

УДК 550.34

О газогеохимических предвестниках сейсмических активизаций, землетрясений и вулканических проявлений на Камчатке и в Охотском море (с привлечением информации о камчатских научных конференциях 2017 г.)

© А. И. Обжиров

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток, Россия**E-mail: obzhirov@poi.dvo.ru*

Изучение предвестников землетрясений с целью опережающего предсказания эпизодов землетрясений, возможных цунами и вулканических проявлений – важная научная и практическая задача. Для повышения эффективности прогнозных оценок сейсмических активизаций и их последствий в природной среде необходимо использовать комплекс методов исследований – гидроакустические, сейсмические, магнитометрические, гравиметрические, газогеохимические и другие измерения. Эффективность применения комплексного метода для прогноза сейсмических активизаций показана на примере результатов исследований в экспедициях в Охотском море. Обсуждению вопросов газогеохимических и геофизических предвестников были посвящены камчатские научные конференции осенью 2017 г. Об этих и других научных событиях рассказывается в статье. Основное внимание уделяется газогеохимическим и гидроакустическим исследованиям и использованию их как критериев прогноза сейсмотектонических активизаций, землетрясений и вулканических проявлений.

Ключевые слова: газогеохимические критерии, сейсмическая активизация, землетрясения, вулканические проявления, Камчатка, Охотское море, конференции.

doi: 10.30730/2541-8912.2018.2.1.057-068

Gasgeochemical precursors of seismic activity, earthquakes, volcanic episodes on the Kamchatka and Sea of Okhotsk (to use information of the Kamchatka scientific conferences 2017)

*Anatoly I. Obzhirov**V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS, Vladivostok, Russia**E-mail: obzhirov@poi.dvo.ru*

Study precursors of earthquakes aimed to predictions of episodes of earthquakes, possible tsunamis and volcanic manifestations is the important scientific and practical problem. To improve effective predictions of seismic activity and its consequences in the terrestrial media it is necessary to use comprehensive research methods – hydroacoustics, seismics, magnetic, gravity, gasgeochemical and other measurements. Using such methods to predict seismic activation is effective, as it has demonstrated by the example of investigation results for the Okhotsk Sea. Some problems in this sphere of the gasgeochemical and geophysical precursors have been discussed on the Kamchatka scientific conferences, 2017 autumn. All information is represented in this paper. Basic attention is focused on gasgeochemical and hydroacoustics investigations to use them like the criteria of prognosis of seismic-tectonic activity, earthquakes, and volcanic episodes.

Keywords: gasgeochemical criteria, seismic activity, earthquakes, volcanic episodes, Kamchatka, Sea of Okhotsk, conferences.

Введение

С 25 сентября по 7 октября 2017 г. два академических института Камчатки совместно с Камчатским филиалом ФИЦ Единой геофизической службы РАН в Петропавловске-

Камчатском провели две научные конференции. С 25 по 30 сентября в Институте космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН (ИКИР) в Паратунке прошла VIII международная конференция

«Солнечно-земные связи и физика предвестников землетрясений» (посвященная 30-летию ИКИР ДВО РАН), где обсуждались влияния эпизодов землетрясений, вулканических активизаций на радиофизические, магнитные характеристики в атмосфере и ионосфере. С 1 по 7 октября в Институте вулканологии и сейсмологии ДВО РАН им. Б.И. Пийпа состоялась 6-я научно-техническая конференция «Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России», на которой были представлены доклады по геофизическому мониторингу современных геодинамических процессов на Дальнем Востоке; выяснению взаимосвязи эпизодов землетрясений, вулканических извержений с изменением природных явлений, магнитных, акустических полей; определению предвестников землетрясений, извержений вулканов и прогнозу цунами.

Изучение предвестников землетрясений на Камчатке и в Охотском море

Отмечу, что доклады и их обсуждение были интересны и важны для решения как фундаментальных, так и прикладных задач. Ученым этих институтов везет: они живут на территории природной лаборатории, когда каждый месяц или чаще происходят землетрясения и вулканологические активизации.

Они могут с применением различных научных схем, приборов наблюдать изменения в магнитных, акустических полях в атмосфере, ионосфере. Благодаря частым эпизодам природных активизаций ученые Камчатки выполняют постоянный мониторинг изменений в измеряемых параметрах до, в период и после события и тем самым определяют предвестники землетрясений и вулканических извержений, магнитуду землетрясений и возможные последствия сейсмических событий. Я впервые узнал, что, оказывается, есть люди, которые радуются эпизодам землетрясений, особенно с магнитудами 7–8, потому что они позволяют в реальности изучать, как эти явления влияют на магнитные, акустические и другие характеристики на Земле и в космосе. Наука – и ничего личного.

В докладах научных сотрудников и кандидатской диссертации Е.О. Макарова «Отклик в динамике подпочвенного радона на подготовку сильных землетрясений Камчатки и северо-западной окраины Тихого океана» (научный руководитель д.г.-м.н. П.П. Фирстов) отмечены важные процессы, которые проявляются в период подготовки и эпизода землетрясения: изменение уровня воды в скважинах, выделение водорода и радона. Такие же процессы происходят в Охотском море. В период сейсмических активизаций по зонам разломов из донных отложений в воду и частично в атмосферу выделяются



Участники 6-й конференции возле Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск Камчатский, 2 октября 2017 г.

потоки пузырей газа, в составе которых содержатся аномальные концентрации метана, углекислого газа, водорода, гелия и других компонентов, в том числе радона и ртути. Источниками газа в Охотском море являются нефтегазосодержащие породы, в которых обнаружены залежи углеводородов, и более глубинные источники, возможно из мантии и земной коры. Подтверждается это наличием в газе метана, гелия, водорода, радона, ртути и других компонентов. Данные, приведенные в работах камчатских исследователей как на конференциях, так и в публикациях, схожи с данными о потоках пузырей газа в Охотском море как предвестниках сейсмической активизации. В Охотском море обнаружено более 500 потоков пузырей метана, которые имеют пульсационный режим. При сейсмической активизации возникают потоки пузырей газа из донных отложений в воду и атмосферу, в период стабилизации некоторые потоки уменьшаются или исчезают совсем, затем опять появляются в период сейсмических активизаций, которые сопровождаются эпизодами землетрясений. То есть можно говорить о параллельных проявлениях газовых предвестников землетрясений на Камчатке и в Охотском море.

Подтверждением сказанному является характер потоков газа в период исследований

в Охотском море. Первый поток природного газа с высоким содержанием метана (рис. 1) был обнаружен на северо-восточном Сахалинском склоне на глубине около 700 м в результате гидроакустических измерений в 1988 г. [Обжиров и др., 1989]. Последующие исследования в экспедициях 1989–2016 гг. [Обжиров, 1993; Обжиров и др., 2002; Обжиров, 2006; Jin et al., 2011] обнаружили новые потоки газа (рис. 2). К 1995 г. их количество превысило 100, и в том же году произошло катастрофическое Нефтегорское землетрясение магнитудой около 7 [Кулинич и др., 2007]. Таким образом, начиная с 1988 г. периодически увеличивалась сейсмическая активность, в результате чего начинался процесс раскрытия зон разломов, возникновения новых трещин и, как результат, потоков газа по разломам из недр к поверхности и в воду. Затем этот процесс сменялся некоторой стабилизацией, и снова возникала сейсмическая активность, которая сопровождалась землетрясениями – Углегорским (2000), Невельским (2007), Тохоку (2011), Охотоморским (2012) и землетрясениями меньших магнитуд на Сахалине и крупными землетрясениями на Курилах, в Китае и Японии, что характеризует сеймотектоническую активность всего региона окраинных морей западной части Тихого океана [Обжиров и др., 2002].

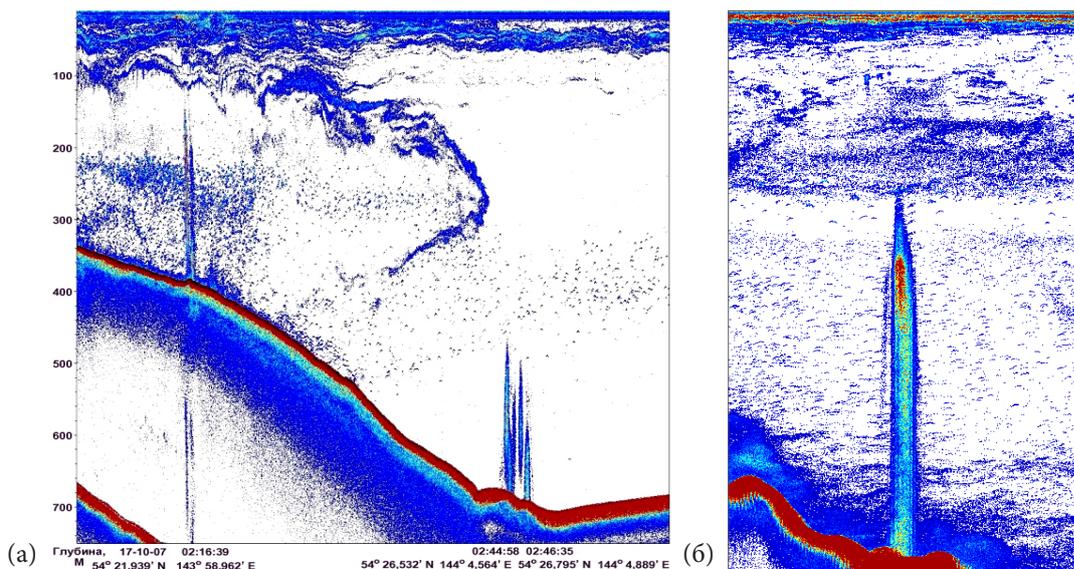


Рис. 1. Гидроакустические записи потоков пузырей газа из донных отложений в воду в Охотском море. (а) Эхограммы потоков метана на профиле структур «Гизелла» (поток вверх) и «Обжиров» (поток вниз) на Сахалинском северо-восточном склоне Охотского моря; (б) детальная гидроакустическая запись потока пузырей газа (с высоким содержанием метана) из донных отложений в воду. (Гидроакустическая запись выполнена А.С. Саломатиным, 2013 г.)

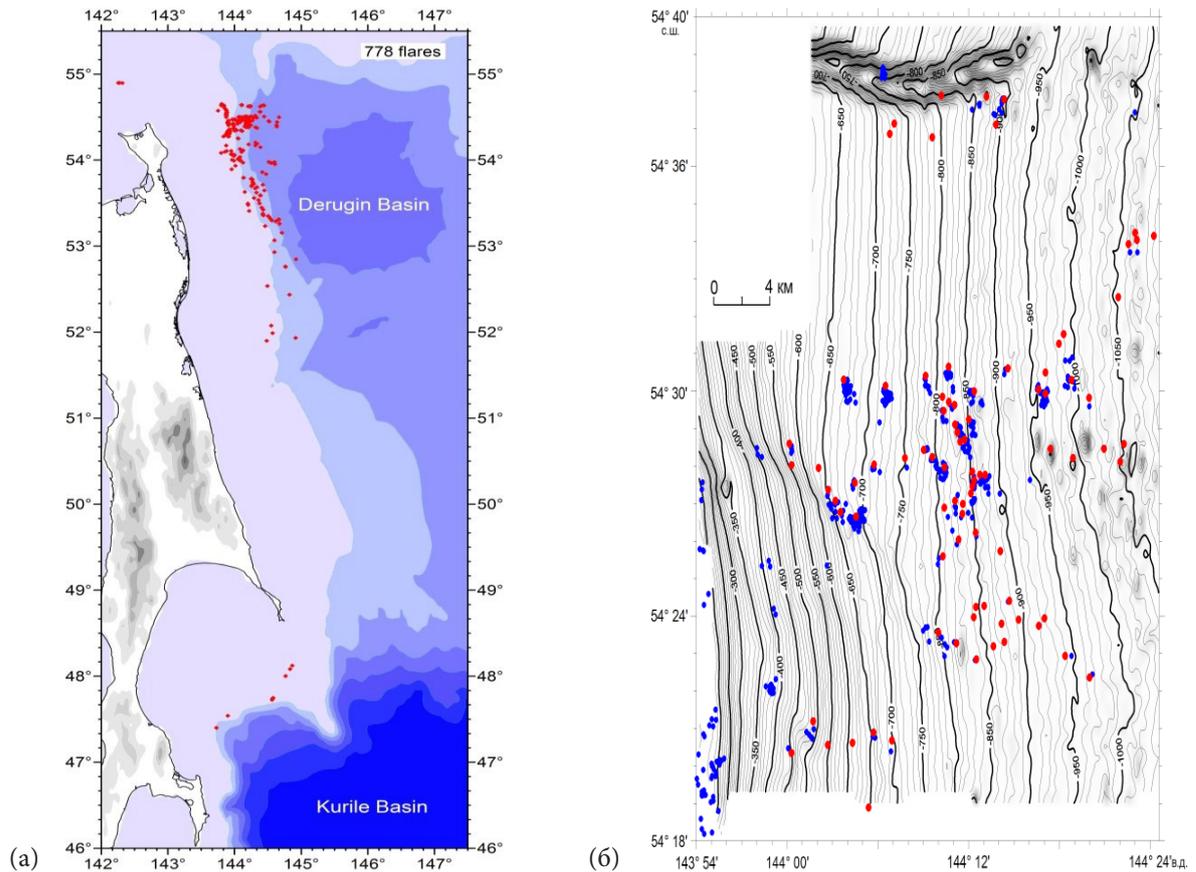


Рис. 2. Схемы потоков природных газов из донных отложений в воду: (а) на сахалинском северо-восточном шельфе и склоне Охотского моря, (б) детальная схема распределения потоков природных газов (точки красного и синего цвета), обнаруженных в разные годы на шельфе и склоне Охотского моря в районе между 54° и 55° с.ш. Вверху показан каньон, в котором также зафиксированы потоки пузырей газа.

Природные газы по зонам разломов проникают от мантии до поверхности через всю Землю [Родников и др., 2014; Харахинов, 2010]. Газ вызывает физико-химические изменения в толще пород и динамические нагрузки на породы. Например, метан создает восстановительную обстановку, участвует в формировании нефтегазовых залежей и газогидратов; увеличение концентрации углекислого газа связано с вулканической активизацией; гелий и водород характеризуют поток газа из мантии по зонам разломов в период сейсмических активизаций и могут быть индикаторами предвестников землетрясений. Динамическое влияние природного газа заключается в том, что газ внедряется в полость разлома при большом давлении; поднимаясь к поверхности, он расширяется и расширяет стенки разлома, создавая газовую прослойку, и блоки пород могут резко переместиться по разлому относительно друг друга. В результате скольжения этих блоков происходит землетрясение. Кроме того, газы и вода в породах

изменяют параметры магнитных и акустических полей. Это было услышано участниками конференций, пришло понимание важности сотрудничества ученых различных направлений наук о Земле в выполнении комплексных (геологических, геофизических, акустических, океанологических, газогеохимических, экологических и других) исследований.

Пример взаимосвязи сейсмических активизаций и потоков природных газов в Охотском море, которые можно использовать как предвестники землетрясений и вулканических процессов

Условия формирования потоков природных газов, газогидратов, возможности моделирования этих процессов изучались в морских экспедициях на сахалинском северо-восточном склоне Охотского моря в течение многих лет в рамках международных проектов: российско-германского КОМЕКС

(1998–2004 гг.) и российско-корейско-японских ХАОС и Газогидраты (2003, 2005, 2006, 2007–2017 гг.). В результате исследований были обнаружены многочисленные потоки пузырей метана из донных отложений в воду и участки дна, содержащие газовые гидраты в донных отложениях [Ludmann, Wong, 2003; Обжиров и др., 2016; Обжиров, 2016]. Усилиями участников многочисленных экспедиций в Охотское море был разработан комплексный метод поиска и изучения газогидратов. В основу его входят геологические, геофизические, газогеохимические, гидроакустические, минералого-стратиграфические, океанологические, морфоструктурные исследования. Этот комплекс позволяет обнаружить выходы пузырей газа из донных отложений в воду, аномальные поля природных газов, площади газогидратов и объяснить их формирование и взаимосвязи. В районе активных тектонических 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). Кроме того, высокочастотная сейсмическая съемка с использованием спаркера 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 [Operation Reports, 2013, 2014, 2015].

На западном склоне Курильской котловины предположительно существуют проявления грязевого вулканизма, с которым ассоциирует карбонатно-баритовая минерализация. Ее происхождение связано с миграцией углеводородных (преимущественно метановых) и барийсодержащих газо-флюидных потоков, источниками которых являются не только близповерхностные резервуары, но и более глубокие источники (рис. 4). Находки карбонатных конкреций и баритов не только в молодых позднечетвертичных осадках, но и в толще неогеновых отложений свидетельствуют о длительном этапе проявления этого типа газовой-флюидных эманацій.

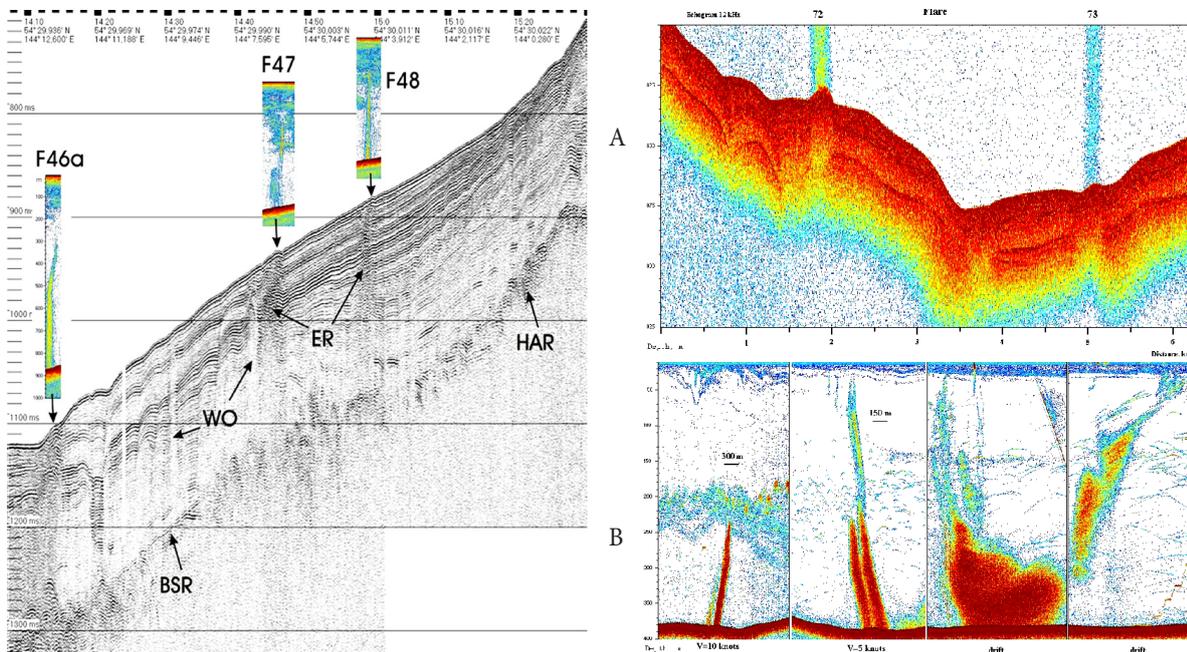


Рис. 3. Потоки природных газов с высоким содержанием метана. Слева – сейсмический разрез: BSR (Bottom Simulating Reflectors) – подошва газогидратсодержащих отложений, WO, ER – каналы (трубы) путей миграции газа из донных отложений в воду. Потоки пузырей газа показаны сверху, в водной толще – F46a, F47, F48. Справа – гидроакустическая запись потоков природного газа с высоким содержанием метана на разных глубинах моря. В районе этих потоков обнаружены газогидраты в верхних слоях донных осадков. На рис. А (вверху) видны нарушения верхних слоев осадков в каналах миграции газа и образование на дне небольших возвышений. Глубина моря: А – около 800 м, В – около 400 м [Operation Reports, 2013, 2014, 2015].

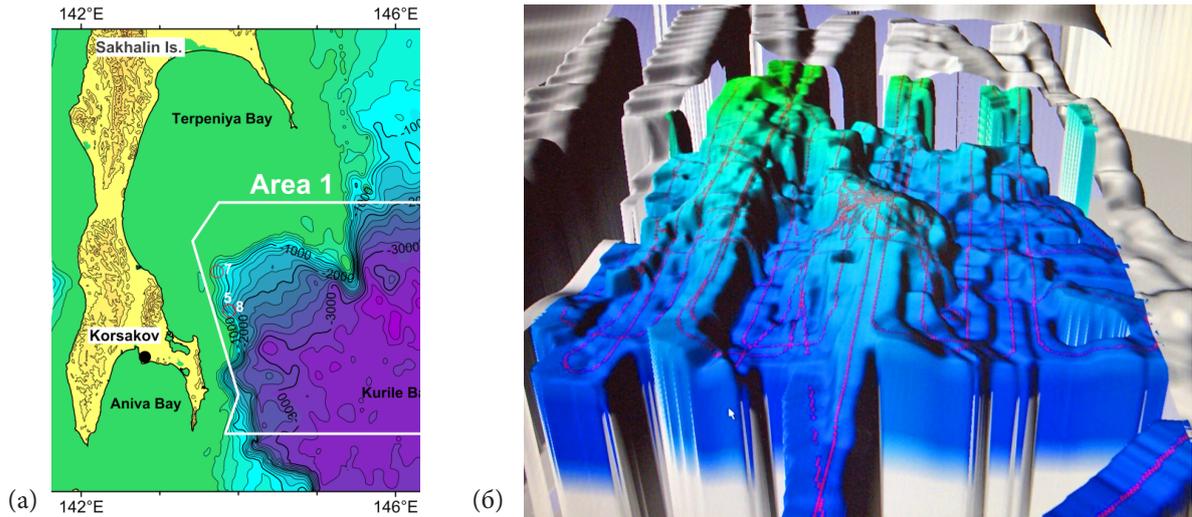


Рис. 4. Район исследований на западном склоне Курильской котловины Охотского моря: (а) обзорная схема западного склона Курильской котловины – Area 1; (б) структура на юго-западе площади Area 1, где зафиксирован поток пузырей газа, выходящий из вершины структуры, и обнаружена вулканическая брекчия, признак грязевого вулканизма в районе юго-западного склона Курильской котловины. (Минералогические исследования выполнялись А.Н. Деркачевым.) [Operation Reports, 2013, 2014, 2015]. (Два пересечения потока пузырей газа показаны на гидроакустической эхограмме, см. рис. 5.)

На юго-западном склоне Курильской котловины, несколько южнее района, где были открыты газогидраты, на глубине моря 2200 м обнаружен мощный поток пузырей газа из донных отложений в воду (F1-2, F1-3 на рис. 5), который почти достигает поверхности. Такой высоты поток газа (более 2000 м) с небольшим количеством метана является

самым высоким и мощным в Мировом океане (рис. 6 и 7). Поток обнаружен в 2012 г., во время Охотоморского землетрясения магнитудой около 7. Далее, в период сейсмической стабилизации, поток газа в 2013 г. уменьшился в 2 раза, а в 2014-м исчез. В донных осадках в этом районе была обнаружена карбонатная и баритовая минерализация [Obzhirou, 2017].

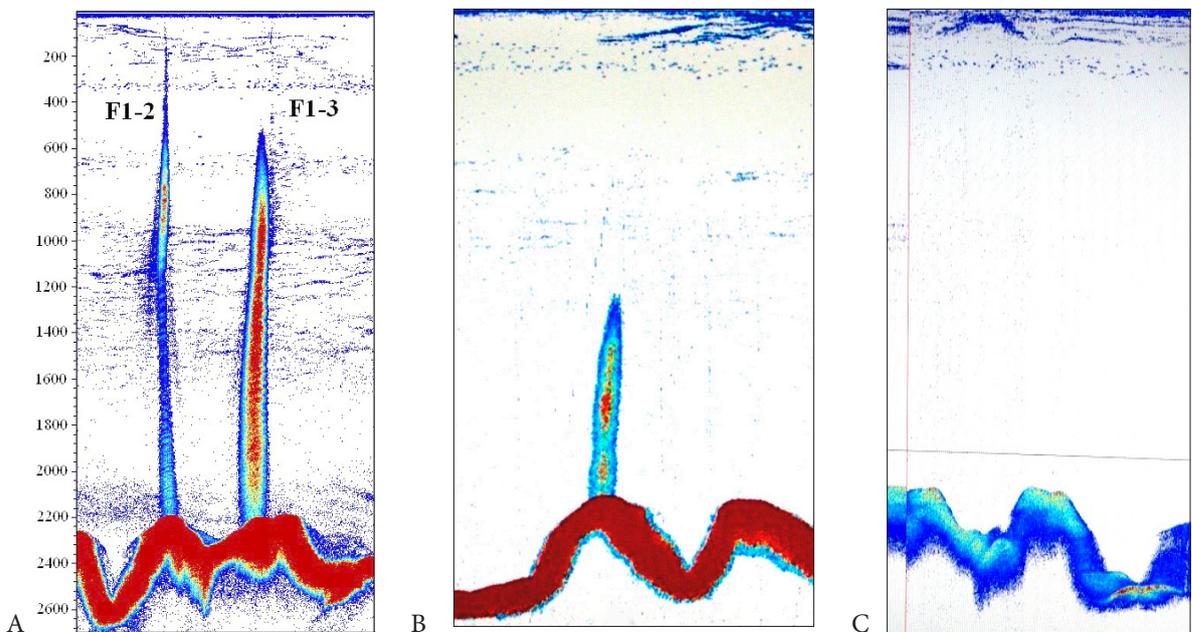


Рис. 5. Поток пузырей газа с незначительным содержанием метана в районе грязевого вулкана, обнаруженного на юго-западном склоне Курильской котловины Охотского моря (место расположения потока и структура грязевого вулкана показаны на рис. 4). Гидроакустическая запись Курильского потока: А – в 2012 г., факел F1-2 и F1-3 (повторная запись другим галсом); В – в 2013, С – в 2014 г. (Запись выполнена А.С. Саломатиным.) [Operation Reports, 2013, 2014, 2015].

Геолого-геофизический комплекс исследований на западном склоне Курильской котловины в 2012–2014 гг. показал, что эти районы Охотского моря представляют интерес для оценки источников углеводородов в них, для более детального изучения геологических условий формирования потоков газа с метаном из донных отложений в воду, сопряженных с ними газогидратов и влияния на эти геологические процессы сейсмических активизаций и землетрясений.

Экскурсия на вулкан Мутновский, Камчатка

Отдельного рассказа заслуживает экскурсия на вулкан Мутновский в рамках конференции. Этот однодневный поход имеет как спортивную, так и важную познавательную составляющую. Когда находишься непосредственно в районе вулкана, приходит ощущение, что ты присутствуешь при образовании нашей планеты – Земля, и, пока идешь по вулканическим образованиям, в голове прокручивается весь комплекс фантастики и современных знаний.

Группа участников под руководством к.ф.-м.н. Д.В. Чеброва утром 4 октября на спецавтобусе с хорошей проходимостью отправилась в сторону вулкана Мутновский. Абсолютная отметка вулкана составляет 2232 м. Автобус ехал без дороги, по обломкам и глыбам базальтов и андезитов к подножью молодых извержений вулкана, а дальше надо было идти пешком. Нас вели опытные вулканологи, мое внимание обратила на себя небольшого роста сейсмолог Мария Некрасова. Она шла впереди легко и весело. Я геолог, моя профессия ходить и искать, но через какое-то время я почувствовал, что подниматься тяжело. И было не только тяжело, но и опасно. На нашем пути к вершине вулкана лежал снег, снежный наст был скользкий. Когда мы шли вдоль достаточно крутого склона, а внизу овраг с глыбами базальтовой лавы и горячим потоком из фумарол вулкана, была реальная опасность соскользнуть в овраг. Поэтому надо крепко держаться на ногах и ставить ногу твердо в снег. Так мы и шли друг за другом вверх.



Восхождение на вулкан Мутновский.



На снимке автор, позади него овраг с горячим гидротермальным потоком.
До вершины вулкана осталось около 300 м.



Обломки базальта на пути к вершине вулкана Мутновский.



На пути встретили на одной вершинке крест – место, где погиб вулканолог, попав в кипящую воронку.

Я шел за Марией и думал, когда же наконец она остановится. Но вот и верши-

на – кипящие фумаролы, пар и сернистые отложения. Надо отметить, что внизу погода была хорошая, а вверху пошел снег и усилился ветер, поэтому снимки получились нечеткие.



Фумарольная деятельность на вершине вулкана Мутновский. 4 октября 2017 г.



Обед после восхождения на вулкан Мутновский, в роли хозяйки Мария Некрасова.

По возвращении вниз наши организаторы приготовили плов, напоили нас чаем, и мы благополучно вернулись в Петропавловск Камчатский.

Поход на вулкан был очень полезен. Благодаря ему камчатские просторы и активная вулканическая деятельность стали понятны не только «головой», но и «ногами».

В период конференции мы имели также возможность посетить Музей минералогии и вулканологии в Институте вулканологии и сейсмологии ДВО РАН. Там представлены отличные образцы минералов и вулканических пород. Очень подробно и с интересом рассказывал о появлении различных экспонатов вулканических пород и минералов заведующий музеем к.г.-м.н. С.А. Хубуная. Он рассказал об особенностях извержений различных камчатских вулканов, фотографии которых расположены на стенах музея. Особенно меня удивило, что в вулканической породе были обнаружены мелкие алмазы. При этом Сергей Александрович отметил, что пока непонятен источник углерода, из которого, возможно,

образовались алмазы. Он изложил мнение А.И. Кравцова из Московского геологоразведочного института (теперь Российский государственный геологоразведочный университет) о том, что алмазы в алмазных трубках Якутии образовались из углерода метана при высоких давлении и температуре и что поисковым признаком наличия алмазов в трубках является присутствие в подпочвенных газах водорода. То есть если алмазы образовались в алмазной трубке из метана, значит, углерод метана пошел на их образование и накапливается выделившийся из метана водород. Наличие метана свидетельствует о том, что образования алмазов не происходит или оно не завершено. Руководитель музея загадал нам также петрологическую загадку, показав черного цвета образец с рваными и острыми гранями боковых выступов. Никто не угадал, что это. Оказалось, это большого размера (около 50 см в диаметре) образец серы, который добыли в гидротермах Камчатки. После кристаллизации кусок серы приобрел черный цвет и экзотическую форму с острыми рваными краями.



В Музее минералогии и вулканологии. Слева стоит заведующий музеем к.г.-м.н. С.А. Хубуняя.

В период пребывания на Камчатке было еще одно событие, благодаря которому появилась возможность более детально ознакомиться с исследованиями на Камчатке. Это защита в Институте космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН трех кандидатских диссертаций по специальности «геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых». Наш институт, Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН был ведущей организацией для диссертанта Е.О. Макарова. В диссертации описаны природно-экспериментальные наблюдения за изменением физических полей, поведением радона и водорода до эпизодов землетрясений, в период и после этих событий. Схожие исследования выполняет наша лаборатория газогеохимии в ТОИ ДВО РАН. Мы используем природные газы как индикаторы для поиска залежей углеводородов, газогидратов, картирования зон разломов, оценки их сейсмической активности, возможностей прогноза землетрясений и решения других задач. Лаборатория обсудила диссертацию на семинаре и дала

квалифицированный положительный отзыв, я доложил об этом на заседании диссовета. После защиты диссертации мы еще раз обсудили возможность сотрудничества ученых Камчатки и Приморья в геофизических, гидрологических, газогеохимических наблюдениях на научных станциях институтов и геофизической службы Камчатки и научных базах ТОИ ДВО РАН в Приморье.

Заключение

Комплекс исследований, в том числе газогеохимических, в Охотском море и на Камчатке показал, что существуют критерии, которые могут помочь понять закономерные изменения в геологической среде в период сейсмических активизаций и использовать их как индикаторы прогноза землетрясений и вулканических извержений. Одним из таких критериев является газовая составляющая геологической среды. В период сейсмической активизации возникают трещины, зоны разломов и по ним из недр мигрируют газы, которые выполняют роль газовой смазки между стенками разломов, что создает ус-

ловия резкого перемещения блоков относительно друг друга. В результате происходит землетрясение с возможным последующим цунами в море. Если газа недостаточно, процесс движения блоков из-за большого трения между собой замедляется и землетрясения не происходит. Поэтому аномальные концентрации, в период сейсмической активизации, газовых компонентов – метана, водорода, гелия и др., радона – в почвенных газах, в донных осадках, в придонной воде морей и/или в воде подземных водотоков на суше следует расценивать как предвестники землетрясений и возможных вулканических проявлений. Это доказано на примерах изучения взаимосвязи газовой составляющей и эпизодов землетрясений в Охотском море и на Камчатке. Данный процесс носит глобальный характер, и исследованные закономерности могут быть характерны и для других регионов Земли.

Список литературы

1. Кулинич Р.Г., Бессонова Е.А., Обжиров А.И. О корреляции метановых эманаций со структурой фундамента северо-восточного шельфа и склона о. Сахалин и сейсмической активностью региона // *Дальневосточные моря России*. Кн. 3. М.: Наука, 2007. С. 277–285.
2. Обжиров А.И., Казанский Б.А., Мельниченко Ю.И. Эффект звукорассеивания придонной воды в краевых частях Охотского моря // *Тихоокеан. геология*. 1989. Т. 8, № 2. С. 119–121.
3. Обжиров А.И., Соснин В.А., Салюк А.Н. и др. *Мониторинг метана в Охотском море*. Владивосток: Дальнаука, 2002. 250 с.
4. Обжиров А.И. *Газогеохимические поля придонного слоя морей и океанов*. М.: Наука, 1993. 139 с.
5. Обжиров А.И. История открытия газогидратов в Охотском море // *Подводные исследования и робототехника*. 2006. № 2. С. 72–82.
6. Обжиров А.И., Пестрикова Н.Л., Мишукова Г.И. и др. Распределение содержания и потоков метана на акваториях Японского, Охотского морей и прикурильской части Тихого океана // *Метеорология и гидрология*. 2016. № 3. С. 71–81.
7. Обжиров А.И. Комплекс геогеохимических и геофизических критериев геологических исследований и прогноз залежей углеводородов в морских условиях // *Сб. материалов VI Сахалинской молодеж. науч. школы «Природные катастрофы: изучение, мониторинг, прогноз»*. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2016. С. 55–59.
8. Родников А.Г., Забаринская Л.П., Сергеева Н.А. Глубинные очаги генерации углеводородов в верхней мантии региона Охотского моря // *Глубинная нефть*. 2014. Т. 2, № 2. С. 210–219.
9. Харахинов В.В. *Нефтегазовая геология Сахалинского региона*. М.: Науч. мир, 2010. 276 с.
10. Jin Y.K., Kim Y.G., Baranov B. et al. Distribution and expression of gas seeps in a gas hydrate province of the northeastern Sakhalin continental slope, Sea of Okhotsk // *Marine and Petroleum Geology*. 2011. Vol. 28. P. 1844–1855.
11. Ludmann T., Wong H.K. Characteristics of gas hydrate occurrences associated with mud diapirism and gas escape structures in the northwestern Sea of Okhotsk // *Marine Geology*. 2003. Vol. 201. P. 269–286.
12. Obzhairov A. Gasgeochemical indicators seismic activity // *E3S Web of Conferences 20, 03003 (2017): Solar-Terrestrial Relations and Physics of Earthquake Precursors*. doi:10.1051/e3sconf/20172003003.
13. *Operation Report of Sakhalin Slope Gas Hydrate Project 2012, R/V Akademik M.A. Lavrentyev Cruise 59* / Y.K. Jin, H. Shoji, A. Obzhairov, B. Baranov. Korea Polar Res. Inst., 2013. 163 p.
14. *Operation Report of Sakhalin Slope Gas Hydrate Project II, 2013, R/V Akademik M.A. Lavrentyev Cruise 62* / H. Shoji, Y.K. Jin, B. Baranov, N. Nikolaeva, A. Obzhairov. Environmental and Energy Resources Res. Center, Kitami Univ., 2014. 110 p.
15. *Operation Report of Sakhalin Slope Gas Hydrate Project II, 2014, R/V Akademik M.A. Lavrentyev Cruise 67* / Y.K. Jin, H. Minami, B. Baranov, N. Nikolaeva, A. Obzhairov. Korea Polar Res. Inst., 2015. 121 p.

Сведения об авторе

ОБЖИРОВ Анатолий Иванович – доктор геолого-минералогических наук, заведующий отделом геологии и геофизики океана, Тихоокеанский океанологический институт им В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток.