятков триллионов куб. метров газа. Расчетная скорость поступления УВ в залежи на гигантских месторождениях дает величины  $n \cdot 10^{-13} \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$

Анализ длительно функционирующих добывающих скважин, на некоторых месторождениях нефти и газа, показывает, что их ресурсы, согласно подсчетам запасов, должны были быть выработанными несколько десятилетий тому назад. Факт продуктивности скважин до настоящего времени обычно связывают с ошибками при

подсчете запасов углеводородов. Хотя, для оценки и подсчета запасов углеводородов применялся единый методический подход. Скорость поступления углеводородов (современной дегазации) оценивается величиной  $n \cdot 10 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ .

На суше и территории моря выявлены сотни тысяч естественных, длительно функционирующих макро- и микро выходов газа. Их масштабы сегодня оценить очень сложно. Обнаружены залежи газогидратов с ресурсами, сопоставимыми с гигантскими газовыми месторождениями. Исследования масштабов дегазации осуществлявшиеся как на грязевых вулканах, фокусированных источниках УВ в других регионах мира, имели дискретный характер и касались, главным образом, подсчетов выхода газа в атмосферу в аспекте изучения «парникового эффекта». Эти данные дают представление о масштабах углеводородной дегазации, хотя необходимы более корректные оценки. Были рассчитаны приблизительные количества извержений грязевых вулканов за время их существования. Расчеты основывались на средних значениях объемов выбрасываемой брекчии. По этим расчетам, например грязевой вулкан Большой Кянизадаг извергался 7,350 раз, Торагай – 6860 раз, Дашмардан – 1250 раз, Дашгиль – 550 раз и т.д., что в свою очередь делает возможным подсчитать приблизительные объемы газа, которые поступили в атмосферу в результате их извержений. Для всех грязевых вулканов наземной части Азербайджана общий объем выброшенного газа оценивается величиной  $32 \cdot 10^3$  млрд.  $\text{м}^3$ .

#### **Картирование очагов дегазации.**

Современная углеводородная дегазация сопровождается значительными геодинамическими эффектами, которые фиксируются в виде землетрясений и могут быть картированы современными телеметрическими системами в реальном масштабе времени. Рис.5. На рис.6 приведены очаги слабых землетрясений, вызванных извержениями грязевых вулканов Азербайджана за последние 10 лет.

К числу слабых мест исследований в данной области можно отнести: отсутствие инструментальных представлений о структуре «очагов дегазации» и «субвертикальных» каналов; структуре выводных каналов в приповерхностной части коры, вариаций геофизических и геохимических полей; отсутствие экспериментальных исследований механизмов активизации процессов выделения углеводородных флюидов, а также недостатки физико-химических моделей.

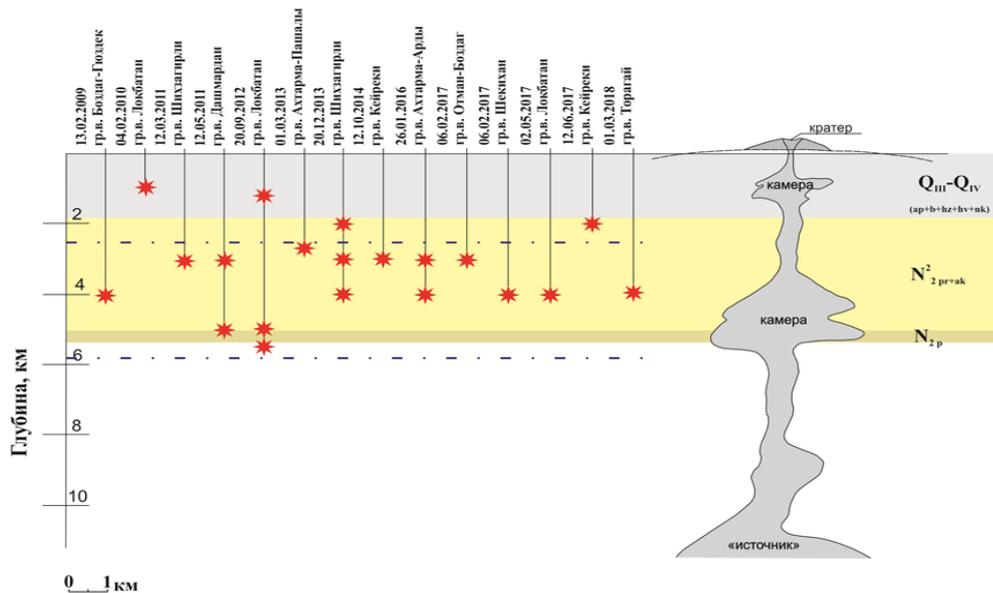


Рис. 7. Трехмерная модель развития гидроразрывов (а, б, в) и изменения пористости (г, д, е) палеоген миоценовых и плиоценовых отложений : а, г – 3.5 млн.лет; б, д – 1.8 млн.лет; в, е - настоящее время.

Очаги (палеоочаги) дегазации (рис. 7), а также разуплотненные флюидонасыщенные геологические тела на сейсмических профилях должны фиксироваться как зоны инверсии скоростей сейсмических волн. При наличии достаточно плотной сети гравитационных наблюдений возможно определение пространственного положения возмущающего геологического тела и построения трехмерной модели. С помощью специальных наблюдений методом высокоразрешающей объемной сейсморазведки возможно установить как морфологию таких образований и глубины их зарождения (очаги возбуждения) и субвертикальные каналы миграции. Геологические образования такого типа выявлены в осадочном чехле Южно-Каспийской впадины, и имеют эллипсоидную форму.

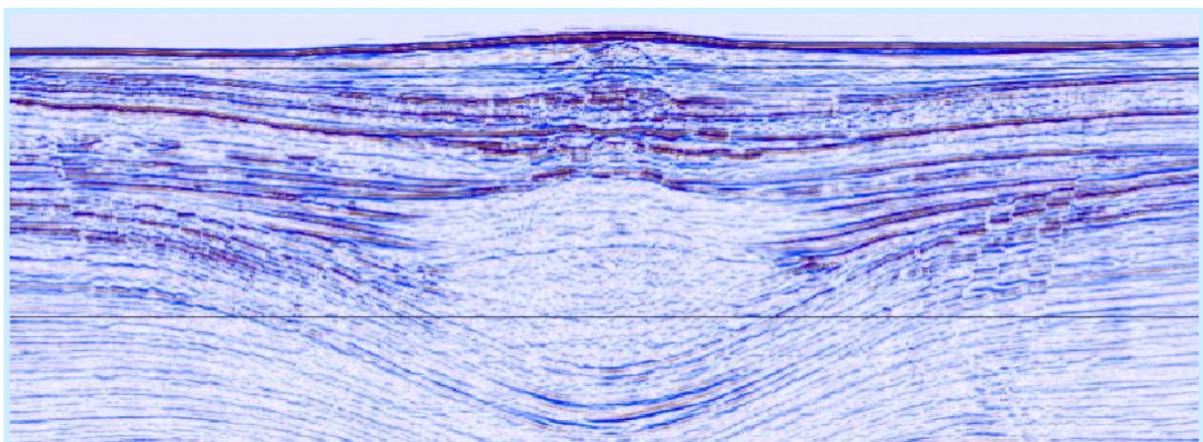


Рис. 7. Пример очага дегазации в Южно-Каспийской впадине

### Картирование каналов, времени и масштабов миграции углеводородов.

Время, интенсивность и направления миграции углеводородов традиционно основывается на совокупности косвенных признаков, таких как породы-источники, регионально выдержанные коллектора, разрывные нарушения, зоны сочленения отдельных блоков и др. В последнее время используется комбинация геофизических и геохимических методов, в результате которых картируются выходы углеводородов на поверхность суши и моря и разрывные нарушения. Время миграции определяется как начало вхождения нефтематеринских пород в зону генерации углеводородов. Для условий современных углеводородных систем имеются дополнительные признаки.

Миграция флюидов вырабатывает в осадочном чехле субвертикальные каналы причудливой формы, заполненные разуплотненным осадочным материалом. В зависимости от интенсивности и времени миграции, степень разуплотнения и консистенция осадочного материала меняются. Эти особенности отражаются на сейсмических диаграммах различным «сейсмическим имиджем». Выявленные сейсмическими методами субвертикальные геологические тела, их объем, распределение в разрезе, сравнительный стратиграфический возраст позволяют, в ряде случаев, определить, время, последовательность и направление миграции углеводородов, а также их сравнительную интенсивность (рис. 5, рис. 8).

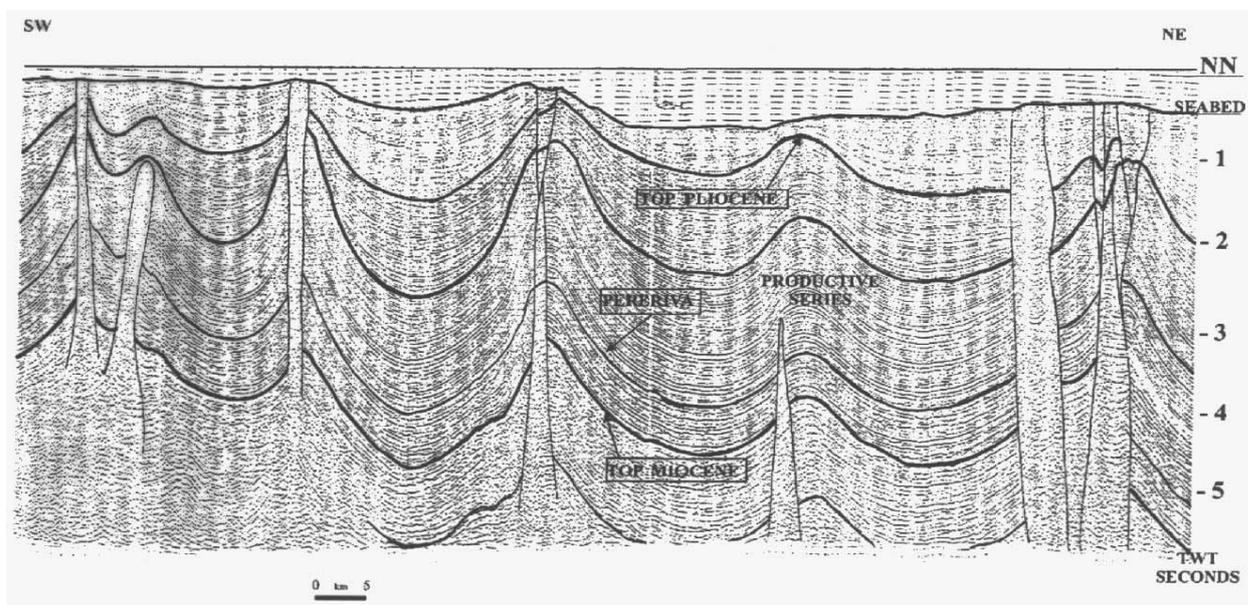


Рис. 8. Выявленные сейсмическими методами субвертикальные геологические тела.

### **Геоэкологические последствия природной и техногенной дегазации в Азербайджане.**

Опасности каспийского шельфа можно разделить на две большие группы: геологические природные, не зависящие от деятельности людей и инициированные технической деятельностью человека.

С начала промышленного освоения углеводородных богатств на нефтегазовых объектах случился не один десяток катастроф, причиной которых стали идущие в земной коре процессы дегазации недр. Очень ограниченная информация известна лишь о наиболее крупных из них. В начале 80-х годов прошлого века в процессе геологоразведки на шельфах Казахстана и Туркменистана опрокинулись и затонули две самоподъемные буровые установки. В середине 90-х годов на шельфе в ходе работ опрокинулось и затонуло глубоководное основание. На суше в результате резкого проседания грунта под землю ушла буровая установка и т.д.

2001 г. ознаменовался феноменальными проявлениями грязевого вулканизма. Произошло около 20 извержений на суше и в Каспийском море. Активизация Баилковского (Баку) и других оползней также является наглядным свидетельством нарастающей динамической активности недр, непосредственно влияющей на функционирование нефтегазового сектора, на изменение дебитов скважин и создающей угрозу технологическим установкам и коммуникациям.

Интенсивная широкомасштабная дегазация и эксплуатация недр впадины Каспийского моря, непрерывно нарастающая по площади и по глубине и идущая с использованием все более мощных средств разрушения горных пород, длится уже полтора столетия. Поэтому неслучайно, например, что в старейших нефтегазодобывающих районах Апшеронского полуострова и в ряде других регионов общее опускание земной поверхности последние десятки лет, судя по данным геодезии, достигло нескольких метров, что намного превосходит характерную скорость естественных тектонических подвижек земной коры.

### **Заключение**

В течение последнего десятилетия значительно расширена теоретическая база исследований процессов дегазации, его нелинейности, проведены фундаментальные и экспериментальные исследования, сформулированы положения о спонтанном

«возбуждении» и разуплотнении осадочных пород, выявлены эффективные каналы дегазации – субвертикальные тела в осадочных бассейнах.

Оценка масштабов дегазации показывает, что запасы углеводородов в залежах могут восполняться. В недрах некоторых молодых бассейнов, в частности, в Южно-Каспийской впадине функционирует естественным образом сложившаяся непрерывная «технологическая линия» по преобразованию подземного вещества в энергетическое и химическое сырье, характеризующаяся, высокой производительностью и являющаяся ценным достоянием осадочного комплекса впадины. Ориентируясь на далекую перспективу, на базе такой линии можно создать такую природную добывающую и восстанавливающую нефтегазовую систему, которая была бы в состоянии обеспечить некоторую гарантированную восполняемую норму отбора продукции в течение достаточно длительного времени.

Все нефтегазовые залежи рассматриваются в качестве продукта функционирования технологических линий рассмотренного типа. Каждая такая линия характеризуется своим уровнем текущей производительности и потенциалом восстановления извлеченного материала. Поэтому представленный выше комплекс методов выделения подобных линий и оценки их воспроизводящей способности может рассматриваться в качестве новизны и уникальности данного методологического подхода.

Ранее выполненные исследования в данной области позволили установить, что процессы периодического выделения углеводородов из осадочных пород характеризуются значительными объемами, интенсивностью, и восполняемостью, достаточными для использования углеводородов в промышленном масштабе. В пористой среде, насыщенной углеводородами и характеризующейся метастабильностью, способностью к фазовым переходам (возбудимостью) и особыми чувствительными зонами (очагами возбуждения), процессы возбуждения, за счет которых происходит выделение углеводородов, могут быть связаны с широким кругом явлений имеющих гравитационную, электрофизическую, волновую и термодинамическую природу. Наиболее характерными примерами возбуждения пористой среды, насыщенной углеводородами, являются извержения грязевых вулканов, корреляция которых, например, с солнечной активностью, гравитационными полями (приливные и неприливные вариации) и термобарическими факторами (волны разрежения и отрицательного давления) показывают, что малоамплитудные физические воздействия могут активизировать процессы в «очагах

возбуждения. Воздействия слабых физических полей естественной природы на скорость и масштабы возбуждения углеводородной среды, предполагает принципиальную возможность регулирования интенсивности и периодичности выделения углеводородов за счет воздействия искусственных полей.

Факт воздействия малоамплитудных процессов на возбуждение углеводородных систем (на примере работ по вибрационному воздействию на нефтегазовые залежи) подтвержден на фактическом материале, что позволяет приблизиться к решению проблемы управления процессами выделения углеводородов из недр.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Delisle G., Teschner M., Guliev I., Aliev Ch., Faber E.* On preliminary monitoring results of methane flux from the Dashgil mud volcano/Azerbaijan Proceedings, Geology Institute, Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, 4, 2005. P. 11–24.
2. *Garney, J., 1997,* Migration or replenishment in the Gulf, Petroleum Review, USGS science for a changing world, Courtesy of USGS Library, 200–203.
3. *Guliev I., Panah, B.* Geodynamics of the deep sedimentary basin of the Caspian Sea region: Paragenetic correlation of seismicity and mud volcanism. Geo Marine Letters, Publisher: Springer-Verlag, Volume 24, Number 3, July 2004. P 169–177.
4. *Guliyev I.S., Kerimov V.Y., Osipov A.V., Mustaev, R.N.* Generation and accumulation of hydrocarbons at great depths under the earth's crust // SOCAR Proceedings, 1, 2017. P. 4-16.
5. *Huseynov D.A., Guliyev I.S.* Mud volcanic natural phenomena in the South Caspian basin: geology, fluid dynamics and environmental impact // Environmental Geology. 2004. Vol. 46. P. 988–996.
6. *Judd A.G., Hovland M., Dimitrov L.I., Garcia G., Jukes V., 2002.* The geological methane budget at continental margins and its influence on climate changes, Geofluids, 2. P. 109–126.
7. Атлас грязевых вулканов мира // Гл. редактор Ак.А. Ализаде. Баку: Издательство «Nafta-Press», 2015. 322 с.
8. *Гулиев И.С.* Возбужденные осадочные комплексы и их роль в динамических процессах и формировании нефтегазовых месторождений // Труды Международного совещания-семинара «Новейшая тектоника и ее влияние на формирование и размещение залежей нефти и газа». Баку, 1999. С. 44–52.

9. *Гулиев И.С., Керимов В.Ю., Мустаев Р.Н.* Фундаментальные проблемы нефтегазоносности Южно-Каспийского бассейна // ДАН. 2016. Т. 471. № 1. С. 62–65.
10. *Керимов В.Ю., Гулиев И.С., Гусейнов Д.А., Лавренова Е.А., Мустаев Р.Н., Осипов А.В., Серикова У.С.* Прогнозирование нефтегазоносности в регионах со сложным геологическим строением // Издательский дом «Недра», 2015, 404 с.
11. *Керимов В.Ю., Серикова У.С., Мустаев Р.Н., Гулиев И.С.* Нефтегазоносность глубокозалегающих отложений Южно-Каспийской впадины // Нефтяное хозяйство. 2014. № 5. С. 50–54.