

УДК 551.2.03

DOI 10.29222/ipng.2078-5712.2018-23.art41

СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКАЯ ПРИРОДА ДЕГАЗАЦИИ, ПОСТУПЛЕНИЯ ГАЗА ИЗ НЕДР К ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ И ЕГО УЧАСТИЕ В ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ НА ПРИМЕРЕ ОХОТСКОГО МОРЯ

Обжиров А.И., Тихоокеанский океанологический институт имени В.И. Ильичева (ТОИ) ДВО РАН, e-mail: obzhirov@poi.dvo.ru

Аннотация. Природные газы пронизывают Землю от мантии до поверхности. Пути миграции газа – дегазации являются зоны разломов, оперяющие трещины, межслойные и другие проницаемые пустоты. В зависимости от состава газа в недрах происходят различные физико-химические процессы, влияющие на вмещающие породы. Если в газе присутствует метан, другие углеводороды, водород, то формируются залежи углеводородов, газогидратов и создается восстановительная обстановка, образуются определенные аутигенные минералы. Если в составе газа содержится большой процент CO₂, то происходят окислительные реакции. Кроме физико-химического воздействия на вмещающие породы, газ является важным участником в геологических процессах, благодаря мощной динамической силы. Под большим давлением газ мигрирует из глубоких горизонтов к поверхности, расширяет стенки разломов, трещин, создает газовую подушку между стенками разломов и при сейсмических активизациях способствует эпизодам землетрясений, оползням и формированию структур и залежей углеводородов и ценных минералов. В статье приводятся факты участия газа в геологических процессах и формирования залежей углеводородов в Охотском море, как примере участие газа в геологической жизни Земли.

Ключевые слова: природные газы, миграция газов из недр, дегазация, разломы, сейсмические активизации, залежи углеводородов, землетрясения.

SEISMOTECTONIC ORIGIN OF EARTH DEGASSING, SURFACE GAS EMISSION FROM SUBSOIL AND ITS PARTICIPATING IN GEOLOGICAL PROCESSES IN THE SEA OF OKHOTSK

Obzhirov A.I., Ilyichov Pacific Oceanological institute of RAS Far East Branch
E-mail: obzhirov@poi.dvo.ru

Abstract. Natural gases permeate the Earth from the mantle to the surface. The paths of degassing – the gas migration, are fault zones, feathering cracks, interlayer and other permeable voids. Depending on the composition of the gas in the subsoil, various physicochemical

processes occur that affect the host rocks. If hydrogen, methane and other hydrocarbons are present in the gas, hydrocarbon deposits and gas hydrates are formed and a reducing environment is created, forming certain authigenic minerals. If the gas contains a larger percentage of CO₂, then oxidative reactions take place. In addition to physico-chemical effects on host rocks, gas is an important participant in geological processes, thanks to its powerful dynamic force. Under high pressure, gas migrates from deep horizons to the surface, expands faults and cracks, creates a gas cushion between fracture walls, and during seismic activations contributes to earthquake episodes, landslides and the formation of hydrocarbon structures and mineral deposits. The article presents the facts of gas participation in geological processes and the formation of hydrocarbon deposits in the Sea of Okhotsk, as an example of gas participation in the geological life of the Earth.

Keywords: natural gases, migration of gases from subsoil, degassing, faults, seismic activations, hydrocarbon deposits, earthquakes.

Геолого-геофизическая и сейсмическая характеристика Охотоморского региона

Охотоморский регион представлен геологическими структурами дна Охотского моря и его обрамления со стороны суши. Это один из уникальных регионов на Дальнем Востоке. На западе региона структуры Охотского моря граничат с о.Сахалин по глубинному прогибу, который возник, возможно, в результате субдукционного процесса (Родников 2004). В прогибе накапливаются мощные осадочные отложения до 10–15 км мезозойского и кайнозойского возраста с формированием в них залежей углеводородов. На западе, севере, востоке и юге Охотского моря образованы впадины, прогибы – Дерюгинская, Тинро, примагаданские структуры, Иченско-Колпаковский и Гольгинский прогибы на границе с материком Камчатки, Курильская котловина, отделенная от Тихого океана Курильскими островами. В центре моря возникли возвышенности Академии наук и др. На западе Охотского моря в районе субдукционного прогиба между о.Сахалин и плитой фундамента Охотского моря проходит зона глубинного Восточно-Сахалинского разлома (рис. 1).

Выполненные исследования геологической истории развития Охотоморского региона, оценки возможного участия природных газов в формировании геологических структур, зон разломов, которые являются путями миграции потоков пузырей газа из глубоких горизонтов к поверхности дна и в воду дали возможность определить источники

и состав газа, использовать метан и другие компоненты газов для прогноза геологических процессов и залежей углеводородов. В этих процессах хорошо просматривается система дегазации Земли, которая влияет на формирование геологических структур, геофизических и гидроакустических характеристик, газогеохимических полей и сейсмических активизаций. То есть, природный газ, мигрирующий из мантии и других глубинных горизонтов Земли в процессе ее дегазации воздействует и участвует в геологических процессах на Земле (рис. 2).

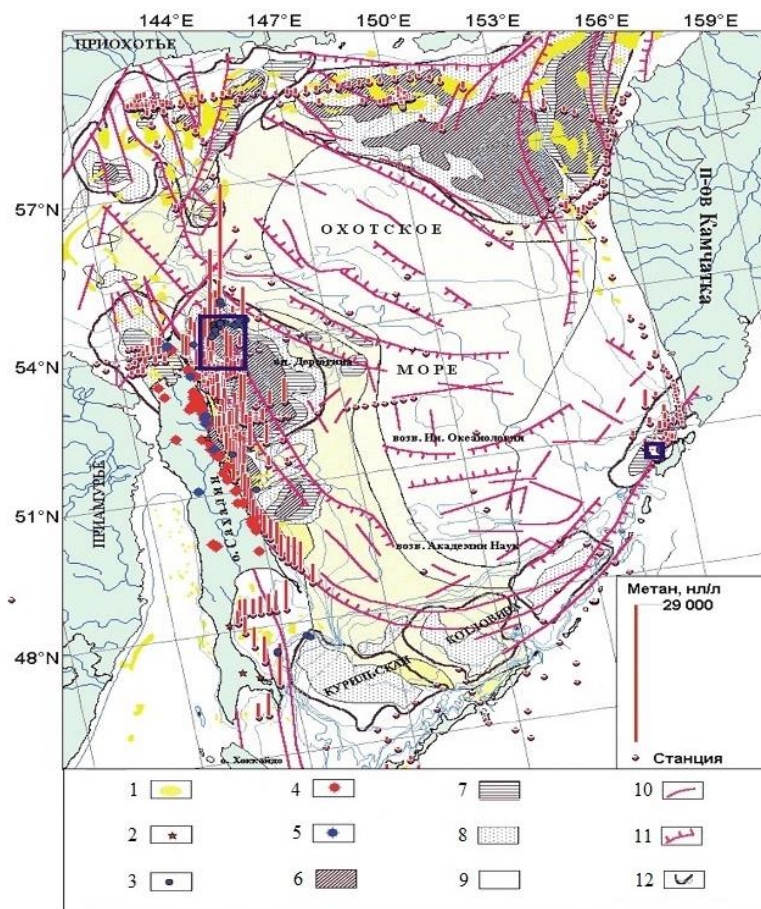


Рис. 1 Схема структурно-тектонического строения дна Охотского моря (Харакинов, 1995). На схеме представлены локальные структуры (С), Грязевые вулканы (Г), потоки пузырей газа из донных отложений в воду (Ф), проявления нефти (П), выходы газа (В) и площади с потенциальной плотностью генерации углеводородов в $n \times 10^6 \text{ т/км}^2$: 1 - 20, 2 - 10-15, 3 - 5, 4 - <5 (Геодекян и др., 1979). Линиями показаны зоны разломов, линиями с зубцами – разломы – границы между рифтогенными структурами (Харакинов, 1995, Гнибиденко, 1990). Вертикальными линиями со значком внизу в виде полуокружности показано расположение газогеохимических станций, на которых отбирались пробы воды, из них на дегазационной установке извлекался газ и на хроматографе определялись концентрации газовых компонентов CH_4 , $(\text{C}_2\text{-C}_4)$, CO_2 , O_2 , N_2 , H_2 , He (Обжиров и др.). На схеме длина вертикальной линии показывает концентрацию метана в придонной воде, в масштабе, 30 см длины равна 29000 нл/л, то есть, 1 см длины равен концентрации метана в придонной воде – 2900 нл/л. Обычно фоновая концентрация метана в придонной воде Охотского моря равна 29 нл/л. Квадраты на схеме показывают районы, где обнаружены газогидраты.

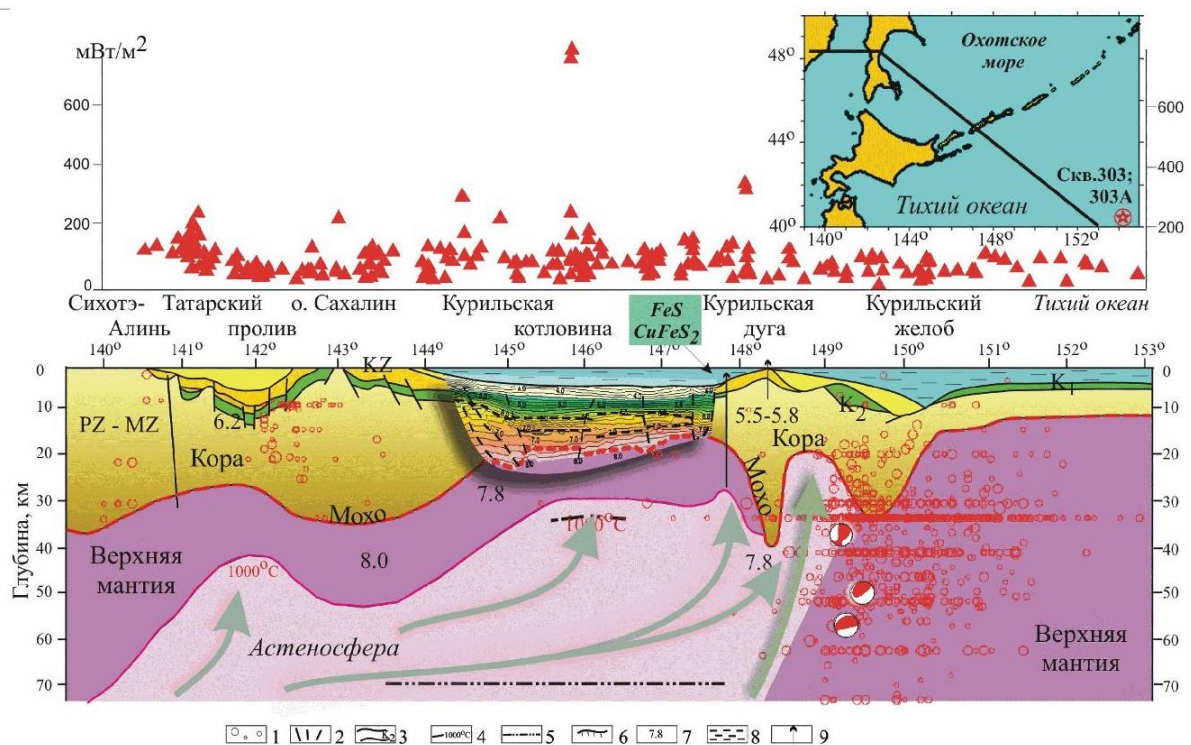


Рис. 2 Геодинамическая модель глубинного строения региона Охотского моря в границах между структурами окраины Сихотэ-Алиня (Приморье), Татарским трогом, о. Сахалин, Курильских островов и Тихого океана. (Родников, Забаринская и др., 2013, [8])

В правом верхнем углу – местоположение геотраверса. Ниже - распределение измеренных значений теплового потока ($\text{мВт}/\text{м}^2$) вдоль профиля. PZ – палеозой, MZ – мезозой, KZ – кайнозой, K2 – верхний мел. 1 – положение очагов землетрясений, 2 – разломы, 3 – геологические слои, 4 – изотерма $^{\circ}\text{C}$, 5 – границы слоя высокой элетропроводимости, 6 – граница Мохо, 7 – скорости продольных сейсмических волн, км/с, 8 – водная толща, 9 – вулканы.

Создавая давление на породы, газ формирует в них трещины и разломы, передает тепло из мантии, способствует перемещению блоков пород земной коры по зонам разломов, создавая газовую подушку между стенками, что вызывает землетрясения, оползни. Под воздействием газов формируются различные геологические структуры, газогидраты, залежи углеводородов и минеральных ассоциаций, проявляется грязевый вулканизм, возникают гидротермальные поля и происходят извержения традиционных вулканов. Таким образом – газ – кровь Земли, а «Дегазация» – ее сердце.

Дегазационные процессы в Охотском море и участие их в формировании геологических структур, газогидратов, залежей углеводородов

Изучение дегазационных процессов и потоков природных газов из недр к поверхности донных осадков, из осадков в воду и частично в атмосферу выполнялось в морских экспедициях в Охотском море в течение многих лет в рамках российско-германского и российско-корейско-японского проектов КОМЕКС (1998–2004 гг.), ХАОС

(2003, 2005 и 2006 гг.) и САХАЛИН (2007–2012–2017). Исследования осуществлялись комплексным методом [2,3,4]. В основу его входили геологические, геофизические, газогеохимические, гидроакустические, минералого-стратиграфические, океанологические, морфоструктурные исследования. В результате выполненных работ были обнаружены многочисленные потоки пузырей метана (рис. 3) из донных отложений в воду и участки дна, содержащие газовые гидраты (рис. 4) в донных осадках [1] и возможность объяснить их формирование и взаимосвязи. В районе сейсмо-тектонически активных разломов поток метана из донных отложений в воду усиливается. При этом пузыри метана создают звукорассеивающие гидроакустические аномалии на эхограмме эхолота в виде вертикальных тел.

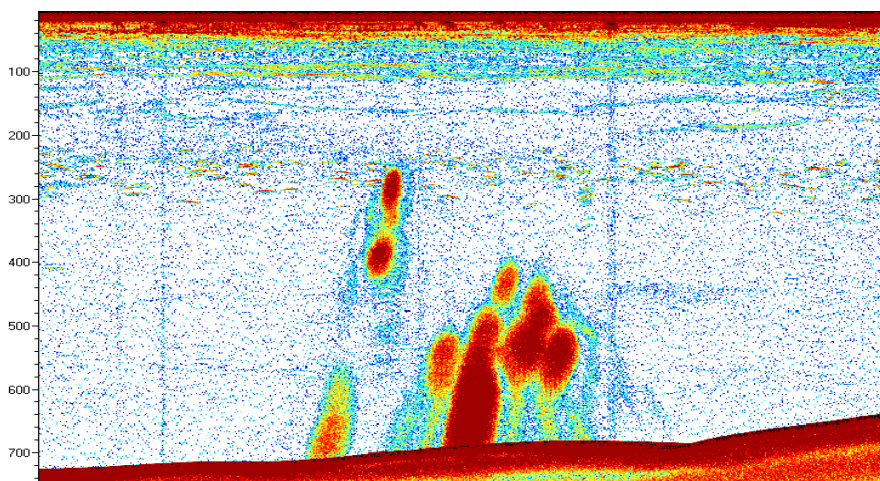


Рис. 3 Гидроакустическая запись выхода пузырей газа, с высоким содержанием метана, из донных отложений в воду в Охотском море на глубине 680 м. В районе потока газа (метана) в донных осадках обнаружен газогидрат и на поверхности дна образовалось возвышение



Рис. 4 Слои газогидратов (белый цвет) в донных осадках (серый цвет)

Кроме этого, высокочастотная сейсмическая съемка спаркером позволяет получить разрез верхней толщи осадочного слоя, который на участках газового просачивания показывает газовые каналы и отражающий горизонт (BSR), маркирующий основание зоны стабильности газовых гидратов (рис. 5). С 1985 года, сотрудники лаборатории Газогеохимии ТОИ ДВО РАН обнаружили аномальные поля углеводородов в придонной воде над месторождениями нефти и газа. Источником аномалий являются нефте-газ-содержащие породы и мантийный поток H_2 , He, CO_2 по зонам разломов с образованием газогидратов и залежей углеводородов. В дальнейшем газовые компоненты использовались как индикаторы поиска газогидратов, залежей углеводородов.

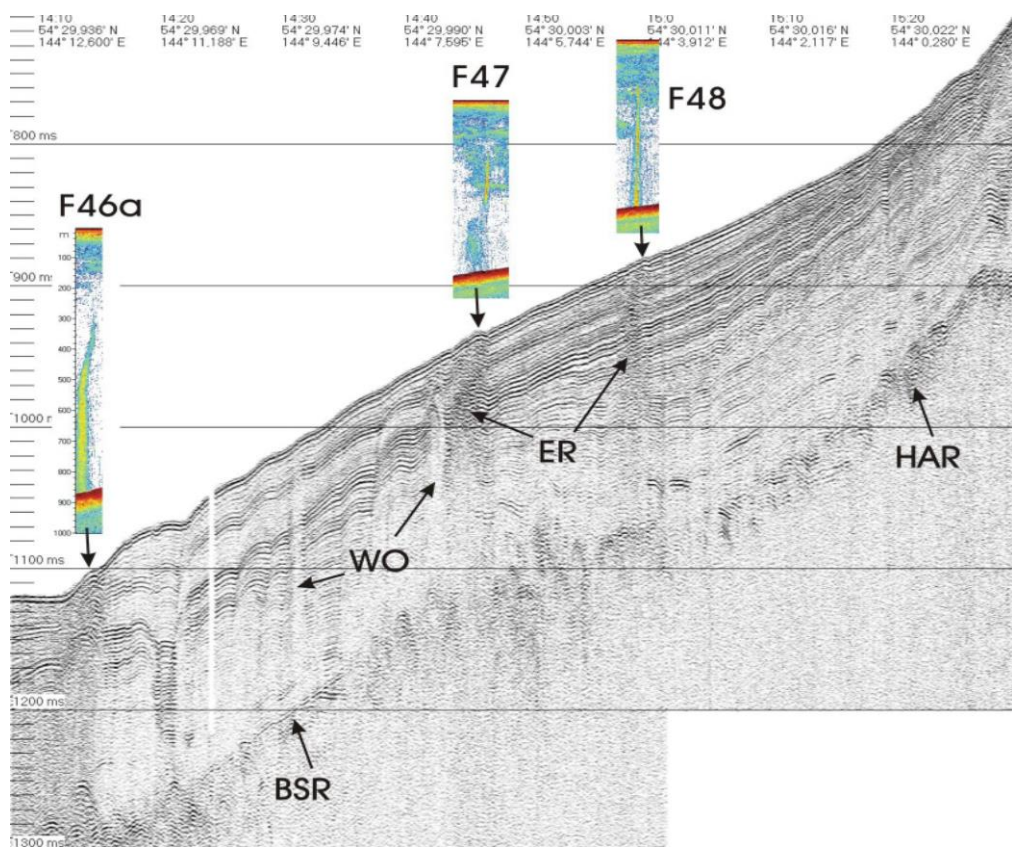


Рис. 5 Схема профиля с потоками газа из глубоких горизонтов к поверхности и в воду. Стрелками показаны выходы газа из донных отложений в воду. BSR – отражение подобно дну, то есть, граница подошвы газогидрат содержащих пород, образованная границей стабильности газогидратов. WO, ER, HAR – пути миграции газа по газовым каналам

На западном склоне Курильской котловины со стороны залива Терпения Охотского моря на глубинах моря 725 и 1020 м в экспедициях 2012 и 2013 гг. в донных осадках были **обнаружены газогидраты**. Это была первая находка газогидратов на юге Охотского моря на западном склоне Курильской котловины (рис. 6).

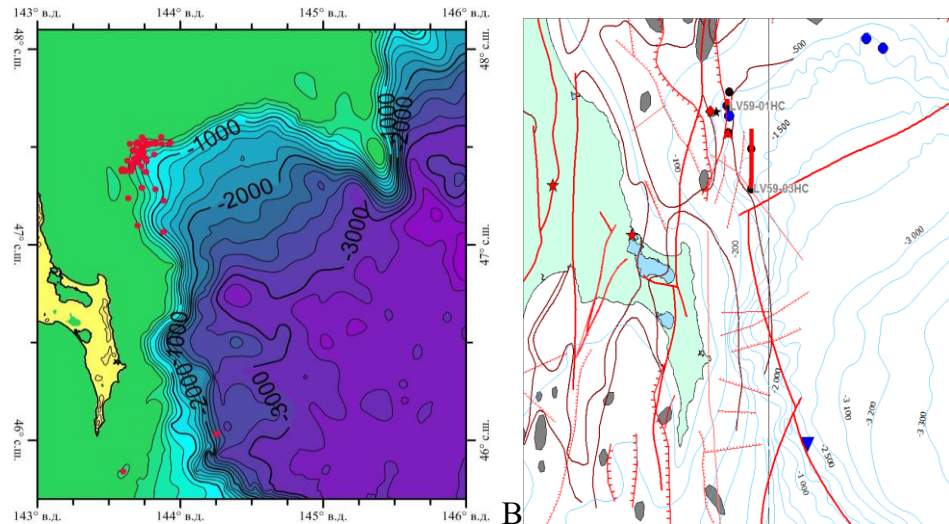


Рис. 6 Схема района исследований западного склона Курильской котловины Охотского моря. 6-А Батиметрическая схема района исследований. Красные точки – потоки пузырей газа. 6-В Тектоническая схема района исследований. Красные линии – зоны разломов, синий треугольник – район грязевого вулкана на юго-западном склоне Курильской котловины и газового факела высотой около 2000 м, красные квадраты – участки с газогидратами в донных осадках, синие кружки – потоки пузырей метана на северо-восточном склоне Курильской котловины в зоне контакта с шельфом залива Терпения

В юго-западном районе Курильской котловины, несколько южнее района, где были открыты газогидраты, на глубине моря 2200 м обнаружен мощный поток пузырей газа из донных отложений в воду (F-1), который почти достигает поверхности. Такой высоты поток газа (более 2000 м) с небольшим количеством метана **является самым высоким и мощным** в Мировом океане. В 2013 году поток уменьшился в 2 раза, а в 2014 году он исчез. В донных осадках в этом районе была обнаружена карбонатная и баритовая минерализации рис. 7.

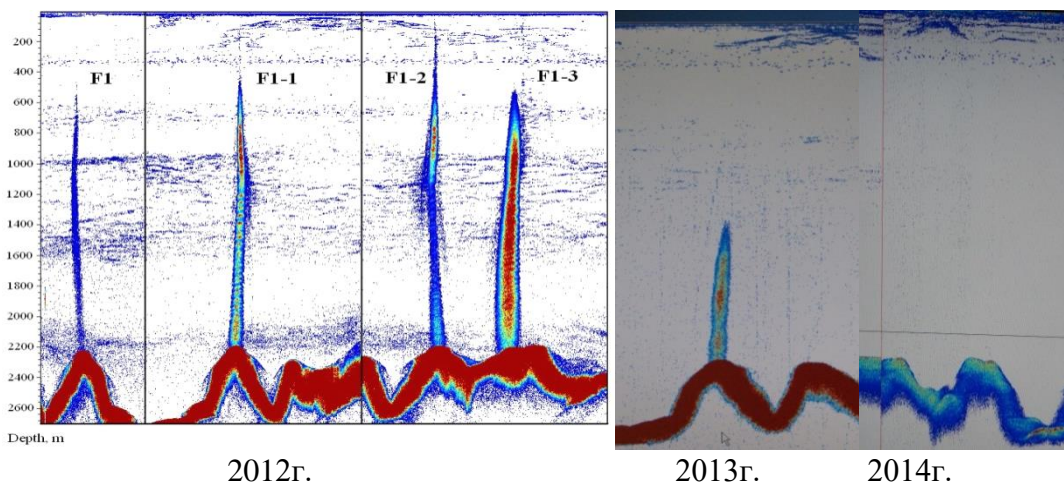


Рис. 7. Гидроакустическая запись потока пузырей газа с высоким содержанием метана на юго-западе склона Курильской котловины Охотского моря. Слева запись потока газа F1 (F1-1, F1-2, F1-3, повторные пересечения потока газа) на глубине 2200 м. В середине запись этого потока в 2013 г. и справа, запись этого потока в 2014 г.

Газогеохимические исследования

Газогеохимические исследования выполнены в донных осадках, в воде, как в зоне сочленения тектонических структур, так и в районах сейсмически стабильных. Сравнение распределения природных газов в разных геологических условиях (рис. 8) дает возможность детальнее понять формирование вертикальной газовой проницаемости литосферы и перспективность поисков газогидратов, нефтегазовых залежей и решения других геологических задач, например, картирования зон разломов, оценки их сейсмической активности, расчета поступления парниковых газов (CH₄, CO₂) в этих сейсмо-тектонически активных регионах [5].

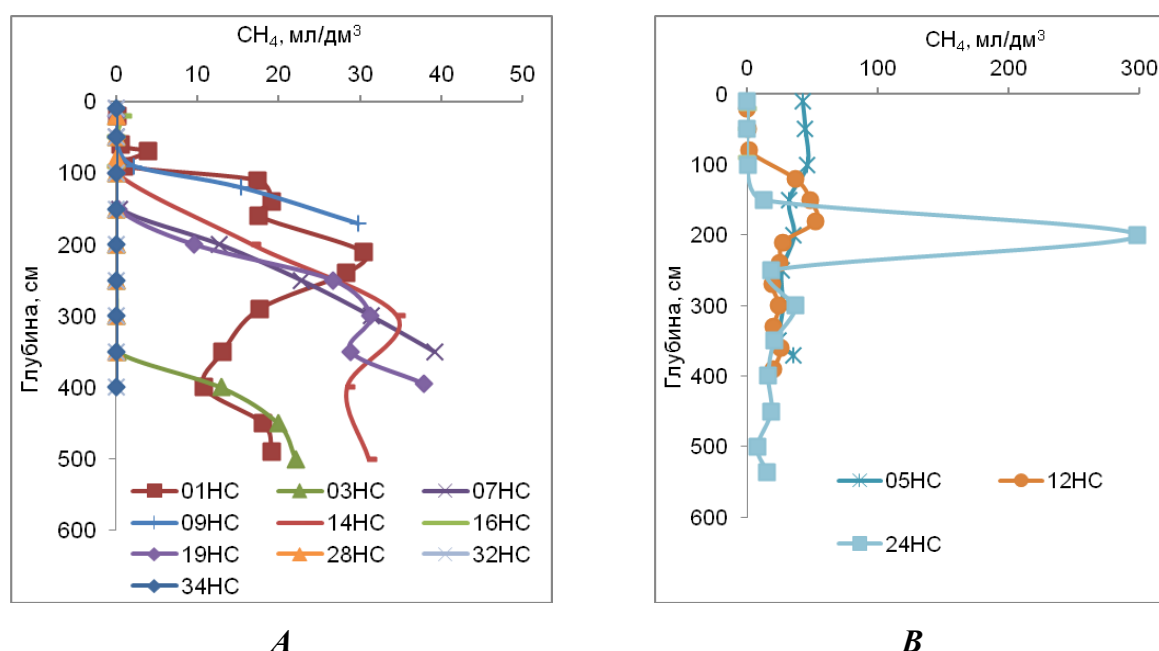


Рис. 8. Диаграммы вертикального распределения метана в осадке участков Охотского моря. А – станции, где газогидраты не обнаружены; В – станции, где газогидраты обнаружены

Распределение гелия и водорода

Измерение содержания гелия и водорода в воде и в осадочных отложениях проведено в районах активной разгрузки газа и на площадях с газогидратами на северо-западном склоне Курильской котловины [6]. Отметим, что фоновые концентрации газов выросли, по сравнению с прошлыми годами. Распределение гелия и водорода в осадке неравномерно. Скачок концентраций гелия наблюдается в местах прослоев газогидратов (рис. 9). Временная изменчивость концентраций гелия и водорода зависит от сеймотектонической активности, поэтому в периоды отсутствия землетрясений в районе исследований, наблюдаемые значения могли снизиться.

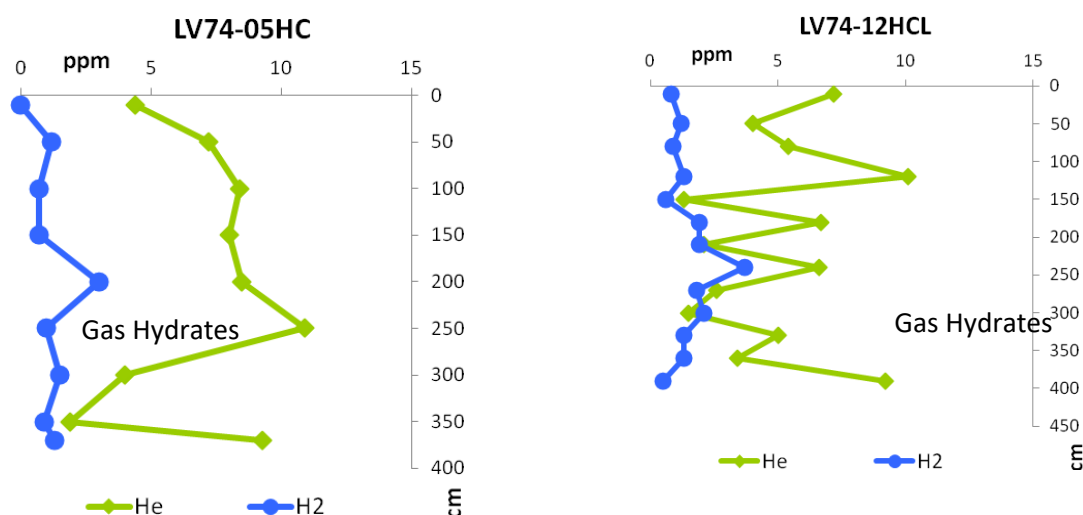


Рис. 9. Распределение гелия и водорода в осадочных ядрах северо-западной части Курильской котловины в Охотском море

Природные водород и гелий обычно обнаруживаются в одних и тех же проявлениях и поэтому рассматриваются совместно. [3,4]. Механизм концентрации в земной коре свободных (или водорастворенных) водорода и гелия, по-видимому, близок механизму концентрации углеводородных газов – в структурных, тектонических, литологических ловушках [5]. При этом мигрирующие из глубин водород и гелий экранируются в ловушках низко проницаемыми покрывками, которые имеют большую глубину залегания. В случае совпадения аномалий гелия, метана и водорода в зоне разлома наличие водорода свидетельствует об активности геологической структуры, в пределах которой происходят дегазационные процессы и перенос газов из мантии и других горизонтов Земли. Наиболее благоприятные места для активной разгрузки флюидов расположены в узле пересечения тектонических разломов, источниками которых являются аномальные по содержанию метана, углекислого газа, гелия и водорода осадки, а также газогидраты.

Заключение

Отметим, что в районе выходов пузырей метана, которые в основном приурочены к зонам разломов, наблюдается разрушение поверхности дна. Этот процесс следует детально изучать при инженерном проектировании строительства на дне [7]. Зафиксировано более 100 выходов пузырей газа (в том числе метана) в зоне перехода сахалинского шельфа в склон Курильской котловины. Изучен газовый состав воды и осадков. Аномальные концентрации метана в осадке, в черных илах, достигают 30-50

мл/дм³, а в воде – 10–20 мкл/л. В газе обнаружены тяжелые углеводороды (C₂–C₄) и аномальные концентрации гелия и водорода (5–10 ppm в осадках с газогидратами и 100–800 мл/л в воде, в большей степени в районе потоков пузырей газа из донных отложений в воду и в атмосферу). Источником природных газов являются нефте-газ-содержащие породы, угольные пласты, мантийный дегазационный поток водорода, гелия, углекислого газа, возможно метана при процессе серпентинизации ультраосновных пород. Пути миграции газа являются зоны разломов, которые раскрываются в период сейсмической активизации и в этот период газ может способствовать эпизодам землетрясений, так как внедряясь в разлом, газ расширяет его стенки и образует газовую подушку, благодаря которой блоки могут резко перемещаться относительно друг друга. Газ пронизывает все слои Земли и участвует как в геологических процессах, так и сейсмо-тектонических перестройках. **Газ – кровь Земли, дегазация – ее сердце.**

ЛИТЕРАТУРА

1. *Обжиров А.И., Пестрикова Н.Л., Мишукова Г.И., Мишуков В.Ф., Окулов А.К.* Распределение содержания и потоков метана на акваториях Японского, Охотского морей и прикурильской части Тихого океана // *Метеорология и гидрология*. М. 2016. № 3. С. 71–81.
2. *Обжиров А.И.* Метод поиска потоков метана и газовых гидратов в Охотском море // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2015. № 53. С. 30–35.
3. Operation Report of Sakhalin Slope Gas Hydrate (SAKHALIN) Project II, 2014, R/V Akademik M.A.Lavrentyev Cruise 67 (2015) Korea Polar Research Institute. Edited by Y.K. Jin, N.Minami, B. Baranov and A.Obzhirov. 121 p.
4. Operation Report of Sakhalin Slope Gas Hydrate (SAKHALIN) Project II, 2015, R/V Akademik M.A.Lavrentyev Cruise 70 (2016) Kitami Institute of Technology. Edited by N.Minami, Y.K. Jin, B. Baranov, N.Nikolaeva and A.Obzhirov. 119 p.
5. *Акуличев В.А., Обжиров А.И., Шакиров Р.Б., Мальцева Е.В., Гресов А.И., Телегин Ю.А.* Условия формирования газогидратов в Охотском море // *Доклады Академии наук*. 2014. Т. 454. № 3. С. 340–342.
6. *Шакиров Р.Б., Сырбу Н.С., Обжиров А.И.* Особенности распределения гелия и водорода на юго-восточном и юго-западном газогидратоносном склоне о.Сахалин (по

результатам 59 рейса НИС «Академик М.А. Лаврентьев», 2012 г.) // Литология и полезные ископаемые, Москва. 2016, №1. – С. 68–81.

7. *Shakirov R. B., Syrbu N. S., Obzhirov A. I.* Distribution of helium and hydrogen in sediments and water on the Sakhalin slope // *Lithology and Mineral Resources*, 2016, Vol. 51, No. 1, pp. 61–73. ISSN 0024-4902.

8. 7. *Обжиров А.И., Болобан А.В., Веникова А.Л.* Газогеохимические исследования и робототехника в инженерном проектировании на морском дне. // *Подводные исследования и робототехника: глубины океана - наша гигантская лаборатория*. 2016, N1 (21). ISSN 1992-4429. С. 66–71.

9. 8. *Родников А. Г., Забаринская Л. П., Н. А. Сергеева Н. А., Нисилевич М.В.* Геодинамические модели глубинного строения регионов природных катастроф переходной зоны Евразия-Тихий океан. ВЕСТНИК ОНЗ РАН, ТОМ 5, NZ6001, 2013. doi:10.2205/2013NZ000118,