

УВЕЛИЧЕНИЕ ГАЗОВОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ПРИ СЕЙСМО-ТЕКТОНИЧЕСКОЙ  
АКТИВИЗАЦИИ И УЧАСТИЕ ГАЗА В ВОЗНИКНОВЕНИИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ  
(ОХОТСКОЕ МОРЕ)

*А.И. Обжиров*

ФГБУН Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, ул. Балтийская 43,  
г. Владивосток, 690041; e-mail: [obzhirov@poi.dvo.ru](mailto:obzhirov@poi.dvo.ru)

Поступила в редакцию 26 марта 2012 г.

На восточном Сахалинском шельфе и склоне Охотского моря проведены исследования потоков пузырей метана из донных отложений в воду и частично из воды в атмосферу. Обнаружено более 500 выходов пузырей метана и взаимосвязанно с ними в верхних слоях донных осадков открыто 15 площадей газогидратов. В процессе изучения выяснилось, что с 1988 по 2011 гг. обнаружено увеличение количества потоков метана. При этом концентрации метана в воде и донных осадках возрастают в 1000–10000 раз относительно фона. Это связано с сейсмо-тектонической активизацией западной части Тихоокеанского региона, что привело и продолжает приводить к увеличению количества разломов, по которым к поверхности мигрирует газо-флюидный поток из недр. С одной стороны, этот газ способствует формированию газогидратов в верхних слоях донных осадков, с другой – газ расширяет трещины, что приводит к резкому скольжению блоков коры, способствуя возникновению землетрясений. Это подтверждается серией землетрясений в этом регионе – Нефтегорское (1995), Углегорское (2001), Хоккайдское (2003), Невельское (2007), Фукусимское (2011).

**Ключевые слова:** потоки метана, газогидраты, разломы, сейсмо-тектоническая активизация, землетрясения, Охотское море.

#### ВВЕДЕНИЕ

В работе представлены результаты газогеохимических исследований сотрудников лаборатории газогеохимии ТОИ ДВО РАН по распределению природных газов в воде и донных осадках Охотского моря. Природные газы (метан, тяжелые углеводороды, углекислый газ, водород, гелий, радон) используются как индикаторы для: 1) поиска месторождений нефти и газа в морях и на суше, 2) картирования зон разломов в морях и на суше и выявления их глубинности и сейсмо-тектонической активности, 3) мониторинга выделения природных газов, который позволяет выполнять прогноз сейсмической активизации региона, анализируя повышение концентраций газов и их соотношение; эти данные можно использовать для прогноза землетрясений; 4) поиска в морях газогидратов в комплексе с геофизическими, гидроакустическими, батиметрическими исследованиями.

В период 1984–2011 гг. в Охотском море выполнено 27 комплексных геологических экспедиций. 15 экспедиций было выполнено с иностранными уче-

ными по международным проектам с Германией (КОМЕКС, 1998–2004 гг.), с Японией и Кореей (ХАОС, 2003, 2005–2006 гг. и САХАЛИН, 2007–2012 гг.). В марте 1999 г. была выполнена международная ледовая экспедиция в Охотском море с использованием вертолета для выяснения накопления метана подо льдом и поступления его через лед из воды в атмосферу.

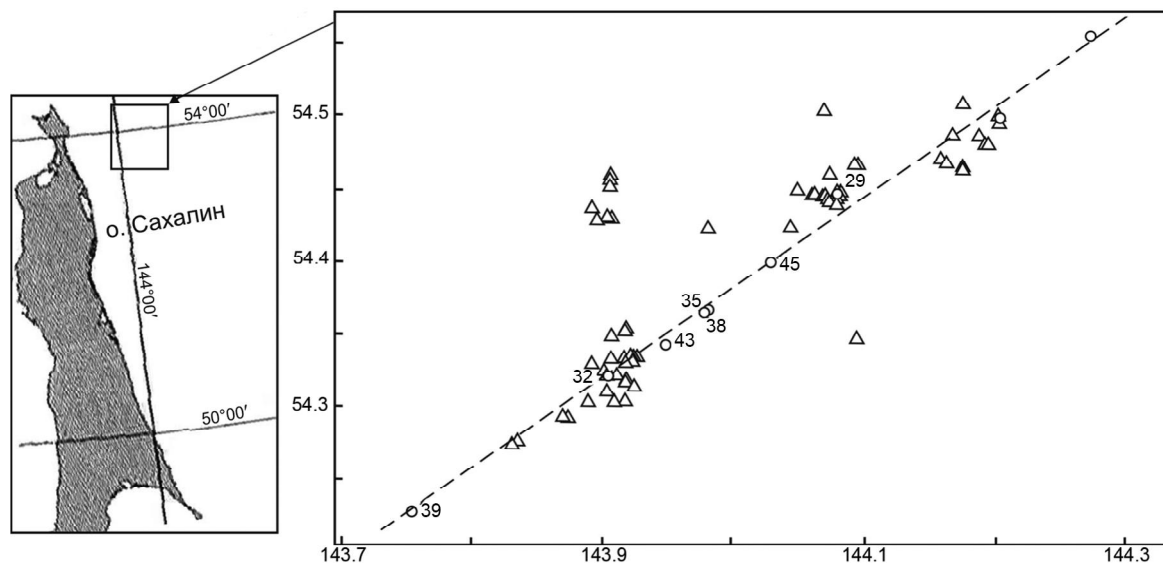
#### МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЙ

Газогеохимические поля изучались в морских экспедициях в Охотском море следующими методами:

– стандартное зондирование температуры и солености (СТД) с отбором проб воды батометрами на различных горизонтах и извлечение из воды газа методом Head Space и вакуумной дегазацией;

– отбор проб донных осадков гравитационной трубкой и измерение в керне осадков содержания природных газов методом Head Space;

– анализ газа из воды и донных осадков на хроматографе с определением углеводородных газов:



**Рис. 1.** Распределение потоков метана на северо-восточном склоне о. Сахалин.

Слева – район исследований, отмечен квадратом. Справа: треугольники – места выделения пузырей метана, круги – станции исследований и их номера. Потоки метана расположены по линии разлома северо-восточного простирания, намеченного пунктиром, и поперечным трещинам.

метана и тяжелых углеводородов ( $C_2-C_5$ ),  $CO_2$ ,  $O_2$ ,  $N_2$ ,  $H_2$ , He;

- гидроакустические наблюдения;
- сейсмическое высокочастотное профилирование, “спаркер”;
- батиметрическая съемка (эхолотирование);
- сонарная съемка поверхности дна.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

По данным газогеохимических исследований в Охотском море [2–5], первый поток пузырей метана был обнаружен нами в 1988 г. на Сахалинском северо-восточном шельфе и склоне Охотского моря. При дальнейших исследованиях количество открываемых потоков газа (метана) в этом же районе постоянно увеличивалось. Большинство потоков метана были приурочены к зоне разлома северо-восточного простирания и перпендикулярным к нему трещинам (рис. 1). В районе этих потоков в 1991 г. были обнаружены газогидраты в верхнем слое (1–5 м от поверхности дна) донных осадков. В настоящее время на восточном шельфе о. Сахалин и склоне Охотского моря обнаружено более 500 потоков пузырей метана. Вместе с ростом количества потоков увеличилась концентрация метана в придонной воде в 10–100 раз, достигая 2000–5000 нл/л (рис. 2 Б). В результате многолетних наблюдений оказалось, что увеличение количества выходов метана и его концентраций в водной толще взаимосвязаны с ростом межгодовой динамики коровой сейсмичности Сахалина, в част-

ности, по наблюдениям с 1985 по 2002 гг. (рис. 2 А). Расчет сделан по 247 эпизодам землетрясений магнитудой больше 3. По 457 эпизодам землетрясений подсчитана выделенная энергия землетрясений с магнитудой от 2.1 до 6.7 [1]. Кривые распределения энергии землетрясений, динамики сейсмичности хорошо коррелируются с кривыми распределения количества выходов пузырей метана и его концентрациями в придонной воде (рис. 2 А и Б). Эти же характеристики положительно коррелируются с рядом эпизодов землетрясений в западной части Охотского моря и его прибрежной части (Кунаширское, 1994 г., Нефтегорское, 1995 г., Хоккайдское, 2003 г., Невельское, 2007 г., Фукусимское, 2011 г. и др.).

В районе потоков пузырей метана в донных осадках Охотского моря были обнаружены газогидраты. Подошва газогидратсодержащих отложений в Охотском море залегает на глубине около 200–300 м от поверхности дна. Так как под ней обычно скапливаются свободные газы (в основном метан), то граница между двумя средами хорошо прослеживается в сейсмическом поле, проходит параллельно поверхности дна, пересекая слои осадков. Эта граница называется Bottom Simulating Reflector (BSR), то есть, отражение, подобное (параллельное) дну. Поток пузырей газа (метана) создает в донных осадках вертикальные каналы движения газа по трещинам к поверхности, с потерей в них отражений (рис. 3). Над каналами в воде пузыри метана на эхограмме создают звукорассеивающее, почти вертикальное аномальное тело, которое распро-

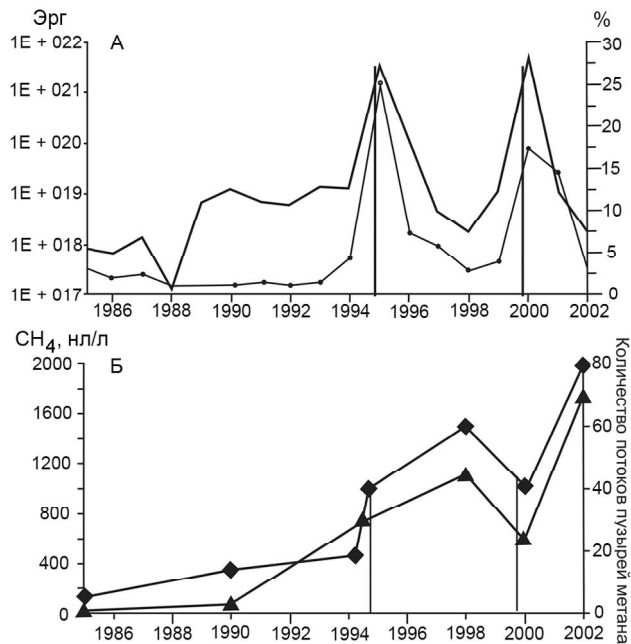


Рис. 2. Динамика сейсмичности и выделения метана.

А – Межгодовое изменение динамики коровой сейсмичности Сахалина за период 1985–2002 гг. Верхняя кривая – распределение выделенной энергии землетрясений. Расчет сделан Е.А. Бессоновой [1] по 457 землетрясениям с магнитудой от 2.1 до 6.7. Нижняя кривая показывает процентное распределение количества землетрясений с магнитудой более 3. Расчет сделан Е.А. Бессоновой [1] по 247 эпизодам землетрясений. Б – Распределение потоков и концентраций метана по годам исследований на северо-восточном склоне о.Сахалин. Верхняя кривая (квадраты) – концентрации метана (нл/л) в придонной воде. Нижняя кривая (треугольники) – количество потоков пузырей метана.

страняется от дна в воде на высоту 300–500 м. Над ними в воде формируется плюм с аномальной концентрацией метана в нижних слоях водных колонок (рис. 4). При этом в верхнем слое осадков в потоке метана образуются вторичные газогидраты метана. В районе выходов пузырей метана поверхность дна нарушается, на дне формируются бугорки и ямки, которые напоминают структуры грязевых вулканов.

В период сейсмо-тектонической активизации появляются новые и подновляются старые зоны разломов, по которым из недр поднимается газо-флюидная смесь. Попадая в верхние слои пород, газ расширяется в связи с уменьшением гидростатического давления. С одной стороны, он давит на стенки трещин, с другой – создает воздушную подушку, по которой происходит резкое скольжение блоков и, как результат, динамическое напряжение земной коры в этом месте разгружается не постепенно, а резко, со срывом и землетрясением.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Определение газовой составляющей важно для использования газа как индикатора поиска месторождений, разломов, определения тектонической активности. В то же время газ является мощной движущей силой. При сейсмо-тектонической активизации в земной коре появляются новые и обновляются старые трещины, а газо-флюидная смесь из недр устремляется по ним к поверхности. В этом случае газ расширяется и раздвигает трещины, создает воздушную по-

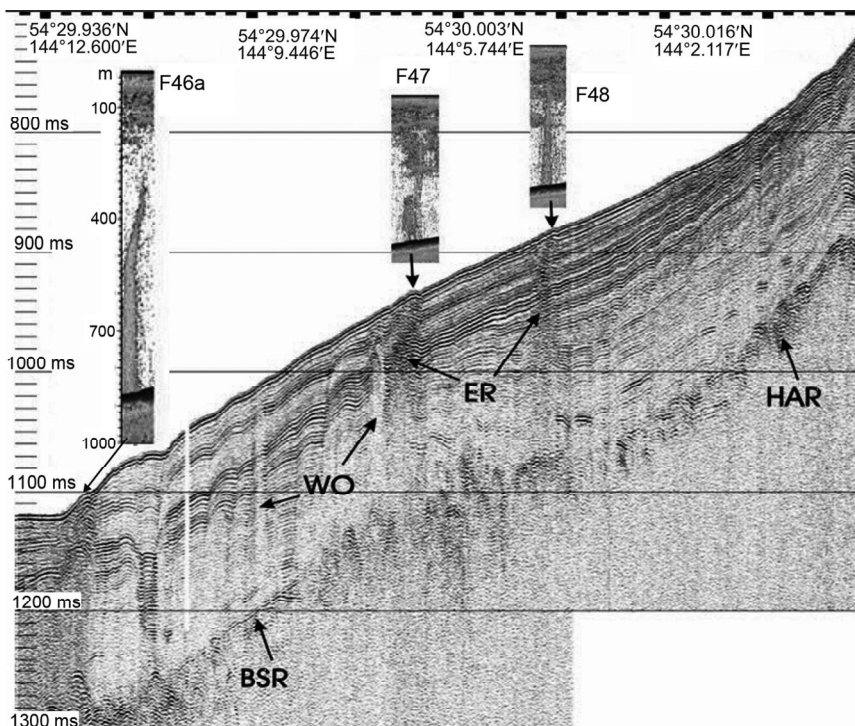
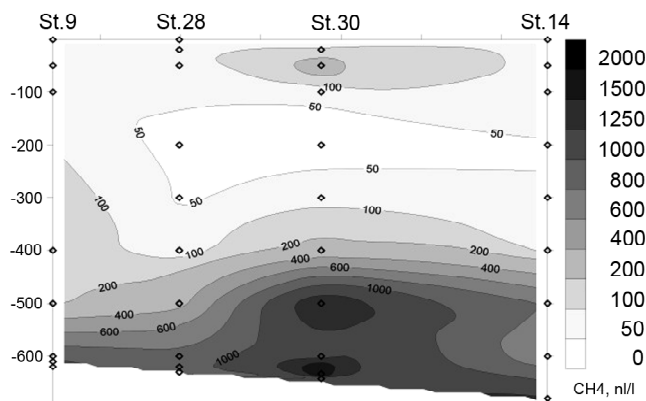


Рис. 3. Сейсмический профиль на северо-восточном склоне о. Сахалин.

В донных осадках: BSR – bottom simulating reflector – подошва газогидратсодержащих отложений, WO – стволы древних потоков метана без газа в настоящее время, ER – стволы поступления газа (метана) из недр к поверхности, в настоящее время активных, с выделением пузырей метана в воду, HAR – высокоамплитудные отражения. Гидроакустическая характеристика потока пузырей метана из донных отложений в воду показана на рисунке выше поверхности дна – F46a, F47, F48 (номера потоков метана).



**Рис. 4.** Плунг аномальной концентрации метана в воде над выходом пузырей метана на северо-восточном склоне о. Сахалин.

душку между стенками трещин и по ним блоки резко скользят относительно друг друга. Это приводит к землетрясению. При отсутствии газа возможно медленное ослабление динамики внутреннего напряжения недр и ослабление напряжения произойдет без землетрясения.

Отметим, что Охотоморская плита зажата между Амурской, Евро-Азиатской, Северо-Американской, Тихоокеанской плитами. Тектоно-динамическая обстановка этого региона связана с общим тектоническим оживлением литосферы в переходной облас-

ти от континентальной окраины Азии к Тихому океану. По нашим наблюдениям за увеличением газовой составляющей в донных осадках и в воде Охотского моря, сейсмо-тектоническая активизация региона началась с 1988 г. Это привело к активизации разломов земной коры, поступлению из недр газа и землетрясениям. В настоящее время сейсмо-тектоническая активизация зоны перехода азиатской части континента к Тихому океану продолжается.

#### ЛИТЕРАТУРА

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. Газогеохимические поля придонного слоя морей и океанов. М.: Наука, 1993. 139 с.
3. Обжиров А.И. История открытия газогидратов в Охотском море // Подводные исследования и робототехника. 2006. № 2. С. 72–82.
4. Обжиров А.И. Международная научная экспедиция в Охотском море на НИС “Академик М.А. Лаврентьев” (рейс № 56) с 9 по 28 августа 2011 г. // Тихоокеан. геология. 2012. Т. 31, № 2. С. 101–102.
5. Obzhirov A., Shakirov R., Salyuk A. et al. Relations between methane venting, geological structure and seismo-tectonics in the Okhotsk Sea // Geo-Marine Letters. 2004. V. 24. P. 135–139.

*Рекомендована к печати Г.Л. Кирилловой*

*A.I. Obzhirov*

### Gas component increase during seismo-tectonics and the role of gas in earthquake origination (Okhotsk Sea)

Since 1984 Laboratory of Gas Geochemistry POI FEB RAS has studied fluxes of methane bubbles from bottom sediments to water and partially from water to atmosphere in the eastern Sakhalin shelf and in the slope of the Okhotsk Sea. These investigations were thereafter carried out in many international expeditions. More than 500 bubbles of methane fluxes have been found and 15 gas hydrate areas associated with them have been discovered in the upper beds of the bottom sediments. From 1988 to 2011 the methane fluxes increased in abundance, and the concentration of methane in water and bottom sediments increased 1000–10000 times relative to the background. It is due to seismo-tectonic activation of the western Pacific region which resulted in the increase of a number of faults. Along the faults gas fluid flows migrated to the surface from the depths. On the one hand, the gas facilitates generation of gas hydrates in the upper beds of the bottom sediments and on the other gas expands fissures causing a sharp sliding of the crust blocks and providing origination of earthquakes and in some cases tsunami waves. It is confirmed by a series of the following earthquakes in the region: Neftegorsk (1995), Ulegorsk (2001), Hokkaido (2003), Nevelsk (2007), and Fukusima (2011).

**Key words:** flux of methane, gas hydrates, faults, seismo-tectonic activity, earthquakes, Okhotsk Sea.