

Влияние потоков метана в газогидратосодержащих отложениях Охотского моря на окружающую экосистему

ПЕСТРИКОВА Н.Л., ОБЖИРОВ А.И.

ТИХООКЕАНСКИЙ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМ. В.И. ИЛЬИЧЕВА ДВО РАН

Охотское море является одним из активных районов подводной газовой разгрузки в Северном полушарии и наиболее интересным объектом в Дальневосточном регионе по изучению газогидратов метана [8]. В пределах акватории к настоящему времени выявлено два района распространения газогидратов в донных отложениях – западный борт впадины Дерюгина вблизи Северного Сахалина и юго-восточный борт Голыгинского прогиба в прибрежье о. Парамушир (рис. 1, обозн. стрелками) и по косвенным признакам предполагается еще несколько гидратоносных площадей [7]. На обозначенных площадях (см. рис. 1) отмечено около 400 выходов природного газа (преимущественно метанового состава) из донных отложений в воду и более 10 структур, где отобраны газовые гидраты.

Газогидраты были известны химикам уже в начале XIX в. [16]. Газовая промышленность узнала о существовании газогидратов в 1930-х гг., когда было обнаружено, что их образование является причиной «закупорки» газопровода во время транспортировки природного газа [17,16]. В начале 1960-х гг. советские геологи и геохимики А.А. Трофимук, Н.В. Черский, В.Г. Васильев, Ю.Ф. Макогон и Ф.А. Требин, основываясь на теоретических моделях

Рис. 1

Схема расположения районов газогидратопроявления в Охотском море





и экспериментальных данных, установили ранее неизвестное свойство природных газов образовывать в земной коре при определенных термобарических условиях (температура – до 295 К, давление – до 250 атмосфер) залежи в твердом – газогидратном состоянии. Можно смело говорить, что это открытие, зарегистрированное в Государственном реестре открытий СССР под № 75 от 25 июля 1961 г. [3], явилось одним из наиболее выдающихся геологических событий XX в. В 1966 г. В.А. Соколов высказал предположение о возможности образования гидратов природных газов в породах дна морей и океанов [6].

Газогидраты представляют собой образования, состоящие из смеси газа и воды. Основным элементом гидратов является кристаллическая ячейка из молекул воды, внутри которой размещена молекула газа [1]. Достаточно значительные количества природного газа могут находиться в осадочных отложениях в форме газогидратов: одна объемная единица гидратов содержит газ, который способен занимать до 170 объемных единиц при нормальных условиях. В Мировом океане благоприятные термобарические условия для образования и существования скоплений газогидратов существуют начиная с глубин около 300–400 м [4], что в сочетании с огромными площадями распространения осадочных отложений (особенно в пределах континентальных склонов) делает проблему изучения газогидратов в морских условиях особенно актуальной.

Результаты исследования

Анализ материалов по углеводородной тематике, касающихся акваторий, показал, что процессы переноса углеводородов из осадков к поверхности морского дна и далее в водную толщу достаточно широко распространены

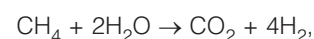
в пределах Мирового океана ([24, 5, 2] и др.). Более того, выявлено, что в последнее время становится все очевидней основополагающая роль углеводородных потоков как в функционировании специфических биологических сообществ в местах их выходов на морское дно, так и в восполнении основных приповерхностных резервуаров углерода, с которыми связано существование биосферы земли.

Потоки метана, приуроченные к гидратсодержащим осадочным отложениям, и микробная деятельность

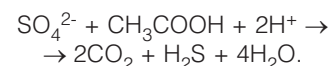
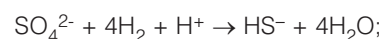
Метан газогидратов способен значительно влиять на экосистемы в районе газовых выходов [13, 22, 21]. В свое время на основе многочисленных анализов геохимии предположили о существовании анаэробного окисления метана (АОМ) через сульфатредукцию у выходов газовой выделений и флюидов [23, 14]. АОМ некоторое время считалось спорным, так как микробы, необходимые для этой реакции, достаточно трудно выявить. Только недавно удалось установить сообщество метанотрофных архе- и сульфатредуцирующих бактерий,

обнаруженное в образцах осадка Гидратного хребта [12]. За этим открытием последовали подобные находки в гидратных залежах бассейна Ил Ривер [20] и в Мексиканском заливе [18]. Согласно работе [13] эти сообщества можно представить в виде сферы, содержащей около 100 клеток архебактерий, окруженных примерно 200 клетками сульфатредуцирующих бактерий. Они действуют через две отдельные реакции.

Архебактерии окисляют метан:



а сульфатредуцирующие бактерии способны действовать двумя путями, определенными реакциями:



Указанная цепь реакций может быть сведена к следующему уравнению:



Как метан, так и сульфат, необходимые для АОМ, согласно той же работе [13], существуют в больших количествах, где есть выходы метана у поверхности морского дна. Образование сульфида водорода в результате описываемого процесса создает энергию, которая является источником для хемоавтотрофных организмов, живущих на морском дне [13]. При этом колонизация газовых выходов зависит от местного градиента H_2S , образуемого при АОМ [9, 21]. Сульфидоокисляющая бактерия *Beggiatoa*, образующая бактериальные маты в виде белого налета, является обычной находкой на площа-

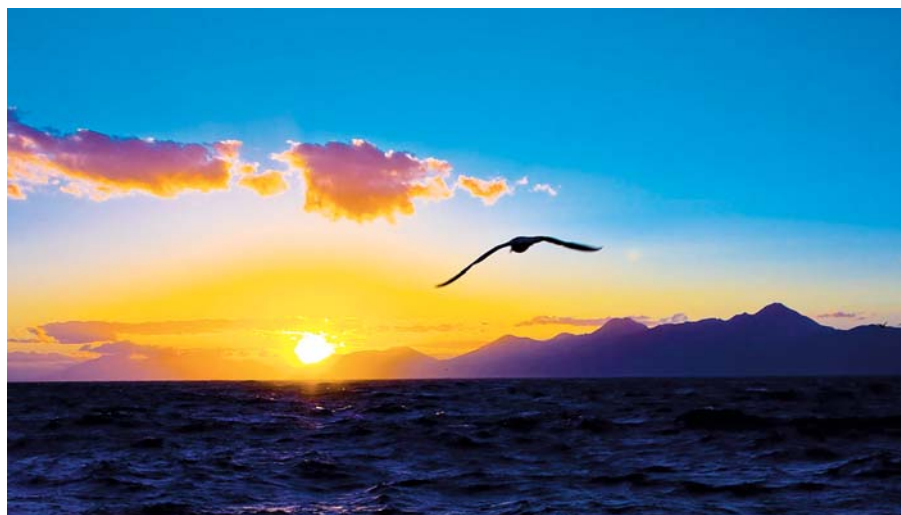


Рис. 2

Фрагмент изображения морского дна с живыми моллюсками *Conchocosele* и/или *Calypptogena* в районе структуры «Обжиров» [10]

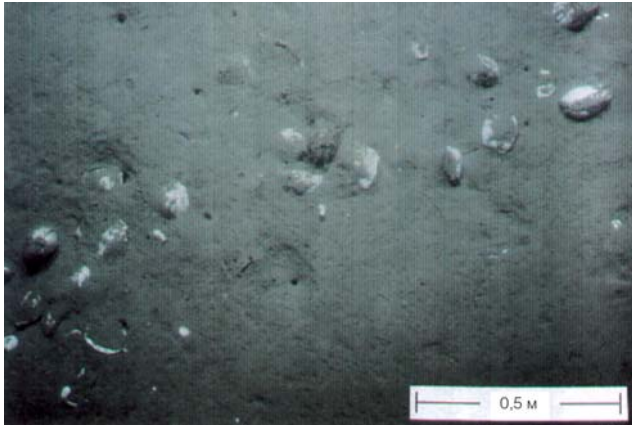
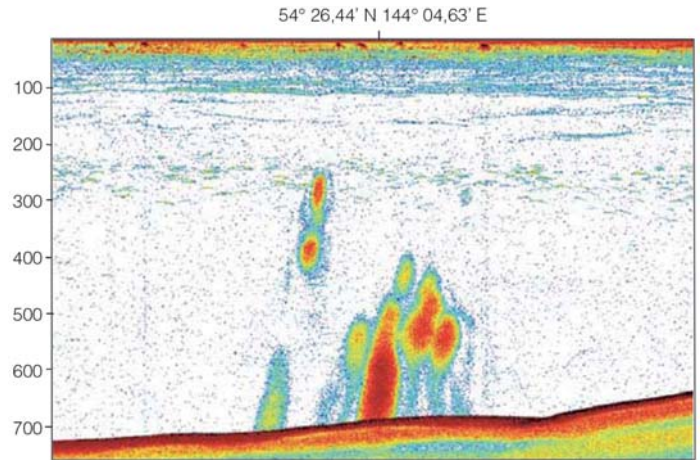


Рис. 3

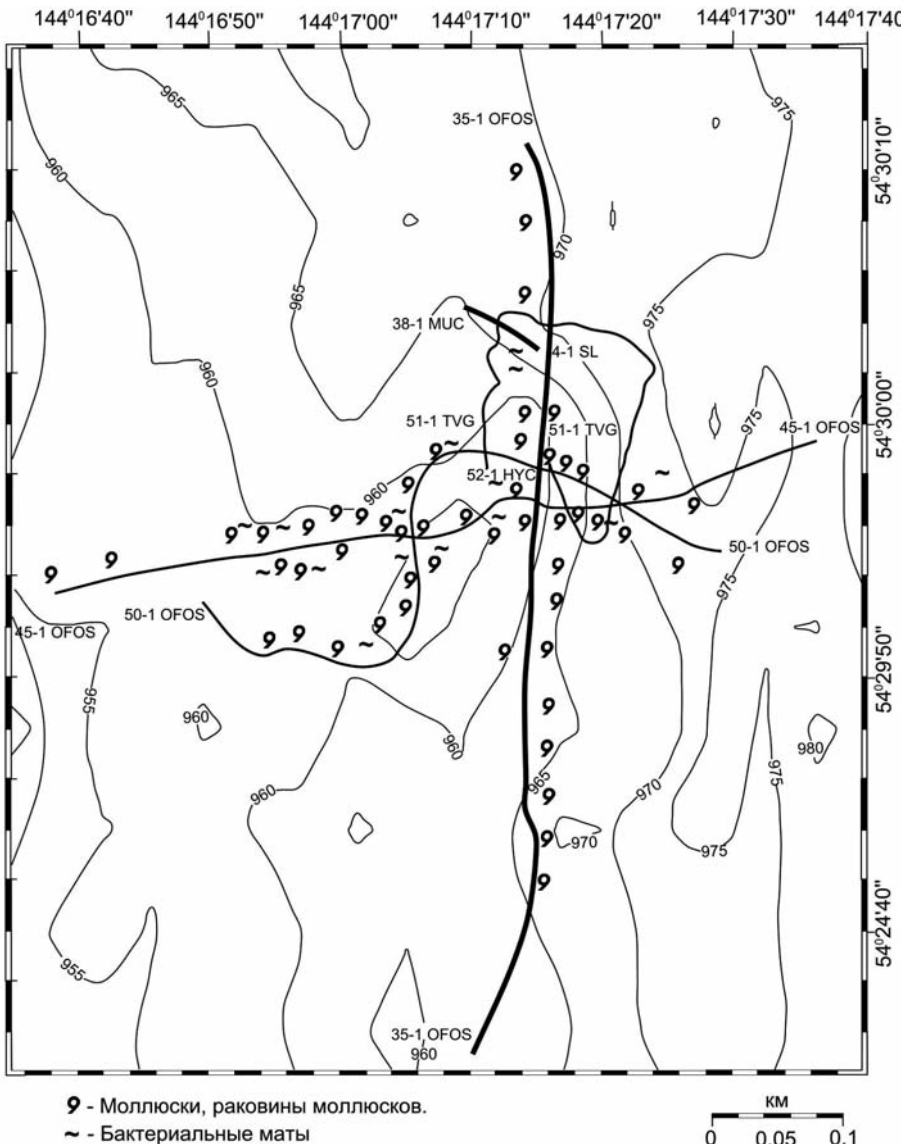
Гидроакустическая аномалия, зафиксированная в 2005 г. в пределах структуры «Обжиров» (данные А.С. Саломатина)



ДЯХ С ОЧЕНЬ ВЫСОКИМ

Рис. 4

Батиметрическая карта структуры «Хаос», отражающая результаты видеосъемки, произведенной с помощью комплекса OFOS [15]



содержанием H_2S . Моллюски *Calypptogena* обычно обитают в районах с более низкими концентрациями сульфида по сравнению с *Beggiatoa* и, соответственно, окружают бактериальные маты. Моллюски *Acharax* предпочитают норы внутри осадка, а места их обитания по отношению к окружающей среде ограничиваются очень низкой концентрацией сульфида.

Таким образом, изложенное является достаточно важной схемой взаимодействия метанонасыщенных потоков и биоорганизмов, на основе которой стало возможно корректное рассмотрение придонных организмов, существующих в районах активных газовых выходов в Охотском море.

Влияние выходов метана на биоту Охотского моря

Специальными исследованиями в Охотском море с применением подводных обитаемых аппаратов в районе о. Парамушир [4] и комплекса OFOS [10, 11, 15] на северо-восточном сахалинском склоне была детально изучена поверхность морского дна (см. рис.1). Так, в районе припарамуширского газового источника отмечено развитие бактериальных матов в виде белого налета толщиной 10–15 см. При этом на поверхности дна зафиксировано достаточно большое количество ракушек. Но наиболее интересные данные в Охотском море получены на северо-восточной части континентального склона о. Сахалин (рис. 2). Здесь расположение профилей комплекса OFOS было выбрано на основе гидроакустиче-



ских звукорассеивающих аномалий, обусловленных активными выходами пузырей метана, записей локатора бокового обзора и положения соответствующих морфоструктур, определенных во время батиметрической и сейсмической съемки. В частности, в 2002 г. изучение морского дна прово-

дилось, например, в районе газового выхода «Эрвин» и в пределах газогидратного поля «Обжиров», в 2004 г. – на структурах «Хаос», «Китами» и «Обжиров» (рис. 3, 4).

В результате анализа данных этих исследований были выделены следующие основные черты и особенности:

1. Бурное развитие бактериальных матов в центральных частях очагов газовой разгрузки.

2. Концентрирование живых моллюсков *Calyplogena* и/или *Conchocole* по мере приближения к центральным частям газовых выходов. Раковины густо и плотно покрывают дно, до некоторой степени погрузившись в осадок.

3. В пределах площадей газогидратопроявления отмечены также участки с характерным развитием морфонеровностей на поверхности дна и явным отсутствием зон высачивания

газов в водную толщу, на которых зафиксированы остатки и фрагменты раковин вышеуказанных моллюсков. Очевидно, что это участки прошлых локализаций газовых выходов, а ракушки – биоиндикаторы былой газовой активности. Их вымирание, возможно, связано как с резким изменением концентрации H_2S , так и прекращением поступления метана, который используется биотой в качестве источника энергии и углерода.

Таким образом, районы с активной газовой разгрузкой в пределах полей газовых гидратов в Охотском море характеризуются развитием своеобразных оазисов жизни, которые отсутствуют в районах с фоновыми концентрациями метана. При этом, очевидно, ключевая роль в функционировании этих ареалов развития поддонной и придонной жизни принадлежит потокам метана в очагах газовой разгрузки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бык С.Ш., Макогон Ю.Ф., Фомина В.И. Газовые гидраты. – М.: Химия, 1980. – 296 с.
2. Валяев Б.М. Угледороды и жизнь: жизнь на потоках углеводородных флюидов // Дегазация земли: Геофлюиды, нефть и газ, парагенезы в системе горючих ископаемых: тез. междунар. конф. [Москва, 30 мая–1 июня, 2006]. – М.: ГЕОС, 2006. – С. 71–73.
3. Газогидраты морей и океанов ждут изучения и освоения. Газогидраты. Скопления. <http://www.citis.ru/info-systems/esimo/news/23-07-05/2/>.
4. Гинсбург Г.Д., Соловьев В.А. Субмаринные газовые гидраты. – СПб.: ВНИИОкеангеология, 1994. – 199 с.
5. Джадд А., Джукс В., Леддра М. База данных MAGIC по морским газовым источникам и их индикаторам // Геология и геофизика, 2002. – Т. 43, № 7. – С. 599–604.
6. Зубова М.А. Гидраты природных газов в недрах Мирового океана. – М.: Валеева Т.В., Соловьев В.А. Газовые гидраты Охотского моря: закономерности формирования и распространения // Журн. Рос. хим. о-ва им. Д.И. Менделеева, 2003. – Т. 47. – № 3. – С. 101–111.
7. Обжиров А.И., Соснин В. и др. Мониторинг метана в Охотском море. – Владивосток: Дальнаука, 2002. – 250 с.
8. Barry J.P., Kochevar R.E. A tale of two clams: Differing chemosynthetic life styles among vesicomyids in Monterey Bay cold seeps // Cahiers de Biologie Marine 39 (3–4). – 1998. – P. 329–331.
9. Biebow N. and Huetten E. (Eds.) Cruise Reports: KOMEX I and II. RV Professor Gagarinsky, cruise 22, RV Akademik M.A. Lavrentyev, cruise 28. GEOMAR Report 82 INESSA. – Kiel, Germany, 1999. – 188 p.
10. Biebow N., Kulnich R., and Baranov B. (Eds.). Kurile Okhotsk Sea Marine Experiment (KOMEX II). Cruise Report: RV Akademik Lavrentyev, cruise 29. Leg 1–2. – Kiel, Germany, 2002. – 190 p.
11. Boetius A., Ravensschlag K., Schubert C.J., Rickert D., Widdel F., Gieseke A., Amann R., Jorgensen B.B., Witte U. and Pfannkuche O. A marine microbial consortium apparently mediating anaerobic oxidation of methane // Nature. – 2000. – V. 407. – P. 623–626.
12. Bohrmann G., Torres M. Gas hydrates in marine sediments // Marine Geochemistry. In H.D. Schulz and M. Zabel (Eds.). – P. 481–512. Springer – 2006.
13. Borowski W.S., Paull C.K. and Ussler W. III. Global and local variations of interstitial sulfate gradients in deep-water, continental margin sediments: Sensitivity to underlying methane and gas hydrates // Marine Geology. – 1999. – V. 159. – P. 131–154.
14. Dullo W.-Chr., Biebow N., and Georgeleit K. (Eds.). SO178-KOMEX Cruise Report: RV SONNE. Mass exchange processes and balances in the Okhotsk Sea. – Kiel, Germany, 2004. – 125 p.
15. Gas Hydrates. Relevance to world margin stability and climatic change. In J.-P. Henriet and J. Mienert (Eds.). – UK, London: Geological Society, 1998. Special Publication. – № 137. – 338 p.
16. Hammerschmidt E. Formation of gas hydrates in natural gas transmission lines // Industrial Engineering Chemistry. – 1934. – V. 26. – P. 851–855.
17. Joye S.B., Boetius A., Orcutt B.N., Montoya J.P., Schulz H.N., Erickson M.J. and Lugo S.K. The anaerobic oxidation of methane and sulfate reduction in sediments from Gulf of Mexico cold seeps // Chemical Geology. – 2004. – V. 205. – P. 219–238.
18. Obzhairov A., Shakirov R., Salyuk A., Suess E., Biebow N., Salomatin A. Relations between methane venting, geological structure and seismotectonics in the Okhotsk Sea // Geo-Marine Letters. 2004. Vol. 24, № 3. P. 135–139.
19. Orphan V.J., Ussler III W., Naehr T.H., House C.H., Hinrichs K.U. and Paull C.K. Geological, geochemical, and microbiological heterogeneity of the seafloor around methane vents in the Eel River Basin, offshore California // Chemical Geology. – 2004. – V. 205. – P. 265–289.
20. Sahling H., Rickert D., Lee R.W., Linke P. and Suess E. Macrofaunal community structure and sulfide flux at gas hydrate deposits from the Cascadia convergent margin // Marine Ecology Progress Series. – 2002. – V. 231. – P. 121–138.
21. Suess E., Torres M.E., Bohrmann G., Collier R.W., Rickert D., Goldfinger C., Linke P., Heuser A., Sahling H., Heeschen K., Jung C., Nakamura K., Greinert J., Pfannkuche O., Trehu A., Klinkhammer G., Whiticar M.C., Eisenhauer A., Teichert B. and Elvert E.. Sea floor methane hydrates at Hydrate Ridge, Cascadia Margin / In Paull C. and Dillon W.P. (Eds.) // Natural gas hydrates: Occurrence, distribution, and detection. Geophysical Monograph 124. – American Geophysical Union, 2001. – P. 87–98.
22. Suess E., Whiticar M.J. Methane-derived CO_2 in pore fluids expelled from the Oregon subduction zone // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. – 1989. – V. 71. – P. 119–136.
23. Valyaev B.M., Dmitrievsky A.N. The hydrocarbons flows and seepages through the ocean bottom: distribution, nature, importance // Abstracts and guide book of the V International conference «Gas in Marine Sediments», September 9–12, 1998, Bologna, Italy. – Bologna, Italy. – P. 185–186.