

ИСТОРИЯ ОТКРЫТИЯ ГАЗОГИДРАТОВ В ОХОТСКОМ МОРЕ

А.И. Обжиров

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН,
e-mail: obhиров@poi.dvo.ru

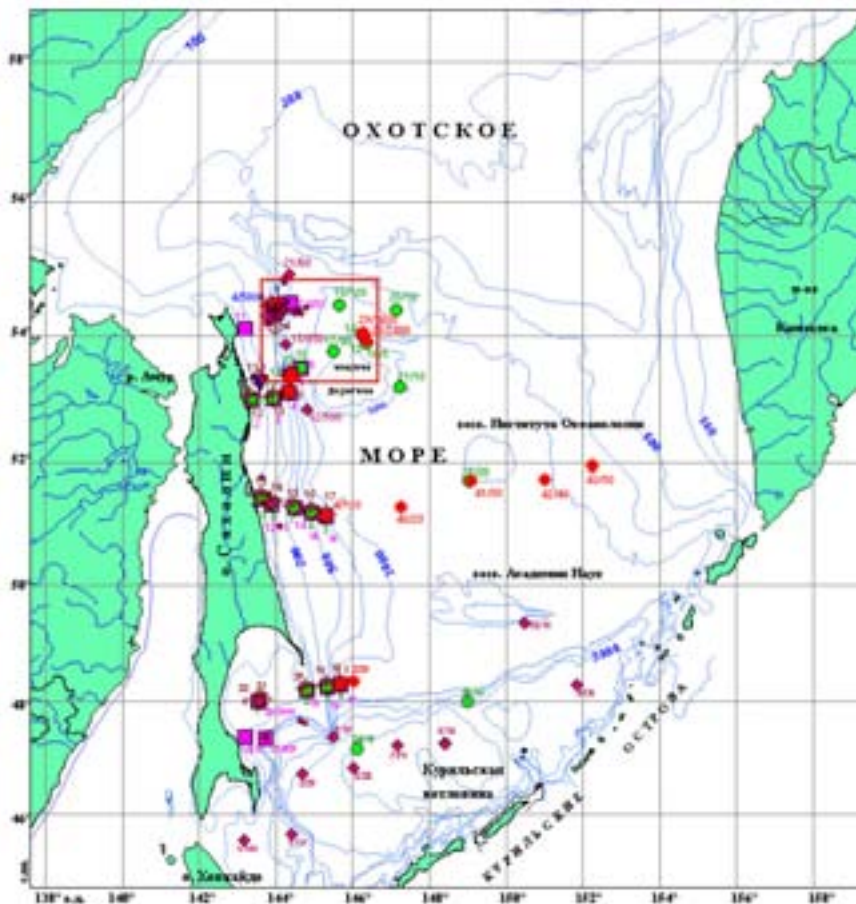
История открытия газогидратов связана с изучением потоков метана из донных отложений в воду и атмосферу. Эти исследования лаборатория газогеохимии ТОИ ДВО РАН выполняет в Охотском море с 1984 г. по настоящее время. В 1998–2004 г. геологический, геофизический, газогеохимический, гидроакустический комплексы исследований в Охотском море выполнялись в рамках международного российско-германского проекта КОМЕКС, а в 2003–2006 гг. он продолжался в рамках российско-японско-корейского проекта ХАОС. Отмечено, что в районах, где из донных осадков в воду происходит поток пузырей метана, залегают газогидраты. Эти аномалии метана в воде – 20 000–30 000 нл/л (северо-восточный Сахалинский склон Охотского моря) явились одним из важных индикаторов поиска газогидратов. Часто метан из донных отложений в воду и атмосферу мигрирует в виде пузырей. Первый поток пузырей метана был обнаружен на Сахалинском шельфе и склоне Охотского моря в 1988 г. на эхограмме судового эхолота. Он выглядел на эхограмме в виде вертикального тела диаметром 100–200 м и высотой 300–400 м. Количество выходов пузырей метана возросло с 1988 по 2006 г. с 1 до более 200, что связывается с сеймотектонической активизацией этого региона в данный период. Это подтверждается серией землетрясений: Курильским (1994), Нефтегорским (1995), Углегорским (2000), Хоккайдским (2003) и

пр. Выходы пузырей метана из донных отложений в воду и из воды в атмосферу оказывают влияние на окружающую их среду (возникновение на дне бентоса, бактериальных матов, карбонатных конкреций в донных осадках) и являются источником «тепличного» газа метана, что способствует глобальным процессам изменения (потепления) климата. В то же время в газогидратах законсервировано огромное количество метана, которое соизмеримо или превышает уже известные месторождения углеводородов. Его можно использовать как нетрадиционный источник сырья.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение распределения метана и других газов в воде Охотского моря лабораторией газогеохимии Тихоокеанского океанологического института Дальневосточного отделения Российской академии наук было начато в 1984 г. Эти исследования были направлены на поиск нефтегазовых залежей на Сахалинском шельфе Охотского моря по договору с трестом «Дальморнефтегазгеофизразведка» (г. Южно-Сахалинск). Проектирование этих работ основывалось на газогеохимическом методе поис-

Рис. 1. Карта района исследований газа (метана) в Охотском море. Значками показано расположение станций в различные годы исследований с 1998 по 2006 г. Квадратом отмечен район исследований 1984–2006 гг., где были обнаружены газовые гидраты. Цифры обозначают: в числителе – номера станций, в знаменателе – концентрация метана в нл/л в придонной воде



ков залежей нефти и газа, разработанной лабораторией газогеохимии ТОИ [1]. Было обнаружено, что над морскими нефтегазоносными структурами в придонной воде формировались аномальные поля метана и иногда тяжелых углеводородных газов. Такие аномалии характеризовали наличие нефти и (или) газа в данных структурах.

В процессе этих исследований в 1988 г. на шельфе и северо-восточном Сахалинском склоне (рис. 1) в придонной воде впервые были обнаружены потоки пузырей преимущественно метана [2]. Они были зафиксированы в водной толще на эхограммах судового эхолота в виде звукорассеивающих субвертикальных тел, по виду напоминающих удлинённые конусы диаметром 100–200 м у основания, расположенные на поверхности дна. Высота их превышала 300–400 м, и иногда пузыри газа (метана) достигали поверхности моря.

В районе выходов пузырей метана на северо-восточном Сахалинском склоне на глубине моря около 700 м в 1988 и 1989 гг. гравитационной трубкой сотрудниками ТОИ были подняты донные осадки [2]. Керна отобранных осадков (илов) на глубине 2 м от поверхности дна был разрушен на отдельные кусочки, из которых выделялись пузыри метана (рис. 2). При этом ощущался резкий запах сероводорода.

В керне визуально газогидрат не был обнаружен в связи с тем, что керн осадков был изъят из трубки с задержкой более часа по техническим причинам. За это время газогидрат превратился в газ (метан с примесью сероводорода), который разрушил структуру осадка. Для сохранения в стабильном состоянии газогидрата необходимыми условиями являются низкая температура и высокое давление. К приме-



Рис. 2. Керна донных осадков, которые уже разрушены в результате деструкции газогидратов при температуре и давлении в лаборатории. Белые кусочки — это остатки слоев и (или) фрагментов газогидратов. Идет процесс отбора проб на анализ

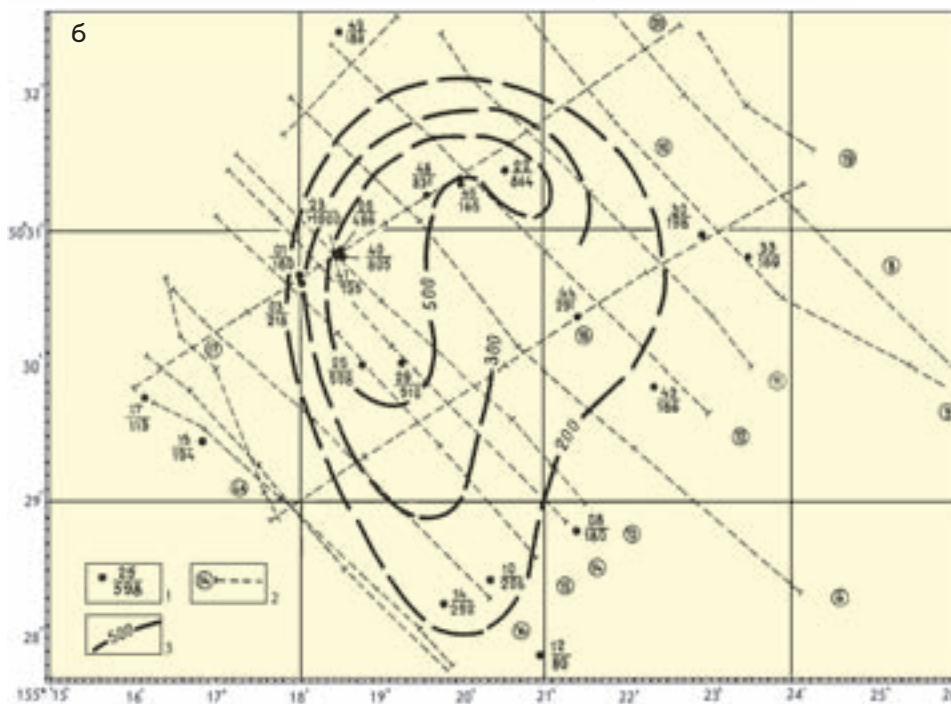
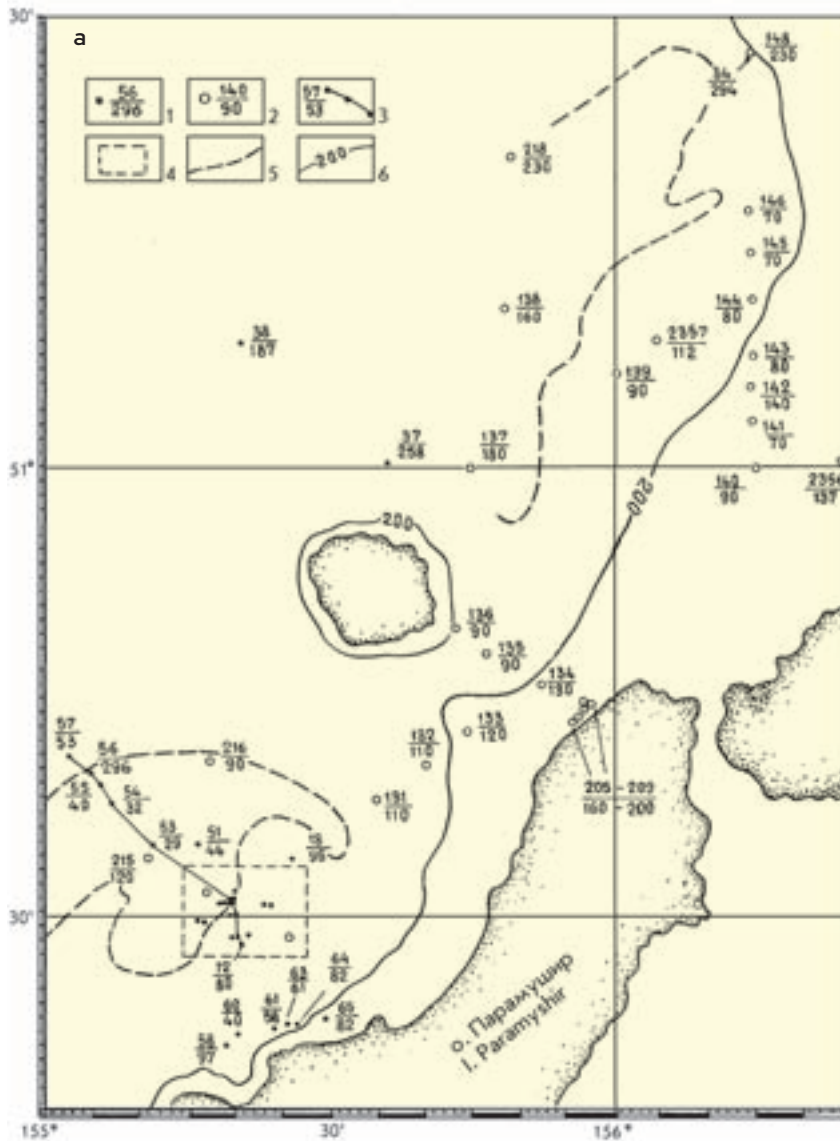
ру, при температуре 0°C и давлении 30 атм. газогидрат будет стабильным. При подъеме керна осадка на палубу судна снижается давление и повышается температура, что приводит к быстрому разложению газогидрата и превращению его снова в газ. Это и произошло с кернами осадков, отобранных в экспедициях 1988 и 1989 гг.

ИСТОРИЯ ОТКРЫТИЯ ГАЗОГИДРАТОВ В ОХОТСКОМ МОРЕ

В 1983–1984 гг. первый поток пузырей газа в Охотском море был обнаружен рыбаками на эхограммах на северо-западном склоне о-ва Парамушир. Эхолот на рыболовных судах используется для обнаружения скоплений стай рыб. В процессе поиска рыбных скоплений на эхолоте одного из судов в районе северо-западного склона о-ва Парамушир было найдено вертикальное звукорассеивающее тело диаметром около 200 м и высотой более 400 м от поверхности дна. В 1984–1986 гг. этот район исследовался сотрудниками институтов вулканологии (Петропавловск-Камчатский), ТОИ (Владивосток), Океанологии

(ИОРАН, Москва) и ГЕОМАР (Киль, Германия). Лаборатория газогеохимии ТОИ изучила распределение метана в воде и донных осадках в районе выходов пузырей газа, и по результатам комплексных экспедиционных работ были составлены геолого-геофизические и газогеохимические схемы (рис. 3) этого региона [3]. В районе выходов пузырей метана в экспедиции ИОРАН впервые в донных осадках были обнаружены газогидраты. В этой экспедиции дно обследовалось подводными аппаратами «Мир». В результате выполненных наблюдений на поверхности дна в районе выходов пузырей газа были обнаружены ямки и бугры 10–20 м высотой. Вместе они составляли поле нарушенной поверхности дна более 200 м в диаметре. Кроме этого на поверхности дна располагалось большое количество ракушек моллюсков и встречались карбонатные корки.

Более широкое исследование районов выходов пузырей газа (метана) как на северо-западном склоне о-ва Парамушир, так и на северо-восточном Сахалинском склоне было выпол-



нено в экспедиции 1991 г. [4]. Под руководством Г.Д. Гинзбурга и В.А. Соловьева были подняты газогидраты на уже известном поле газогидратов на северо-западном склоне и открыты новые поля газогидратов на северо-восточном Сахалинском склоне Охотского моря.

Первоначальным индикатором обнаружения газогидратов на Сахалинском склоне послужили экспедиционные исследования ТОИ 1988–1989 гг., в результате которых были выявлены потоки пузырей метана в водных колонках и аномальные его концентрации в донных осадках. Первый поток метана, открытый в 1988 г., показан на рис. 4. В последствии Э. Зюсс назвал его «Обжиров» в честь начальника экспедиции, в которой поток обнаружили и исследовали [2]. Эхолотной съемкой в этой экспедиции руководил сотрудник ТОИ Б.А. Казанский, который первым зафиксировал на эхограмме поток пузырей метана. В этом районе экспедиции были взяты про-

Рис. 3. Распределения метана. а – в придонной воде и газогидратов в донных осадках на северо-западном склоне о-ва Парамушир.

Условные обозначения: 1 и 2 – черные и светлые кружочки – станции; цифры в числителе – номер станции, в знаменателе – концентрация метана в придонной воде в нл/л; 3 – линия профиля через поле газогидратов и выход пузырей метана; 4 – квадрат, в котором обнаружены выход пузырей метана в воде и газогидраты в донных осадках; 5 – пунктиром очерчено поле газогидратов, зафиксированное по сейсмическим данным; 6 – изобата глубины моря (200 м). б – в придонной воде в районе выхода газогидратов метана (район расположения см. квадрат, отмеченный пунктиром на рис. 3.а).

Условные обозначения: 1 – кружок – местонахождение станции; цифры в числителе – номера станций, в знаменателе – концентрация метана в придонной воде в нл/л; 2 – сейсмические профили; 3 – изометы – линии равной концентрации метана в придонной воде в нл/л в районе выхода газогидратов метана на северо-западном склоне о-ва Парамушир Охотского моря

бы воды и донных осадков и в них были обнаружены аномалии метана, превышающие фон в воде в 100 раз (13 500 нл/л), а в осадках в 10 000 раз (5–10 мл/дм³). Данные были переданы Г.Д. Гинзбургу и В.А. Соловьеву, которые в экспедиции 1991 г. исследовали этот район. Они обнаружили здесь в донных осадках газогидраты.

После обнаружения потоков пузырей метана и газогидратов на северо-восточном Сахалинском склоне Охотского моря к изучению их проявили интерес иностранные ученые из Германии. Они уже имели опыт исследования газогидратов в разных районах Мирового океана [5, 6]. В районе Охотского моря их, с одной стороны, интересовали геологические условия формирования потоков пузырей метана и газогидратов, с другой – важно было оценить масштаб выделения метана из донных отложений в воду и атмосферу. Эти оценки делались многими учеными как России, так и за рубежом [4]. Такие расчеты важны в связи с выяснением причин увеличения концентрации метана в атмосфере, которое происходит на 1 % каждый год. За 100 лет с 1900 по 2000 г. количество метана увеличилось в 2 раза. Обеспокоенность ученых этим обстоятельством состоит в том, что метан является «тепличным» газом и увеличение его количества может способствовать глобальным процессам потепления климата.

Поэтому важно выяснить источники метана, из которых он выделяется в атмосферу, и установить причины его увеличения в атмосфере. Для проведения этих исследований были разработаны и приняты научные международные комплексные программы геолого-геофизических, гидрологических, гидроакустических, газогеохимических и других исследований КОМЕКС-1 и КОМЕКС-2

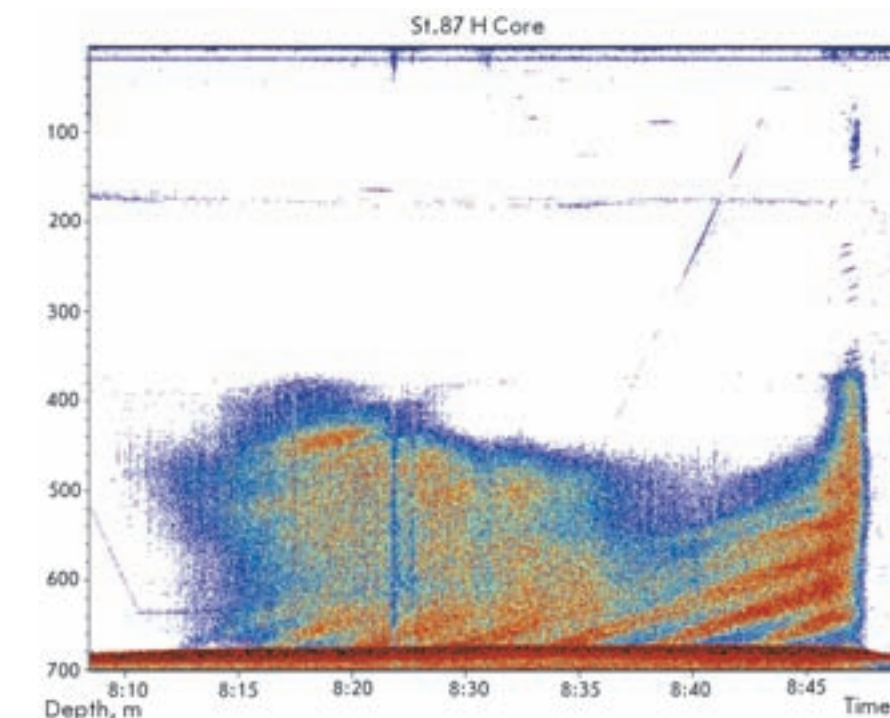


Рис. 4. «Факел Обжирова». Это выход пузырей метана из донных отложений в воду, впервые обнаруженный Б.А. Казанским на эхолоте в экспедиции ТОИ в 1988 г. на судне «Морской геофизик». На рисунке дана запись этого факела на эхограмме, сделанная А.С. Саломатиным в 2003 г., выход пузырей метана продолжает быть активным и в нем обнаружены газогидраты. Затемненная часть в придонном слое воды – пузыри метана

(1998–2004 гг.) в Охотском море. Разработчиками и кураторами программ были российская и Германская стороны. В 2004 г. состоялась экспедиция SO-178 в Охотское море на научно-исследовательском судне «Зонне» (SONNE), принадлежащем Германии (порт приписки – г. Киль). Это первая научная экспедиция, которую решила российская сторона выполнить в Охотском море на иностранном судне в рамках проекта КОМЕКС-2.

Благодаря хорошей технической оснащённости судна «Зонне», в экспедиции 2004 г. были получены качественно новые данные по комплексу геологических, газогеохимических и других исследований. На корме палубы судна расположена ферма, на которой крепится грунтовая трубка. При отборе донных осадков ферма вместе с трубкой опускается за борт (рис 5). Затем она отходит от трубки и трубка отбира-

ет осадок. На борт трубка поднимается в ферме, которая ее подхватывает в воде еще в вертикальном положении. Благодаря такому устройству длинные трубки не перегибаются и

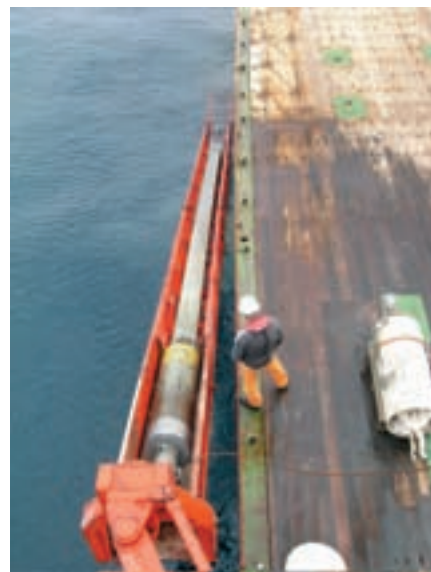
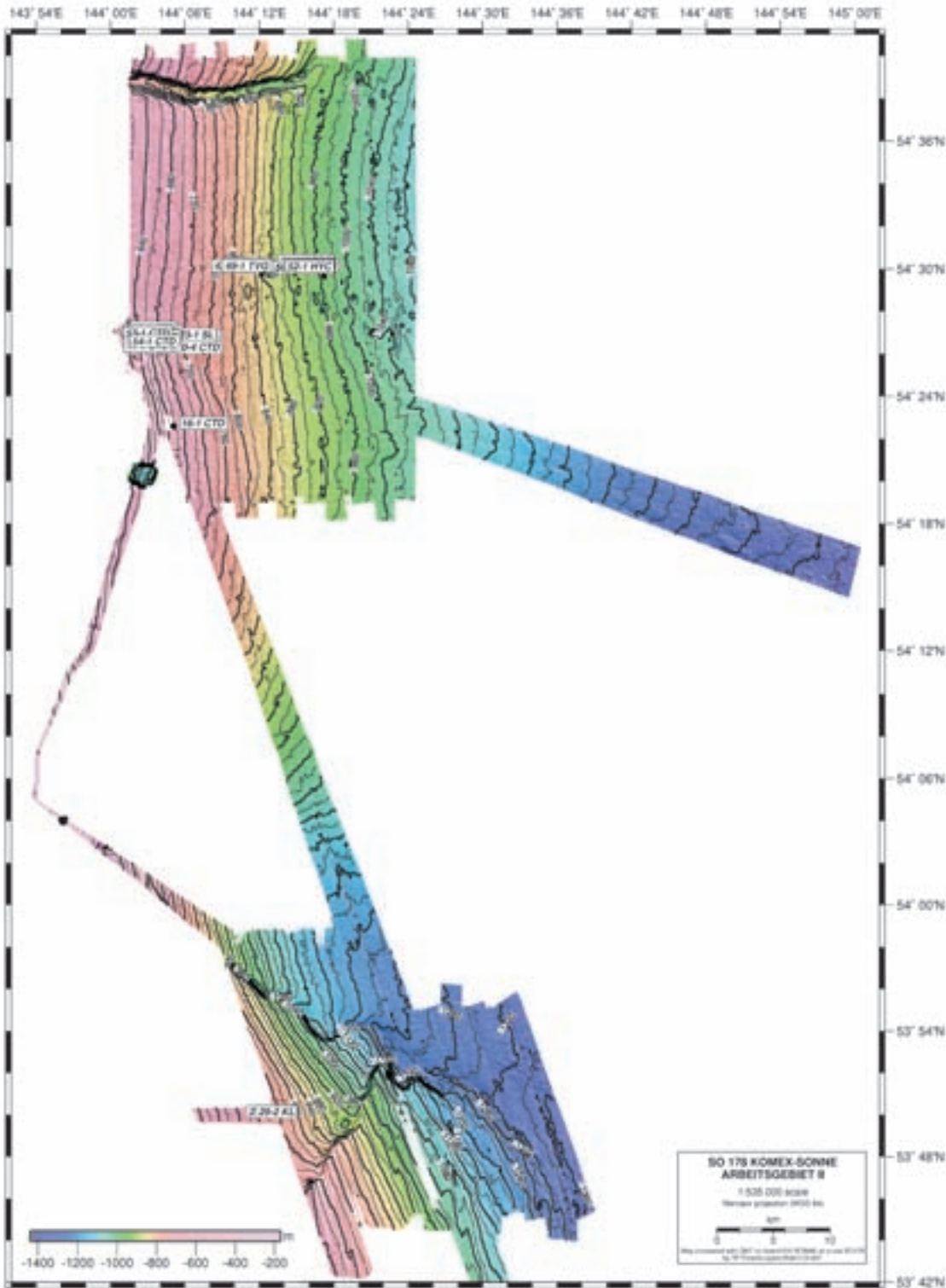


Рис. 5. Конструкция отбора проб донных осадков на германском судне «Зонне». Она позволяет брать керн осадков гравитационной геологической трубкой до 25 м от поверхности дна

Рис. 6. Морфоструктурная карта поверхности дна Сахалинского северо-восточного склона Охотского моря, записанная многолучевым эхолотом в экспедиции в 2004 г. на германском судне «Зонне». На карте выделены небольшие круглые структуры, образованные выходами пузырей метана из донных отложений в воду



не ломаются. Ими в экспедиции отбирались колонки керна осадков длиной до 25 м. На наших судах обычно удавалось взять керн трубкой длиной не более 7–9 м. На судне «Зонне»

имеется система обзора дна с видео- и фотокамерами, специальное устройство для взятия верхнего слоя осадков без его нарушения вместе с придонной водой, где размещены две ви-

деокамеры для корректуры отбора проб, мощный грейфер с видеокамерой, который может взять около 500 кг осадков или коренных пород, специальная сетка для вылова планктона на

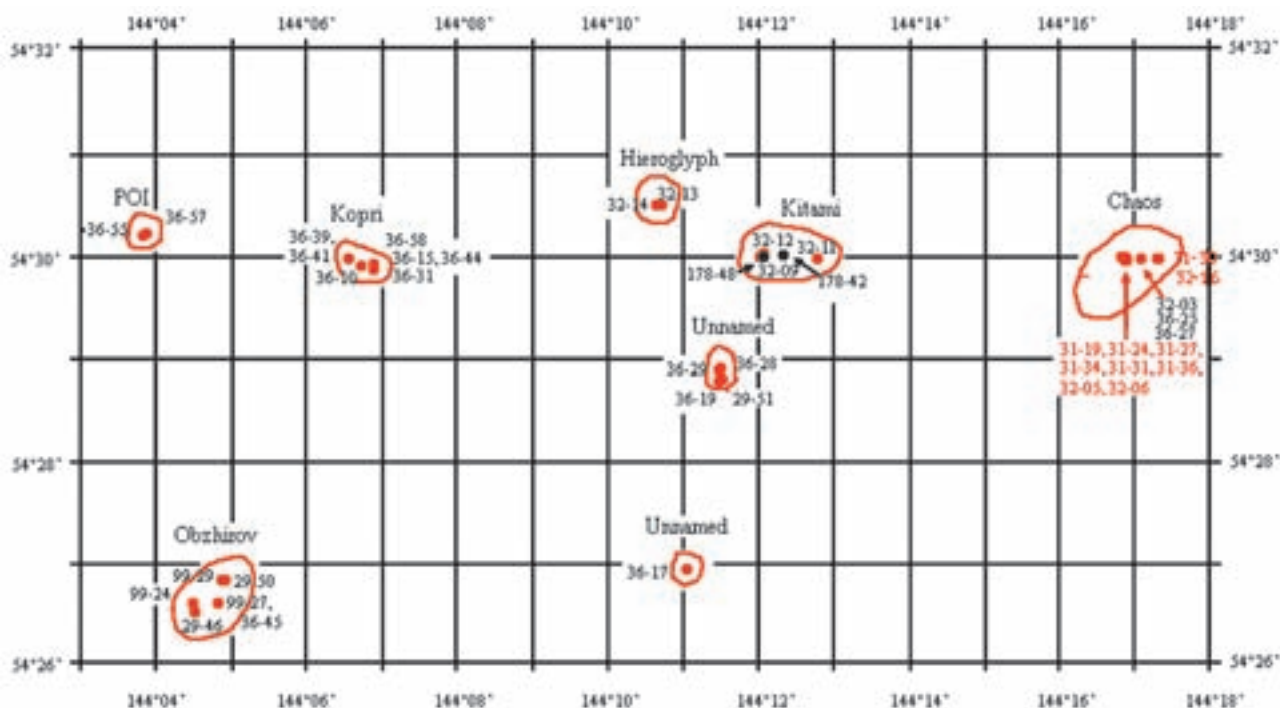


Рис. 7. Схема расположения площадей, где открыты газогидраты в донных осадках. Площади околнурены большими кружками, внутри них кружками показаны станции, на которых в донных осадках в различных экспедициях (цифрами обозначены номера рейсов экспедиций и станций) отобраны газовые гидраты, на них наблюдались выходы пузырей метана. Расположение газогидратсодержащих площадей см. на рис. 1 в районе, отмеченном квадратом. Надписи – названия газогидратсодержащих площадей

различных горизонтах. Перед выполнением отбора проб воды или осадков в районе действий (станции) проводились морфологические исследования дна многолучевым эхолотом. Параллельно с ним работал профилограф, который хорошо прописывал отражающие границы тонких слоев (1–5 м) на глубину около 100 м от поверхности дна. Составленная карта поверхности дна (рис. 6) использовалась в экспедициях 2005–2006 гг. по проекту ХАОС-2.

В 2003, 2005 и 2006 гг. для изучения потоков метана и газогидратов в Охотском море были выполнены экспедиции по международным программам ХАОС-1, ХАОС-2 и ХАОС-3. Программы были составлены российской, японской и корейской сторонами. Отметим, что именно благодаря отлично составленной карте в рейсе SO-178 (2004 г.) морфологии поверхности морского дна в районе полей газогидратов на северо-восточном Сахалинском склоне,

в экспедиции 2005 г. по проекту ХАОС-2 было обнаружено еще 6 (!) новых площадей газогидратов. Их назвали именами институтов, сотрудники которых были участниками экспедиции (рис. 7).

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ

В результате мониторинга метана, выполненного лабораторией газогеохимии ТОИ с 1984 по 2006 г. в Охотском море в рамках российских и международных проектов, выявлено как изменение концентраций метана в водных колонках Охотского моря, так и увеличение количества потоков метана из донных отложений в воду. При этом обнаружено, что метан выделяется из донных отложений в воду и из воды в атмосферу часто в виде пузырей. Отмечено, что потоки пузырей метана на Сахалинском северо-восточном шельфе и склоне появились в 1988 г. Затем наблюдалось увеличе-

ние их количества, которое превысило двести к 2006 г. Было сделано предположение, что рост количества выходов метана и в то же время увеличение его концентрации в воде связаны с периодами сейсмо-тектонической активизации региона [3]. При этом зоны разломов раскрываются и становятся путями миграции газа, источником которого могут быть, например, разрушающиеся газогидраты, нефтегазовые залежи. Это подтверждено землетрясениями магнитудой более 6 баллов – Курильским (1994), Нефтегорским (1995), Углегорским (2000), Хоккайдским (2003) и другими меньшей магнитуды.

Причем при сейсмо-тектонической активизации газ (метан) мигрирует по зоне разлома из-под подошвы газогидратсодержащих отложений (BSR). Газогидратные слои являются хорошей крышкой свободных газов, и они накапливаются ниже

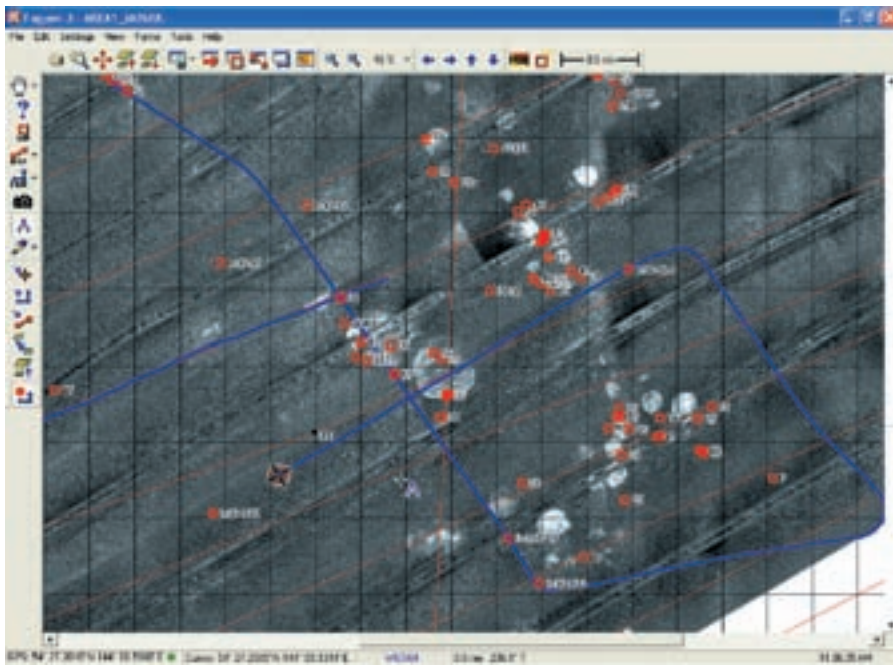


Рис. 8. Морфоструктурная карта поверхности дна Сахалинского северо-восточного склона Охотского моря. Круглые белые структуры образованы выходами пузырей метана, и на этих структурах обнаружены газогидраты в донных осадках. Квадратами обозначены станции отбора проб воды и осадков

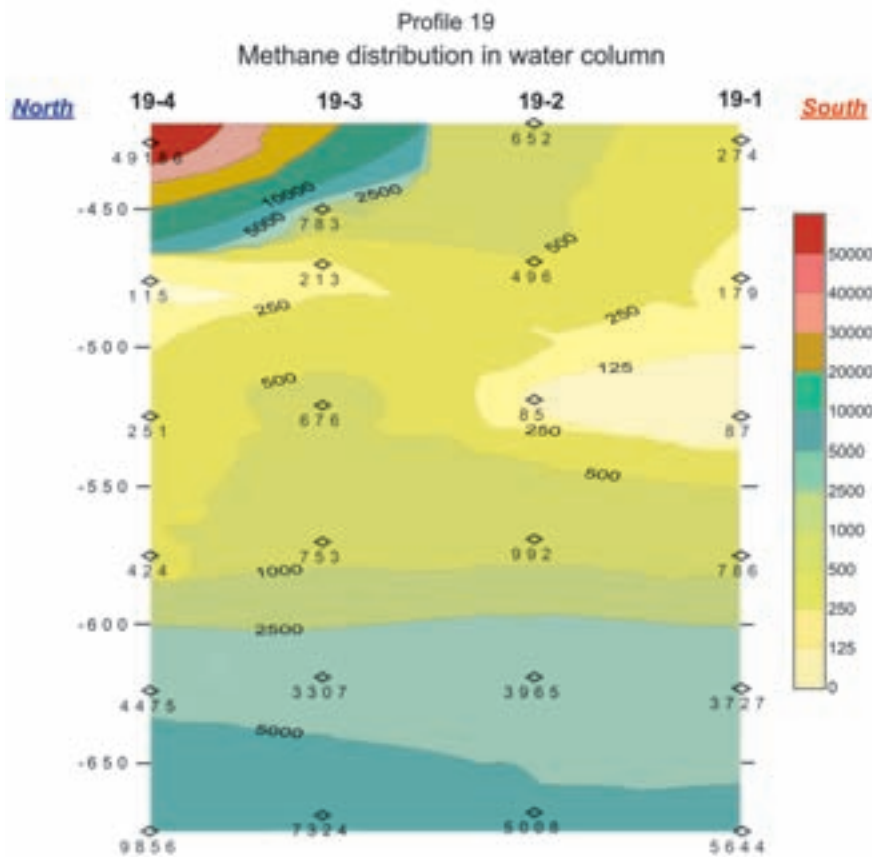


Рис. 9. Профиль распределения метана в воде в районе его выходы на структуре «Обжиров». Ромбиками обозначено место отбора проб воды для анализа газа. Цифры под ромбиками – концентрации метана в мл/л. Линии – изометы метана в мл/л. Справа дана шкала концентрации метана в водной колонке, мл/л

подошвы газогидратсодержащих осадков. В период сейсмической активизации разлом разрывает эту толщу и газы устремляются к поверхности. Частично он выходит в виде потока пузырей метана в воду и в атмосферу, а другая его часть снова образует газогидраты в верхних слоях донных осадков. Эти газогидраты можно отобрать гравитационной трубкой в районе потока пузырей метана. В результате потока метана и образования новых слоев газогидратов на поверхности осадков происходят морфоструктурные изменения с образованием ямок и бугров диаметром и высотой (или глубиной) более 10–20 м и в совокупности нарушенным полем более 500–1000 м диаметром. Именно на этих структурах в районе потоков пузырей метана были впервые обнаружены газогидраты в донных осадках на северо-восточном Сахалинском склоне Охотского моря в 1991 г. в экспедиции на судне «Петр Антропов» [4].

Поверхность дна в районе обнаружения газогидратов, согласно записи сонарных комплексов «Sonic-3» и «Sonic-4», представлена округлыми структурами диаметром 500–700 м, в которых распространены многочисленные мелкие ямки и бугры (рис. 8). Они образованы, вероятно, газофлюидными потоками, поднимающимися из глубоких слоев осадочного чехла и, возможно, фундамента. Данные процессы схожи с процессами грязевулканической деятельности как на морском дне, так и на суше. Выяснение вопроса – как эти структуры, газогидраты и потоки метана взаимосвязаны – является важной частью экспедиционных исследований. Эти же морфоструктурные признаки и потоки пузырей газа (метана) используются для поисков и изучения особенностей образования газогидратов, прослежи-

вания землетрясений в историческое время и прогноза их в настоящий период.

Аномальные концентрации метана 5 000–10 000 нл/л и более 20 000 нл/л были обнаружены в придонных слоях воды в районе выходов пузырей метана на северо-восточном Сахалинском склоне. Они превышают фоновые концентрации метана в придонной воде в 100–1000 и более раз. В районе потоков метана в керне верхних слоев (100–400 см) осадков были обнаружены газогидраты. Концентрация метана в этих слоях превышала 500–1000 мл/л влажного осадка. Количество метана в них пропорционально зависело от гидратонасыщенности керна осадка.

В связи с высокой степенью устойчивости позиции судна «Sonpe» на станции (отход от заданных координат не более 10 м) появилась возможность в 2004 г. изучить распространение потока метана в водных колонках от дна к поверхности. Для этого было сделано 25 станций в квадрате 1 мили на 6 горизонтах через 50 м друг от друга, начиная от придонного слоя вверх. Расстояние между станциями равнялось около 300 м. Для исследований был выбран самый мощный поток метана в районе ранее известного выхода пузырей «Обжиров» (рис. 9).

Полученные данные распределения метана по слоям воды характеризуют изменчивость его концентраций в вертикальном разрезе. Существуют высокие аномалии метана в придонной воде, затем они ослабевают почти на порядок на горизонтах 100–150 м от поверхности дна, и на горизонте 250 м формируются самые высокие концентрации метана. Эта закономерность имеет три важных комментария: 1) существует динамика слоев воды в придонных горизонтах в этом районе Охотского моря; 2) газогеохи-

SO178-10-5	CH4, mkl/l	cm
49°44,876	3	5
146°00,481	10	95
614 m, Depth	20	195
1500 cm, Leng.	21	295
	38	395
	93	495
	210	595
	254	695
	560	795
	1158	895
	4776	995
	34378	1095
	34196	1195

SO178-11-5	CH4, mkl/l	cm
51°14,000	8	50
146°12,999	8	150
1182 m, Depth	12	218
1738 cm, Leng.	26	304
	49	404
	56	514
	112	604
	170	704
	244	804
	17113	904
	67188	1004
	62428	1104
	41804	1204
	29180	1304
	25820	1404
	24011	1504
	35418	1604
	24373	1704

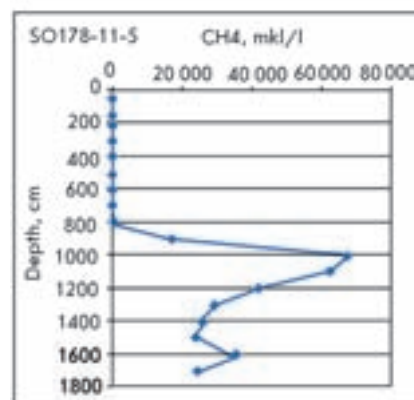
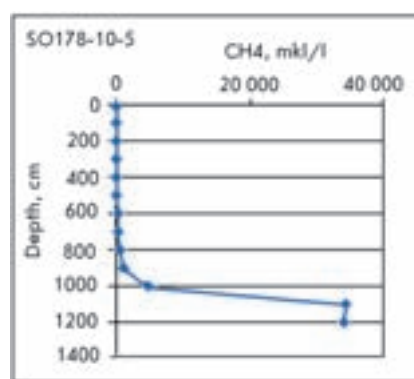


Рис. 10. Аномальные концентрации метана (60–80 мл/л) в колонках донных осадков, обнаруженных на восточном Сахалинском склоне Охотского моря в интервале 10–12 м

мическая характеристика этих слоев, возможно, будет взаимосвязана с физико-химическими параметрами воды и с окружающей биотой; 3) стратификационные изменения концентраций метана следует учитывать при расчетах его поступления в атмосферу и использования газа (метана) в качестве индикатора для поисков нефти, газа и газогидратов.

В донных осадках на глубине 10–12 м ниже дна впервые обнаружен слой с повышенным содержанием метана (20–80 мл/л). Осадки отобразены в районе отсутствия газогидратов. Возможно, в период осадения слоев в этом районе Охотского моря они накапливались. Примечательно то, что он прослеживается на западном борту впадины Дерюгина на 4 станциях, выполненных на площади около 500 км². Возможно, что это какой-то маркер палеообстановки (па-

леоклимата) в Охотском море в период накопления осадков данного слоя (рис. 10)

В районе выходов метана в верхних слоях донных осадков как в предыдущих экспедициях, так и в экспедициях 2003–2006 гг. были обнаружены газогидраты (рис.11). Они представляют собой белые, похожие на плотный снег образования (гидрат воды и метана, который размещается между молекулами воды, при этом при высоком давлении и низкой температуре образуется газогидрат). При обычных условиях (на борту судна) газогидрат быстро разрушается и снова переходит в газ (метан) и воду.

Газогидраты представлены слоями 1–10 см толщиной и фрагментами около 5–10 см в диаметре. Но впервые в районе Сахалинского северо-восточного склона в Охотском море обнаружен слой сплошного газогидрата толщиной 35 см (рис. 12).

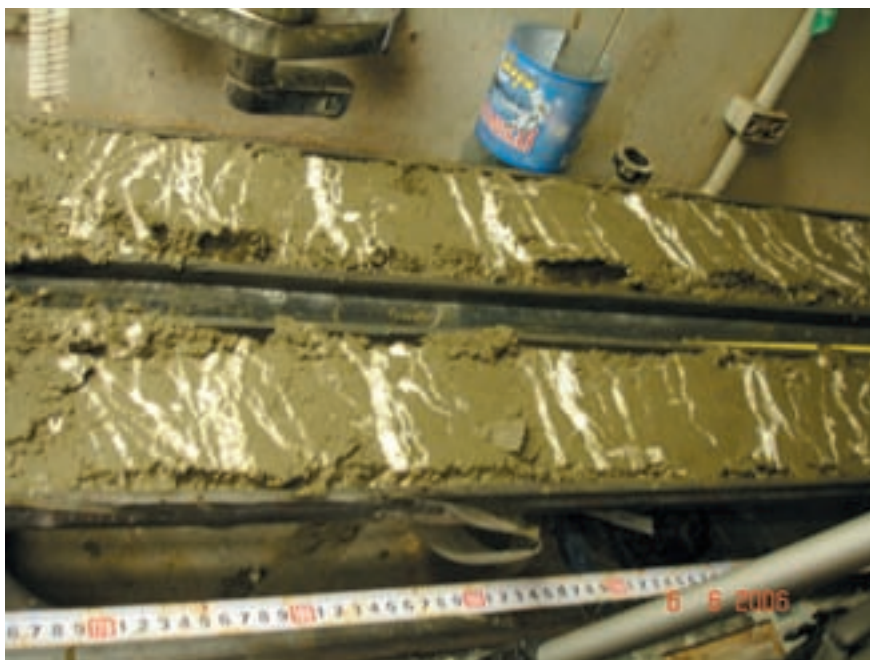


Рис. 11. Слои газогидратов в керне гравитационной трубки. Слои газогидратов (белый цвет) залегают на глубине 3–4 м от поверхности дна в илистых донных осадках



Рис. 12. Слой газогидрата, обнаруженный в донных осадках Сахалинского северо-восточного склона Охотского моря в интервале глубины 48–83 см от поверхности дна. Место расположения см. квадрат на рис. 1

Газогидраты обычно залегают уже в 1–2 м от поверхности дна и глубже. При подъеме керна с газогидратами и достижении геологической трубки до глубины около 200 м на эхограмме появляется запись звукорассеивающей гидроакустической аномалии, связанной с выделе-

нием пузырей газа из трубки. Особенно интенсивно газ стал выделяться из труб при приближении к поверхности воды. Картинка схожа с гидроакустическими аномалиями, записанными на эхограмме потоков пузырей метана из донных отложений в воду.

Особенность поднятых газогидратов состоит в том, что они все имеют различную морфоструктуру – от горизонтальных слоев (в т. ч. 35 см толщиной) до фигурных квазивертикальных и вертикальных прослоев и фрагментов слоев. В осадках Охотского моря мощность слоев или фрагментов газогидратов обычно составляет 2–5 см, чаще не более 1–10 см. Такой морфологический облик в осадках, возможно, характеризует сеймотектонические палеоактивизации, при которых увеличился поток метана, по-видимому, из нефтегазовых залежей или других источников, что приводило к формированию прослоев газогидратов.

Подтверждением того, что газогидраты образуются сопряженно с нефтегазовыми залежами, являются данные, приведенные Родниковым и др. (1998 г.), на месторождениях Прадхо-Бей и Купарук-Ривер Аляски (рис. 13). На этих месторождениях газ из нефтегазосодержащих пород по зоне разлома поднимается вверх, и в зоне, благоприятной по давлению и температуре для образования газогидратов, формируются слои газогидратов. Возможно, образование слоев газогидратов способствует консервации углеводородов, так как они являются не проницаемыми для их миграции на поверхность. Иными словами, существует непрерывный процесс образования – нефтегазовых залежей и газогидратов.

Такой же процесс происходит и в Охотском море. Нефтегазосодержащие породы, которые формируют залежи нефти и газа на шельфе, простираются на склон впадины Дерюгина. По зонам разломов, особенно в период их сеймотектонической активизации, газ (метан) поднимается к поверхности осадков, и на глубинах моря 400 м и более при температуре

придонной воды около $2,4^{\circ}\text{C}$ возникают условия, благоприятные для образования газогидратов. Поэтому поток газа (метана) формирует поля газогидратов в верхних слоях донных осадков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в результате выполненных в 1984–2006 гг. комплексных геологических, геофизических, газогеохимических исследований на северо-восточном Сахалинском склоне Охотского моря получены следующие результаты.

1. Обнаружены 9 площадей с содержанием газовых гидратов в поверхностных слоях донных осадков в полосе склона около 60 миль на широтах от $53^{\circ}30'$ до $54^{\circ}30'$ и глубинах моря от 380 до 850 м и более.

2. Газогидраты приурочены к периферии центра структур с выходом пузырей метана. Площади дна, где обнаружены потоки пузырей газа (метана), выражены нарушенной поверхностью дна в виде ямок и бугорков в осадках. Они объединены в площадки обычно округлой формы 500–700 м диаметром, откуда по зонам разломов идет миграция газа из недр к поверхности. При этом происходит как разрушение газогидратов по всей газогидратсодержащей толще осадков в зоне разлома, так и их новое образование в верхних слоях донных осадков в связи с поступлением метана из недр и резким снижением температуры до температуры придонной воды – около $2,4^{\circ}\text{C}$. По геофизическим данным мощность осадков, содержащих газогидраты в Охотском море, составляет 200–300 м, распространяясь от поверхности дна.

3. Обнаружено более 200 новых выходов (потоков) пузырей метана в районе северо-восточного шельфа и склона Охотского моря. На этой площади в

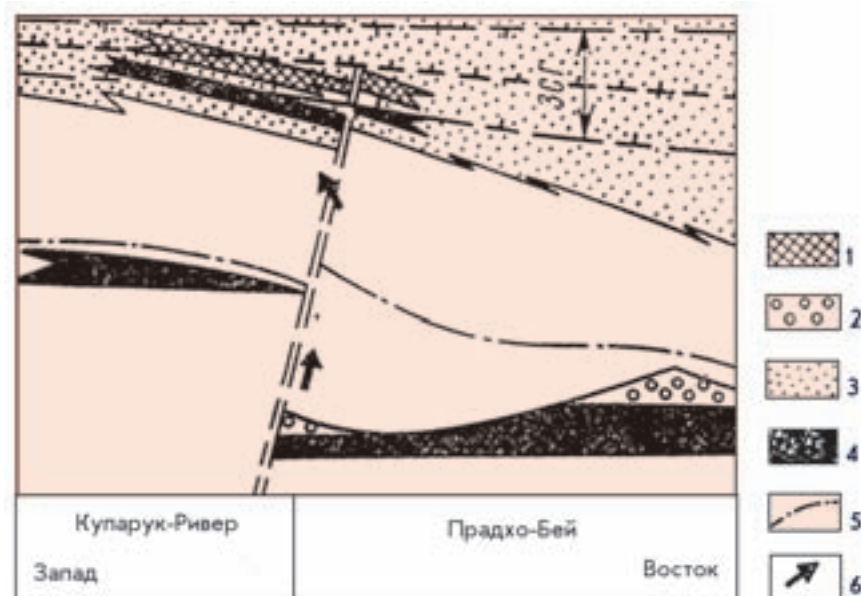


Рис. 13. Схематический разрез гидратосодержащего района месторождений Куларук-Ривер и Прадхо-Бей (Аляска). 1 – гидратосодержащие отложения; 2 – газовые шапки месторождений; 3 – свита Сагаванирток; 4 – нефтегазосодержащие отложения; 5 – подошва морских сланцев; 6 – направления движения газа

1988–1989 гг. было обнаружено всего несколько потоков пузырей метана, в 1991 г. открыто около 10, а к 2006 г. их количество превысило 200. Главной причиной увеличения количества потоков метана и концентраций метана в водных колонках является сейсмোটектоническая активизация региона и, соответственно, зон разломов.

4. Детально изучено распределение метана в нижних слоях водной толщи Охотского моря в районе выхода пузырей метана «Обжиров». Установлена стратификация слоев воды в этом районе: высокая аномалия метана в придонной воде и в слое 250 м выше дна и низкая в слое воды 100–150 м от дна, что связано с активной гидрологической обстановкой в этом районе Охотского моря. Эти исследования важны для правильной интерпретации причин формирования аномальных слоев метана при газогеохимических поисках нефти и газа.

5. Обнаружено увеличение концентрации метана в придонной воде в августе 2003 г. в районе выхода метана «Обжиров» в 10 раз по сравнению с пре-

дыдущими годами. Это связано с усилением сейсмической активности в северо-восточной части Сахалинского склона Охотского моря в августе 2003 г. Судя по появлению потоков метана и увеличению их количества и концентрации газа в водных колонках, можно говорить о сейсмোটектонической активизации в целом Сахалино-Хоккайдской системы разломов на западе Охотского моря с 1988 г. Это подтверждается Хоккайдским землетрясением 2003 г. магнитудой более 7 баллов.

6. Поднят на поверхность гравитационной трубкой слой газогидрата толщиной 35 см. Это самый мощный слой, обнаруженный в данном регионе за период исследований с 1991 г.

7. В донных осадках выявлен горизонт на глубине 10–12 м от поверхности дна, насыщенный метаном. Он широко распространен во впадине Дерюгина. Возможно, во время накопления осадков этого слоя был особый палеорежим в данной части Охотского моря.

8. Газогеохимические поля метана служат важным критерием для: 1) поиска нефтегазо-

вых залежей; 2) трассирования зон разломов и определения сейсмотектонической активности региона; 3) поиска газогидратов; 4) оценки потока метана в атмосферу из моря, что необходимо для расчета вклада различных природных и антропогенных источников метана и их возможного влияния на потепление климата.

ЛИТЕРАТУРА

1. Обжиров А.И., Казанский Б.А., Мельниченко Ю.И. Эффект звукорассеивания придонной воды в краевых частях Охотского моря // Тихоокеанская геология. 1989, № 2. С. 119–121.
2. Обжиров А.И. Газогеохимические поля придонного слоя морей и океанов. М.: Наука, 1993. 139 с.
3. Обжиров А.И. и др. Мониторинг метана в Охотском море. Владивосток: Дальнаука, 2002. 250 с.
4. Соловьев В.А., Гинзбург Г.Д., Обжиров А.И., Дуглас В.К. Газогидраты Охотского моря // Отечественная геология. 1994. № 2. С. 190–197.
5. Geomar Report. Edit. Nicole Biebow. 1999. N 82. Kiel, Germany. S. 250.
6. Geomar Report. Edit. Nicole Biebow. 2002. N 88. Kiel, Germany. S. 270.
7. Gaedice Ch., Baranov B.V., Obzhairov A.I., Lelikov E.P., Belykh I.N., Basov E.I. Seismic stratigraphy, BSR distribution, and venting of methane-rich fluids west off Paramushir and Onecotan Islands, northern Kurils // Marine Geology. 1997. V. 116. P. 259–276.

ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ПОЛЯРНО-ОРБИТАЛЬНЫХ СПУТНИКОВ FY-1C/1D ДЛЯ МОНИТОРИНГА ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ОКЕАНА

А.И.Алексанин, С.Е. Дьяков
С.Н. Катаманов, Ю.В. Наумкин

ИАПУ
ДВО РАН
Владивосток

ВВЕДЕНИЕ

Основным направлением работ «Центра регионального спутникового мониторинга окружающей среды ДВО РАН» (официальный статус ЦКП РАН [1]) является адаптация и создание новых технологий мониторинга полей океана и атмосферы. Центр обеспечивает как оперативной, так и ретроспективной информацией с метеорологических полярно-орбитальных и геостационарных спутников (NOAA, FY-1C, FY-1D, AQUA/MODIS, FY-2C, MTSAT-1R), научные исследования и хозяйственные приложения. Центр принимает участие в развивающейся кооперации стран региона (Китай, Тайвань, Республика Корея, Россия и Япония) по обмену технологиями и спутниковой информацией в рамках программы дистанционного зондирования океана UNESCO/IOC/WESTPAC – подпрограмма «Новая генерация температурных полей океана», являющейся, по сути, частью глобального международного проекта GODAE (Global Ocean Data Assimilation Experiment), и сотрудничеству в рамках программы по мониторингу вредоносного цветения водорослей и нефтяных загрязнений UNEP\NOWPAP\SEARAC (Программа охраны окружающей среды ООН \ План по северозападной части Тихоокеанского региона \

Региональный центр по специальному и прибрежному мониторингу).

Основная цель первого проекта – это расчет надежных и точных полей температуры поверхности океана 4 раза в день с пространственным разрешением 1 км. Карты должны рассчитываться в режиме реального времени, при любых погодных условиях и проходить постоянную верификацию. Наилучшими источниками информации являются инфракрасные изображения километрового разрешения. Увеличение количества источников информации для этой цели имеет первостепенное значение.

Ключевая проблема второго проекта – технологии мониторинга полей планктона и, в первую очередь, мониторинга вредоносного цветения водорослей на основе спутниковой информации о цвете океана. К основным рассчитываемым параметрам относятся концентрации хлорофилла, растворенного органического вещества и взвеси.

Появление новых китайских полярно-орбитальных спутников «FengYun-1C/1D» с радиометром MVISR обещало существенно улучшить мониторинг быстро меняющихся процессов и явлений на море и на суше, так как в отличие от базового источника информации (NOAA/AVHRR) китайский радиометр