5. Мамыкина В.А., Хрусталев Ю.П. Береговая зона Азовского моря.— Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ,1980.— 174 с.

6. *Невесский Е.Н.* К вопросу о новейшей черноморской трансгрессии //Труды Ин-та океанологии АН СССР, 1958.— **28**

7. *Паромов Я. М.* Главные дороги Таманского полуострова в античное время // Боспорские древности.— М.: ИА РАН, 1998.— Вып. 1.— С. 216–225.

8. *Пешков В.М.* Береговая зона моря. Лаконт, 2003.— 350 с.

9. *Соколов В.* Карта поселений и древних могильников в районе станицы Таманской // Изв.Таврической ученой комиссии.— 1919.— № 56.— С. 37–58.

10. *Шамрай А.Н.* Гавань и якорная стоянка античной Корокондамы // Боспор Киммерийский и варварский мир в период античности.— Керчь, 2003.— С. 277–291.

11. *Peshkov V.M.* A practice of protection of the Russian Azov-Black sea coast from abrasion // Proc. Fifth Int. Conf. on Coastal and Port Engineering, South Africa, Cape Town, 1999.— 2.— P. 982.

У статті розглянуті результати вивчення динаміки Коси Тузла в процесі її природного розвитку та після відновлення прикореневої частини.

The paper deals with the results of study of the Tuzla spit morphodynamic under natural and artificial conditions.

УДК 550.82.5 (262.5)

Е.Ф. Шнюков[1], В.П. Коболев[2], О.М. Русаков[2], Н.А.Маслаков[1]

МЕТАН В ОСАДКАХ И ВОДНОЙ ТОЛЩЕ ЧЕРНОГО МОРЯ: ФОРМИРОВАНИЕ, ПУТИ ПЕРЕНОСА И РОЛЬ В УГЛЕРОДНОМ ЦИКЛЕ

(Обзор материалов международного семинара)

Приведен обзор докладов международного семинара о формировании, путях переноса и роли метана Черного моря в углеродном цикле. Семинар был организован Институтом биологии южных морей НАН Украины, Центром морских геонаук Московского государственного университета (Россия) и Центром исследований океанических окраин Бременского университета (Германия).

Вблизи Севастополя, в живописном уголке мыса Фиолент, на базе гостиницы "Орлиное гнездо" с 17 по 20 мая 2005 года проходил международный семинар "Метан в осадках и водной толще Черного моря: формирование, пути переноса и роль в углеродном цикле". Организаторами семинара явились Институт биологии южных морей НАН Украины, Центр морских

© Е.Ф. Шнюков[1], В.П. Коболев[2], О.М. Русаков[2], Н.А. Маслаков[1]:
[1] Отделение морской геологии и осадочного рудообразования ННПМ НАН Украины.
[2] Институт геофизики НАН Украины.

геонаук Московского государственного университета (Россия) и Центр исследований океанических окраин Бременского университета (Германия). По окончании пленарных заседаний с 21 по 22 мая 2005 года директор Отделения морской геологии и осадочного рудообразования Национального природоведческого научного музея (НПНМ) НАН Украины, академик НАН Украины Е. Шнюков организовал для участников семинара полевую экскурсию по грязевым вулканам Керченского полуострова.

На 5 пленарных заседаниях было заслушано 34 устных и рассмотрено 7 постерных докладов ученых из Бельгии, Болгарии, Германии, Голландии, Грузии, Канады, Норвегии, России, Турции, Украины и Франции [1]. Следует отметить исключительно домашнюю, комфортную обстановку на пленарных заседаниях, которой во многом способствовало отсутствие секционных подразделений семинара, так как многие доклады носили междисциплинарный характер, и тот факт, что их авторы давно знакомы по совместным морским экспедиционным исследованиям. В настоящем обзоре систематизирована и прореферирована основная часть докладов.

Во вступительном слове заместитель директора Института биологии южных морей НАН Украины проф. **Ю. Токарев** подчеркнул особое значение семинара, как пример международного междисциплинарного научного сотрудничества по изучению газоотдачи дна Черного моря, в частности, исследованию выделений метана в водную толщу и атмосферу, а также оценке его вклада в глобальный парниковый эффект.

Первым на семинаре был заслушан доклад первооткрывателей газовых сипов в Украинской экономической зоне Черного моря в 1989 году [2] академика НАН Украины **Г. Поликарпова** и проф. **В. Егорова** (Институт биологии южных морей НАН Украины, г. Севастополь) "История, результаты и проблемы изучения метановых газовых сипов со дна Черного моря". В хронологической последовательности и достаточно полно в докладе были освещены работы по изучению газовых сипов учеными стран Черноморского региона, а также Бельгии, Великобритании, Германии, Греции, Италии, Франции и Швейцарии. Главной целью этих работ было исследование среды формирования, экологической роли и оценка связей газовой разгрузки донных осадков с запасами углеводородов в Черном море.

В докладе был приведен перечень поставленных задач и уровень их решения, начиная с 1989 года: методики, аппаратура и приборы для наблюдений и регистрации газовых сипов (гидроакустические методы, подводные телевизионные установки, подводные обитаемые аппараты и пр.); отбор образцов газовых выделений с целью последующего определения химического и изотопного составов; определение спектра размеров пузырьков и диапазона их изменения при подъеме к поверхности и разработка моделей взаимодействия газовых пузырьков с водной средой; влияние физических характеристик морской среды на миграцию и растворение метана, равно как и влияние газовых сипов на гидрологические параметры и характеристики звукорассеивающих слоев. Большое внимание было уделено изучению отношения между потоком метана, растворяющегося в водной среде, и его выносом в атмосферу.

В поле зрения исследователей входили также вопросы состава бактериального сообщества в зоне окисления и вклад химического синтеза бактериального окисления метана в биологическую продуктивность вод Черного моря; исследование генезиса метана в бактериальных сообществах и карбонатных постройках; механизм бактериального метаноокисления и отложения метанового углерода в карбонатных постройках сероводородной зоны Черного моря и их распределение на различных глубинах; влияние газовых сипов на биогеохимические характеристики метанового цикла в анаэробной зоне Черного моря и пр.

Эти вопросы получили дальнейшее развитие в докладах учеников и последователей академика НАН Украины Г. Поликарпова сотрудников Института биологии южных морей НАН Украины — **Ю. Артемова, С. Гулина, И. Гусевой, Н. Егорова, С. Костовой, О. Плотицына, В. Поповичева и Н. Стокозова.**

Обзор наблюдений микробиологических построек, связанных с газовыми сипами на шельфе, континентальном склоне и абиссальной долине за 1990–2004 годы привел в своем докладе **С. Гулин**. Большинство обнаруженных сипов пространственно располагаются вдоль нижней кромки шельфа и верхней части склона и тяготеют к палеодельтам и каньонам впадающих в Черное море рек Днепр, Днестр, Дон и Дунай [3]. Самый глубинный, недавно обнаруженный газовый сип приурочен к зоне разломов и грязевых вулканов в центральной части Черного моря [4].

Прямые наблюдения и отбор образцов, выполненные в 1990 и 1993 годах с подводного аппарата "Бентос-300" и "Север-2", позволили обнаружить поля газовых курильщиков на глубинах от 230 до 1738 м. В 2001 году с подводного аппарата "Яго" был обнаружен на глубине около 230 м карбонатный курильщик высотой до 4 м. Последние микробиологические, изотопные, молекулярные и петрографические анализы показали, что такие микробиологические постройки сформировались в результате анаэробного микробиологического окисления (АМО) метановых сипов из донных отложений [5].

Доклад **Ю. Артемова** был посвящен модельному представлению потоков метановых пузырьков вдоль траектории их подъема со дна в условиях черноморской водной толщи на основе гидроакустических наблюдений. В рамках проекта CRIMEA Ю. Артемовым была разработана теоретическая модель, объясняющая акустические наблюдения экспедиционных исследований НИС "Профессор Водяницкий" в 2003 и 2004 годах с помощью эхолота ЕК-500. В рамках этого же проекта Н. Стокозовым и Ю. Артемовым была разработана диффузионная одномерная модель потоков растворенного метана со дна в водную толщу и атмосферу.

Изучение поведения пузырьков в водной толще позволило получить количественные оценки взаимоотношения скорости подъема и диапазона уменьшения их размера. В частности показано, что в высокоинтенсивных изолированных газовых потоках на глубине 90–95 м число пузырьков диаметром от 1,3 до 11,3 мм в водном слое метровой мощности может достигать 400. Однако "средний статистический размер" пузырьков при дви-

жении метановых потоков из дна через водную толщу значительно изменяется с глубиной. В результате было установлено, что 82% поднимающегося из дна свободного метана растворяется в водной толще и лишь 18% достигает атмосферы.

В докладе **С. Костовой, В. Поповичева, Н. Егорова, Ю. Артемова, О. Плотицына и И. Гусевой** (Институт биологии южных морей НАН Украины, г. Севастополь) проведены результаты изучения распределения ртути на площадях развития газовых сипов в Черном море. Измерения показали увеличение концентрации ртути в водной толще и донных отложениях в зонах развития газовых сипов по сравнению с прилегающей территорией. Таким образом, авторы считают, что Черное море обладает естественным источником ртути, что необходимо учитывать при балансовых расчетах при биогеохимической оценке путей проникновения ртути в водную окружающую среду.

Информационный обзор материалов, полученных со времени первой учебно-исследовательской экспедиции (УИЭ) в 1991 году был представлен в докладе **М. Иванова и Р. Мурзина** (Центр морской геологии ЮНЕСКО — МГУ). За это время было организовано четыре успешных УИЭ в трех районах Черного моря, характеризующихся современным активным углеводородным выделением морского дна и грязевым вулканизмом — Каламитский склон, впадина Сорокина и Центральная абиссальная часть.

В рейсах был собран и проанализирован уникальный геологический, геофизический и геохимический материал, полученный с помощью большого набора морских методов исследований, современной аппаратуры и оборудования. В частности, в рейсах были задействованы: многоканальная батиметрия и гидроакустика, сейсмические методы высокого разрешения, различные типы локаторов бокового обзора, профилографы, подводная телевизионная техника, отбор образцов донных отложений с помощью ударных гравитационных трубок, драг и черпаков, оснащенных телевизионными камерами, различными геохимическими и биологическими установками.

В результате было открыто и детально исследовано более 20 грязевых вулканов. Газогидраты были отобраны в пределах грязевых вулканов — МГУ, Южморгеология, Вассоевича, Ковалевского, Страхова, TREDMAR (Центральная часть) и NIOZ, Ялта, Казакова, Одесса (впадина Сорокина). Помимо этого, УИЭ принадлежит приоритет в открытии Archaeva сообщества, связанного с метановыми сипами в условиях полного отсутствия кислорода. Были получены сведения о молекулярном и изотопном составе углеводородных газов из грязевых вулканов и аномальном составе поровых вод на площадях флюидовыделений. В УИЭ также были начаты пионерские исследования карбонатных корок из сипов. Полученные материалы позволили подтвердить тот факт, что майкопская свита является одним из главных источников углеводородных газов на площадях развития газовых сипов в Черном море.

Все материалы УИЭ сформированы в геоинформационную систему банка данных, которая позволяет быстро и легко получить любые сведения и обеспечивает удобную с ними работу.

Большой интерес у аудитории вызвал доклад академика НАН Украины **Е.Ф. Шнюкова** "Газовый вулканизм в Черном море" (соавторы: **Старостен-**

ко В.И., Русаков О.М., Коболев В.П. — Институт геофизики НАН Украины, **Маслаков Н.А.** — Отделение морской геологии НПНМ НАН Украины). Он доложил результаты работы большого неформального коллектива ученых Отделения морской геологии, Института геофизики НАНУ и ряда других организаций, полученные в нескольких рейсах НИС "Профессор Водяницкий", НИС "Киев", НПС "Ихтиандр". В сообщении отмечалось, что к настоящему времени в Черном море задокументировано более тысячи газовыделений. Однако точная цифра никогда не будет названа в связи с большим объемом, дискретностью и непостоянством выделений газа через дно Черного моря.

В докладе отмечена своеобразная зональность в размещении газовых факелов. Последние, как правило, находятся вне зоны гидратообразования, занимающей центральную часть моря глубже 700–800 м. Большая часть газовых плюмов приурочена к нижнему шельфу и верхней части континентального склона и располагается, как правило, в пределах палеоречных долин, которые контролируются неотектоническими нарушениями, оперяющими зоны глубинных разломов. Прямая связь пространственного распределения газовых выходов с зоной Циркумчерноморского разлома [6] является убедительным доказательством существенного вклада термогенного глубинного источника метана в общий баланс газового вулканизма дна Черного моря.

Об этом свидетельствуют и другие наблюдения. Прежде всего, следует отметить, что еще в 1995 году метановые курильщики и небольшие карбонатные постройки были обнаружены на кристаллических породах Ломоносовского подводного массива. В 57 рейсе НИС "Профессор Водяницкий" драгой была поднята крупная карбонатная постройка газового курильщика из разломной зоны Ломоносовского подводного массива. Были изучены ее минеральный состав и определен возраст различных частей постройки [7]. Интерес представляет также анализ строения грязевых вулканов, корни которых, являющиеся транспортной артерией подъема газо-флюидного материала, могут достигать глубины 20 км [8].

В докладе отмечено, что широкое развитие и высокая интенсивность газового вулканизма дна Черного моря, несомненно, указывает на огромный углеводородный потенциал акватории. Ключевым моментом доклада была демонстрация любительского фильма об извержении в Азовском море вблизи Таманского полуострова грязевого вулкана Голубицкий.

Только в течение двух экспедиций в 2003 и 2004 годах по проекту CRIMEA в палеорусле Днепра в северо-западной части Черного моря было обнаружено 2 778 сипов на площади 1540 км^2 (Доклад **L. Naudts, J. Greinert, Yr. Artemov, M.D. Batist, J. Poort, P.V. Rensbergen**). Все обнаруженные сипы располагаются в переходной зоне между шельфом и континентальным склоном при глубине моря от 66 до 825 м. Обобщение гидроакустических и геофизических данных однозначно указывает на тот факт, что распределение метановых сипов носит не случайный характер, а строго локализовано в определенных зонах. Предельная глубина большинства зафиксированных сипов составляет ориентировочно 725 м, что примерно согласуется с верхней

границей стабильности чистых метановых гидратов. Это обстоятельство подтверждает роль газогидратов в качестве буфера, блокирующего подъем метана в верхние слои донных отложений и далее в водную толщу.

Активное участие в семинаре приняли сотрудники Института микробиологии РАН. В докладе И. Русанова (соавторы: **Н. Пименов, С. Юсупов, А. Савичев и М. Иванов.**) были обобщены результаты исследований микробиологических процессов метанового цикла в глубоководной зоне Черного моря. Главным выводом авторов является тот факт, что на всех исследованных станциях на континентальном склоне и в глубоководной части объем общего микробиологического окисления метана в водной толще превышает интегральную величину его производства, что свидетельствует о дополнительном источнике. Им не могут быть донные осадки, так как концентрация метана в приповерхностных слоях намного ниже, чем в придонных. Таким дополнительным источником метана, предполагают авторы, могут быть многочисленные метановые сипы на континентальном склоне и глубоководные грязевые вулканы.

Микробиологические процессы метанового цикла в промежуточной кислородной — бескислородной зоне Черного моря рассмотрены в докладе **Н. Пименова** (соавторы: **И. Русанов, С. Юсупов и М. Иванов**). В сообщении подчеркивается уникальность Черного моря как самого большого анаэробного бассейна в мире, в котором водная масса центральной части содержит аномально высокую концентрацию CH_4. Исследования показали, что микроорганизмы, которые могут продуцировать и окислять метан, хорошо приспособились культивироваться в (или около) промежуточной кислородной — бескислородной зоне. Выделено несколько сред с наиболее благоприятными условиями для микробиологических сообществ, вовлеченных в метановую цикличность: поверхностные донные осадки шельфовой зоны, где окисление-восстановление постоянно сменяются в их верхнем слое толщиной несколько сантиметров; промежуточная кислородная — бескислородная зона в глубоководной части; аэробная водная толща — перерабатывающий тракт зоопланктона, суспензия крупных частиц, гранулы и пр.

В литоральной зоне, согласно результатам радиоизотопных анализов и определений изотопного состава $\delta^{13}C\text{-}CH_4$, темп микробиологического метанообразования выше в органически обогащенных осадках и резко возрастает в поверхностных слоях редуцированных осадков. На профиле распределения темпа окисления метана выделяется два максимума. Первый находится в окислительной зоне (положительные значения Eh) и соответствует росту аэробных метанотрофических бактерий. Второй лежит глубже, в анаэробной зоне и определяется активностью анаэробной метано-окислительной сообщности (АМО). Анализ аэробного и анаэробного окисления показал, что АМО в сильно загрязненных осадках болгарского шельфа и зоны влияния дунайского стока был несколько выше, чем активность аэробной метано-окислительной сообщности. Однако аномально высокий темп аэробного окисления метана наблюдался в верхних слоях окисленных осадков из зоны мелководных метановых сипов. Анализ распределения метана, как и корреляция между общими темпами его генерации и окисле-

ния свидетельствуют, что мелководные осадки Черного моря являются источником биогенного метана, часть которого достигает атмосферы.

В глубоководной части Черного моря активные процессы микробиологического метанового окисления имеют место в промежуточной кислородной — бескислородной зоне. Мигрирующий из анаэробной водной толщи метан почти полностью потребляется микроорганизмами, что служит естественным биофильтром на границе между окисленными и восстановительными водами. На разрезе содержания метана в аэробной зоне отмечается максимум на глубинах 20–40 м. С помощью радиоизотопного метода авторы показали метанообразование на глубинах наивысшей концентрации метана. Это подтверждает тот факт, что метанообразование в анаэробных микронишах (суспензия крупных частиц, гранулы и перерабатывающий тракт зоопланктона) ведет к формированию слоев с относительно высокой концентрацией метана в аэробной водной толще.

Количественная оценка биогеохимического метанового цикла в глубоководной анаэробной зоне Черного моря была приведена в докладе сотрудников Института микробиологии РАН **М. Иванова, Н. Пименова** и Института океанологии РАН **А. Леина**. На базе опубликованных данных и результатов собственных исследований авторы рассчитали содержание растворенного метана в анаэробной водной толще Черного моря, что составило $45 \cdot 10^{11}$ моль. Краткосрочными экспериментами с бикарбонатом ^{14}C и ацетатом ^{14}C было показано, что суммарный объем микробиологического метана, генерируемого в водную толщу, составляет $62{,}9 \cdot 10^{10}$ моль/год. Продуктивность метана верхними слоями (40 см) донных осадков составляет менее $27{,}7 \cdot 10^{7}$ моль/год, из которых $24{,}9 \cdot 10^{7}$ моль/год потребляется анаэробными метанотрофическими бактериями. Изучение разрезов распределения метана в водной толще и верхних слоях донных осадков показало, что метановые потоки из донных осадков в водную толщу встречаются только в верхних слоях континентального склона. На большинстве абиссальных станций метан поступает из водной толщи в донные осадки с последующим формированием кристаллических метановых гидратов.

Проведенный авторами эксперимент с $^{14}CH_4$ показал, что общее значение анаэробного окисления метана в водной толще Черного моря достигает $77{,}7 \cdot 10^{10}$ моль/год. Дисбаланс между процессами производства метана и его окисления ($14{,}8 \cdot 10^{10}$ моль/год) покрывается метаном, поступающим из холодных сипов и грязевых вулканов. На основании изотопных исследований авторы пришли к выводу о том, что если метан холодных сипов обязан микробиологическому генезису, то метан из грязевых вулканов имеет смешанную природу (термогенную и биогенную) образования.

Вопросы эмиссии метана из высокоинтенсивных газовых сипов в атмосферу на примере изучения площадей палеодельты Днепра и впадины Сорокина были рассмотрены в сообщении сотрудников Института морских исследований (IFM GEOMAR) г. Киль (Германия) **O. Schmale, J. Greinert, G. Rehder**. Во время экспедиции на НИС "Профессор Водяницкий" в 2003 году постоянно измерялась концентрация метана в приповерхностном слое воды и надводном воздухе с помощью полностью автоматизированной

хромотографической системы. В результате было подтверждено, что только мелководные сипы (глубина моря менее 100 метров) влияют на концентрацию метана в приповерхностном слое воды и создают возможность его локальной эмиссии в атмосферу. Расчеты метановых потоков на границе вода — воздух показали, что эмиссия метана на площади развития газовых сипов в 3 раза выше, чем рассчитанная для окружающего шельфа и в 5 раз больше для остальной части Черного моря с глубинами, превышающими 200 м.

Как известно, исследование внутреннего строения и структуры морских газогидратов, также как и их распределение в верхнем придонном слое донных отложений было ограничено ввиду быстрого разложения газогидратов при их отборе и доставке на борт. Техническое решение этой задачи было предложено в докладе проф. Г. Бормана из Исследовательского центра океанических окраин Бременского университета (**G. Bohrmann, F. Abegg, H-J Hohnberg, K. Heeschen** "Автоклавный отбор образцов газогидратосодержащей среды"). Исследования in situ стали возможными благодаря разработке в рамках проекта "OMEGA" нового мультиавтоклавного керноотборника (MultiAutoclaveCore — MAC), позволяющего одновременно получать со дна четыре колонки образцов верхнего слоя донных осадков. Все четыре колонки помещаются в бароконтейнеры, совместимые с технологией получения компьютерного томографического изображения. Второй динамический автоклавный поршневой пробоотборник (Dynamic Autoclave Piston Core — DAPC), разработанный в рамках проекта "METRO" может отбирать колонку донных отложений длиной до 2-х метров.

Эти системы были апробированы в 2002–2003 годах на хорошо известных газогидратсодержащих донных отложениях Гидратного хребта Каскадийской континентальной окраины и в Мексиканском заливе. Несмотря на незначительное расстояние между пробоотборниками MAC (0,8 м), обе поднятые колонки показали существенную дифференциацию по содержанию газогидратов в интервале глубины отобранного горизонта 0,28–0,32 м, варьирующую от 5% до 48%. Это свидетельствует о значительной вариабильности содержания газогидратов в приповерхностном слое донных отложений. Внутри этого горизонта установлено 2,4% свободного газа в виде объемных включений с максимальным диаметром $1{,}8 \cdot 10^{-2}$ м. Интегральное содержание газогидратов в указанном горизонте составляет 19%, а свободного газа — 0,8% от всего объема. Принимая упрощенную схему расчетов, авторы оценили объемное содержание метана в газогидратах исследованного горизонта величиной $9{,}15 \cdot 10^{-3}$ м^3, а свободного газа — $1{,}49 \cdot 10^{-4}$ м^3. Такое сосуществование свободного газа и газогидратов задокументировано впервые.

Результаты экспериментальных работ в районе Грин-каньона (север Мексиканского залива) с динамическим автоклавным поршневым пробоотборником (DAPC) были приведены в докладе расширенного состава тех же авторов (**K. Heeschen, F. Abegg, H-J Hohnberg, M. Drews, G. Bohrmann, K. Wallmann** "Преобразование и распределение углеводородов в газогидратосодержащих осадках in situ"). В отобранных с помощью DAPC колонках донных осадков полные объемы газа, содержащегося под

давлением, колебались от 300 до 65 000 мл. Это эквивалентно рассчитанной концентрации метана, достигающей 420 ммоль/кг поровой воды, что на порядок превышает величины, измеренные с помощью обычных гравитационных трубок в этом же районе. В газе, отобранном из трубок под давлением, концентрация метана лишь немного превышает равновесную. Это указывает на появление свободного газа в зоне стабильности газогидратов, что было подтверждено результатами компьютерной томографии, приведенными в предыдущем докладе.

На основании анализов поровых вод авторы пришли к выводу, что очень быстрое увеличение солености с глубиной обусловливает адвекцию рассола и тем самым приводит к торможению процесса газогидратообразования лишь на глубине нескольких сантиметров. Тем не менее, авторы доклада убеждены, что концентрация метана и соленость должны приниматься во внимание при расчетах газогидратного баланса в районах адвекции соленых растворов.

Большая часть докладов была посвящена результатам научных экспедиций в Черном море по различным международным проектам. Так, материалы изучения метана относительно структур и биогеохимических процессов в двух экспедициях в северо-западную часть Черного моря, проведенных в рамках международных проектов GHOSTDABS, BEBOR и METRO в 2001 и 2004 годах на российском НИС "Профессор Логачев" и германском НИС "Посейдон", были освещены в докладе сотрудников Гамбургского университета R. Seifert, M. Blumenberg, W. Michaelis.

Предварительные результаты рейса НИС "Посейдон" в северо-западную часть Черного моря (сентябрь 2004 г.) были представлены в докладе **S. Kasten** (Институт полярных и морских исследований им. Альфреда Вегенера, Бремерхафен, Германия), **M. Blumenberg, T. Pape R. Seifert** (Институт биохимии и морской химии Гамбургского университета, Германия). В отобранных колонках донных отложений, как правило, на глубине между 1 и 2 м ниже дна в поровых водах отмечены сульфат-метановые переходы (СМП). Вблизи зоны СМП проходят процессы анаэробного окисления метана (АМО), мигрирующего вверх из более глубоких осадочных отложений навстречу диффузионному потоку сульфата, что приводит к образованию бикарбоната и водородного сульфида. Последний, генерируемый этим процессом диффундирует вверх в водную толщу и также очерчивает низ фронта сульфидизации, где вступает в реакцию с окислами железа и Fe^{2+}, берущих свое начало в глубокозалегающих лимнических осадках. Современная глубина положения этого H_2S/Fe^{2+}-перехода совпадает со специфическими черными слоями, содержащими аутигенные сульфиды железа. Эти осадки — типичные разности глубоких лимнических отложений Черного моря [9]. В отличие от многочисленных холодных сипов и грязевых вулканов Черного моря, эти слои, характеризующиеся диффузионными процессами и СМП на небольшой глубине, представляют собой эффективную биохимическую границу для предотвращения выхода метана из обогащенных CH_4 глубинных залежей в воды Черного моря.

В докладе **Е. Козловой, М. Иванова** (МГУ), **F. Baudin, C. Largeau** (Отделение осадочной геологии, Парижский университет, Франция) приведены результаты исследования 150 образцов твердых выбросов грязевых вулканов Черного моря различными органическими и геохимическими методами. Относительно низкое максимальное значение углеводородной продуктивности всех исследованных образцов (<438 °С при среднем значении около 423 °С) указывает на то, что органический материал (ОМ) не был подвержен сильному термальному воздействию. Последнее может свидетельствовать о том, что ОМ изученных пород может продуцировать главным образом газ (верхняя зона газового окна).

Результаты исследований континентальных окраин Грузии и Турции, полученные в рейсе НИС "Посейдон" (октябрь — ноябрь, 2004 г.) по проекту METRO были приведены в докладах **H. Sahling, I. Klaucke, V. Blinova, D. Burk, G. Cifci, D. Dondurur, N. Lursmanashvili, S. Okay, J. Renken, T. Schott, W. Weinrebe, V. Ivanov, G. Bohrmann.**

Главной задачей этого рейса было исследование и картирование многообразий фаций и отложений, имеющих отношение к близповерхностным газогидратам и газовым сипам на двух основных площадях: "Батуми" у побережья Грузии и "Козлу" — Турции.

Исследованная площадь "Батуми" расположена в пределах Рионского бассейна. С помощью локатора бокового обзора в четвертичных отложениях были визуально зафиксированы газовые плюмы на южных склонах Батумского каньона и на гребне хребта, ограничивающего Батумский каньон с севера. Обработанные материалы по этим участкам показали несколько широких площадей активного флюидовыделения и высокоинтенсивного обратного рассеивания, самая большая из которых названа Батумским факелом. Флюидные выделения, по всей видимости, приурочены к трещинам, которые в свою очередь являются результатом поступления флюидов. Опробование Батумского факела показало, что высокоинтенсивное обратное рассеивание в его центре коррелируется с наличием здесь карбонатных корок и донных газогидратов, в то время как окружающие промежуточные площади обратного рассеивания коррелируются с газогидратами в мелкозернистых донных отложениях. Анализ колонки керна, отобранного в стороне от факела, не выявил каких-либо признаков присутствия газогидратов или дегазации, однако показал подобный стратиграфический разрез залегающих над серыми глинами оливковых морских глин, перемежающихся с обеленными сапропелевыми слоями. Такой же разрез наблюдается и в колонках, отобранных непосредственно в месте расположения факела, хотя эти колонки сильно разрушены дегазацией и разложением газогидратов. Таким образом, транспортировка материала и грязевой вулканизм, как механизм формирования Батумского факела, здесь может быть исключен из рассмотрения.

Площадь "Козлу", расположенная в южной части западночерноморского бассейна (регион Северных Понтид) в так называемой Стамбульской зоне, содержит многочисленные потенциальные углеводородные аномалии. Материалы многоканальных сейсмических исследований, любез-

но предоставленные авторам Турецкой нефтяной компанией, указывают на газовые скопления, которые были вскрыты при помощи BSR. Ультравысокоразрешающий профилограф, прикрепленный к локатору бокового обзора, показал, что газовые фронты под дном наблюдаются почти на всей исследованной площади, в большинстве случаев на глубине 10–25 м ниже дна моря. Как следует из результатов бокового сканирования, только в десяти местах газовый фронт достигает дна. Над пятью из этих мест газовые факелы были зарегистрированы в виде аномалий обратного рассеивания. Сипы располагаются на трех различных площадях при глубине моря 1050–1800 м. Присутствие газа и, возможно, рассеянных газогидратов было подтверждено образцами донных осадков, отобранных с помощью ударной гравитационной трубки.

В рейсе были получены геохимические характеристики метана и газогидратов на площадях распространения газовых сипов у берегов Грузии и Турции. Оба исследованных участка характеризуются активным газовыделением дна (газовые факелы и присутствие газогидратов). Предварительные результаты анализов углеводородов указывают на активную миграцию флюидов из глубинных источников. В верхней части осадочного разреза были установлены процессы генерации и анаэробного окисления метана.

В качестве примера международного междисциплинарного научного сотрудничества следует привести два доклада по материалам экспедиционных исследований УЭИ II (2001 год) коллектива авторов — участников рейса. Доклад **A. Mazzini** (Университет г. Осло, Норвегия, Университет г. Абердена, Шотландия), **М. Иванова** (МГУ), **J. Parnell** (Университет г. Абердена, Шотландия), **А. Стадницкой** (МГУ, Королевский институт исследований моря, Голландия), **B.T. Cronin** (Университет г. Абердена, Шотландия), **Е. Полудеткиной** (МГУ), **Л. Мазуренко** (Всероссийский исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов, Санкт-Петербург) и **T.C.E. van Weering** (Королевский институт исследований моря, Нидерланды) посвящен результатам мультидисциплинарного петрографического и геохимического изучения широкого спектра аутигенных карбонатных отложений, поднятых со дна моря и приповерхностного слоя осадков. Структурные и петрографические исследования позволили авторам выделить пять различных типов аутигенных карбонатов. Приведены результаты исследования интегрального биомаркера и 16S rRNA как подтверждение решающей роли процессов АОМ в формировании аутигенных карбонатов в окружающих метановые сипы отложениях.

Главным объектом междисциплинарного проекта MARGASCH (Морские газогидраты Черного моря) является изучение распределения, структуры и строения газогидратных отложений Черного моря, равно как и их взаимоотношений с путями миграции флюидов. Результаты этих исследований были представлены на семинаре в двух докладах сотрудников Института морских наук университета г. Киль, Германия (**A. Krabbenhoeft, J. Bialas, M. Zillmer, E.R. Flueh, J. Petersen, P. Thierer, G. von Gronefeld**), а также в сообщениях **S. Krastel, M. Wagner-Friedrichs, V. Spiess, G. Bohrmann** (Бременский университет, Германия), **Л. Мейснера** (Южный научный центр

"Южморгеология", Геленджик, Россия), **М. Иванова** и **Г. Шашкина** (МГУ). Основное внимание в этих исследованиях было сконцентрировано на двух площадях: центральной части Черного моря и впадине Сорокина.

Грязевые вулканы центральной части Черного моря, характеризующиеся глубинными корнями и вариабильной морфологией, развивались в условиях растяжения в комбинации с большой мощностью осадков. Грязевой вулкан Московский университет — усеченный конус с кратером, имеющим хорошо выраженную кромку, тогда как вулкан Южморгеология конусоподобный, с почти круглым основанием. Эти грязевые вулканы формировались длительными периодами активности как результат последовательных массивных грязевых потоков, вытекающих из центра извержения через кромку кратера. Амплитудные аномалии подводящего канала могут быть обусловлены обильными грязевыми потоками указанных периодов или могут быть вызваны латеральной миграцией свободного газа в осадочные отложения.

Как известно, впадина Сорокина представляет собой структурную депрессию размером 150 на 50 км, расположенную вдоль юго-восточной окраины Крымского полуострова с глубинами моря 800–2000 м. Тектонический режим сжатия ведет к росту диапировых структур и облегчает миграцию флюидов и газов к поверхности морского дна, что выразилось в формировании большого числа грязевых вулканов над диапирами (или на их краях) либо диапировыми хребтами преимущественно восточного — северо-восточного простирания. Питающие каналы, выделяющиеся на сейсмических записях как прозрачные зоны, берут свое начало из грязевых диапиров. Грязевые вулканы во впадине Сорокина сконцентрированы на трех площадях.

Восточная площадь характеризуется мощными флюидонасыщенными отложениями Донско-Кубанского конуса выноса. В этом районе развиты относительно небольшие, конусоподобные грязевые вулканы с 2-мя или 3-мя раздельными конусами. В центральной части наблюдаются большие одиночные конусоподобные грязевые вулканы, из них самый большой во впадине Сорокина — вулкан Казакова. Западная часть включает множество разрушенных небольших конусообразных грязевых вулканов, таких как плосковершинный грязевой вулкан Двуреченского (ГВД).

Газогидратность и высокая метановая концентрация донных осадков в пределах ГВД явились основанием для постановки здесь детальных экспериментальных сейсмических исследований (**M. Zillmer, J. Bialas, E.R. Flueh, L. Planert, G. von Gronefeld, A. Krabbenhoeft, C Middag, L. Naudts,** Институт морских наук, Киль, Германия) с 12-ю донными сейсмическими станциями и пневмоисточником упругих колебаний с частотой около 100 Гц. С помощью миграционного метода Кирхгофа временные сейсмические разрезы были трансформированы в изображение размером 4 км по латерали и 600 м по глубине. На нем хорошо просматривается подводящий канал ГВД и близлежащие осадочные слои. Диаметр ГВД составляет 800–1000 м, а его подводящий канал до глубины 600 м сохраняет форму и размер основания конуса. Несколько горизонтальных осадочных слоев прорываются подво-

дящим каналом, а устойчивые отражающие границы прослеживаются до глубины 400 м. Нижняя чашеподобная отражающая граница интерпретируется как разрушенная часть прорванных осадочных пород, которые погрузились в более легкий материал подводящего канала.

В западной части впадины Сорокина широко распространены яркие точки — индикаторы свободного газа, которые в основном обнаруживаются примерно на глубине залегания основания зоны стабильности газогидратов (ЗСГ).

В рамках проекта MARGASCH на НИС "Метеор" в 2001–2002 годах были выполнены исследования с помощью высокоразрешающей многоканальной сейсмической аппаратуры на отдельных локальных площадях впадины Сорокина. В результате получена общая структурная характеристика осадочного бассейна с мощными ненарушенными слоями, осложненными многочисленными диапировыми складками. Разломы, особенно в южном крыле диапирового хребта, где расположены разрушенные грязевые вулканы (вулкан Севастополь), рассматриваются авторами как потенциальные пути миграции газа и флюидов. Грязевой вулкан Севастополь снабжался газо-флюидной массой, мигрирующей вдоль глубокого разлома южного крыла центрального диапира. Яркие точки обнаруживаются или внутри антиклинальных структур на вершинах диапиров, или по восстанию выклинивающихся слоев диапиров на относительно постоянной глубине ~300 ms TWT ниже дна моря. Эти интенсивные аномалии, по мнению авторов, обусловлены свободным газом в нижележащих осадках. Газ и флюиды преимущественно мигрируют к вершине диапира, где они аккумулируются. Авторы также считают, что яркие точки представляют основание зоны стабильности газогидратов и что вышележащие газогидраты выступают в качестве ловушки.

Несмотря на отбор приповерхностных газогидратов, сейсмические границы, маркирующие основание газогидратной залежи типа BSR, во впадине Сорокина обнаружить не удалось. Принимая во внимание примерно постоянную глубину фиксации ярких точек по всей западной части впадины Сорокина, авторы высказали предположение, что именно яркие точки представляют основание зоны стабильности газогидратов, а их вариации с глубиной могут быть объяснены изменением мощности флюидного потока.

В докладе **A. Krabbenhoeft, J. Bialas, M. Zillmer, E.R. Flueh, J. Petersen, P. Thierer, G. von Gronefeld** (Институт морских наук, Киль, Германия) утверждается, что сейсмическая граница BSR в Черном море была ими впервые зафиксирована в его северо-западной части, вблизи Днепровского каньона на запад от Крымского полуострова (44–45° с.ш. и 31,5–32,5° в.д.). Более подробную информацию об этих исследованиях можно почерпнуть из публикации [9].

Информация об обнаружении сейсмической границы BSR в глубоководной части конуса выноса реки Дунай и геотермических наблюдениях в северо-западной части Черного моря в рамках выполнения работ по проекту ASSEMBLAGE содержалась в докладе **G. Lercolais, J.P. Foucher, H. Nouze, I. Popescu, A. Vassilev, L. Dimitrov, G. Ion.**

Характеристика тепловых потоков в палеодельте Днепра и впадине Сорокина была приведена в докладе **J. Poort, R. Kutas, A. Vassilev, J. Klerkx.**

По отношению к фоновому значению теплового потока Черного моря (30–35 мВт/м^2), площадь палеорусла Днепра характеризуется устойчивой мелкомасштабной вариабильностью. Если небольшие изменения могут быть объяснены влиянием рельефа, то увеличение теплового потока до 40–54 мВт/м^2, по-видимому, обусловлены активными тектоническими структурами и сипами. В других сипах низкие значения теплового потока (19–27 мВт/м^2) авторы связывают с наблюдаемой Z-образной кривой вертикального градиента температур. Последнее интерпретируется как результат наличия неглубокозалегающих газонасыщенных слоев и отсутствия теплых флюидов.

Во впадине Сорокина аномально высокие значения теплового потока (150–13000 мВт/м^2) были зафиксированы в пределах грязевых вулканов Двуреченского и Водяницкого. В стороне от вулканов тепловой поток быстро уменьшается до фоновых значений.

Предварительные карты катагенических стадий кайнозойских отложений Черного моря, выполненные с использованием структурных карт основания и кровли майкопских отложений, а также кровли среднего миоцена, были представлены в докладе сотрудника Южного научного центра "Южморгеология" (Геленджик, Россия) **Л. Мейснера**.

Акустическая структура и современные процессы перемещения осадков на континентальном склоне Турции (восточная часть Черного моря) были рассмотрены в докладе сотрудников Измирского университета **D. Dondurur** и **G. Cifci.**

Данные и результаты, полученные в рамках выполнения международного проекта CRIMEA (Вклад высокоинтенсивных газовых сипов Черного моря в эмиссию метана в атмосферу), объединены в банк данных, представляющий собой развивающуюся геоинформационную систему, публикуемую в Интернете (www.crimea-info.org). Эта информация прозвучала в докладе **J. Klerkx, С. Колобовой** (Международное бюро по изучению окружающей среды, Брюссель, Бельгия), **Л. Димитрова** (Институт океанологии, Варна, Болгария), **Н. Добрецова, Р. Юсупова, И. Болдырева** (Новосибирский региональный центр ГИС-технологий, Россия) и **M. De Batist** (Центр морской геологии, Гент, Бельгия). Главной целью создаваемого банка данных является распространение всей информации и результатов проекта среди международной аудитории, а также предоставление возможности всем участникам проекта и другим заинтересованным ученым легко обобщать данные на региональном уровне и в различных областях науки.

Детальный обзор современной деятельности в рамках государственной программы Германии GEOTECHNOLOGIEN был предложен в докладе представителя Координационного офиса программы L. Stroink. GEOTECHNOLOGIEN — мультидисциплинарная программа, работы по которой начаты в 2000 году и финансируются Федеральным министерством образования и исследований и Германским Исследовательским Советом. Программа, включающая в себя 13 тематик приоритетных направлений, имеющих большое научное, социальное и экономическое значение, запланирована сроком на 10 лет. Исследования главным образом сфокусированы на прикладных и междисциплинарных темах, таких как "Наблюдения

Земли из космоса", "Разработка заблаговременных предупреждающих систем", "Оценка и обоснование подземной утилизации" или "Газогидраты в гео-биосистемах". В рамках программы уже сейчас финансируется семь тем, включающих более 120 исследовательских проектов. Весной 2005 года начаты работы еще по 10 исследовательским договорам между академией и промышленностью, касающихся экологических и экономических перспектив подземного захоронения парникового газа CO_2. Программа GEOTECHNOLOGIEN предлагает широкое поле для совместных проектов науки и промышленности.

1. Поликарпов Г.Г., Егоров В.Н., Нежданов А.И., Гулин С.Б., Килев Ю.Д., Гулин М.Б. Явления активного газовыделения из поднятий на свале глубин Западной части Черного моря // Доклады НАН Украины.— 1989.— № 12.— С. 13–16.

2. Егоров В.Н., Поликарпов Г.Г., Гулин С.Б., Артемов Ю.Г., Стокозов Н.А., Костова С.К. Современные взгляды на среду формирования и экологическую роль метановых газовых сипов Черного моря // Морской экологический журнал.— 2003— № 2(3).— С. 5–26.

3. Шнюков Е.Ф., Леин А.Ю., Егоров В.Н., Клещенко С.А., Гулин С.Б., Артемов Ю.Г., Арсланов Н.А., Кутний В.А., Логвина Е.А. Обнаружение в Черном море глубоководных биогенных построек // Доклады НАН Украины.— 2004.— № 1.— С. 118–123.

4. Коболев В.П. Геодинамическая модель Черноморской мегавпадины // Геофизический журнал.— 2003.— № 2.— С.15–35.

5. Шнюков Е.Ф., Старостенко В.И., Гожик П.Ф. 57-й рейс НИС "Профессор Водяницкий" // Геологический журнал.— 2003.— № 1.— С. 7–8.

6. Мамедов Л.З., Гулиев И.С. Субвертикальные геологические тела в осадочном чехле Южно-Каспийской впадины / Азярбайъан милли елмляр Академииасынын Хябарляри, иер елмляри, 2003.— № 3.— С. 139–146.

7. International Workshop on Methane in sediments and water column of the Black Sea: Formation, transport pathways and the role within the carbon cycle.— Sevastopol, May 17.— 22, 2005.— 59 p.

8. Stadnitskaia A., Baas M, Ivanov M.K., Van Weering T.C.E., Sinning he Damste' J.S. Novel arheal macrocyclic diether core membrane lipids in a methane-derived carbonate crust from a mud volcano in the Sorokin Trough, NE Black Sea // Archaea.— 2003.— N 1.— P. 1–9.

9. Zimler M., Flueh E.R., Petersen J. Seismic investigation of a bottom simulating reflector and quantification of gas hydrate in the Black Sea // Geophys. J. Int., 2005.— 161.— P. 662–678.

Огляд доповідей міжнародного семінару з утворення шляхів переносу та ролі метану Чорного моря у вуглецевому циклі. Семінар був організований Інститутом біології південних морів НАН України, Центром морських геонаук Московського державного університету (Росія) та Центром досліджень океанічних окраїн Бременського університету (Німеччина).

Survey of reports of International Workshop on formation, transport pathways and the role of methane within the carbon cycle. The Workshop was organized with A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas, Sevastopol, Ukraine; Center for Marine Geosciences Moscow State University, Moscow, Russia; Research Center Ocean Margins, University of Bremen, Germany.