ГЛАВА 7

ИССЛЕДОВАНИЯ КИСЛОРОДНОГО РЕЖИМА В ПРИДОННОМ СЛОЕ ВОД И РЕАКЦИИ ЗООБЕНТОСА НА УСЛОВИЯ ГИПОКСИИ/АНОКСИИ В ЗОНЕ КОНТАКТА ЧЕРНОМОРСКОГО ХЕМОКЛИНА С КОНТИНЕНТАЛЬНЫМ СКЛОНОМ

Стунжас П.А.[1], Гулин М.Б.[2],
Иванова Е. А.[2], Подымов О.И.[1]

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью исследований на данном этапе была оценка современного состояния донных зооценозов в пределах малоизученного высокопродуктивного слоя черноморского редокс-хемоклина по количественным показателям пространственного распределения бентосных организмов и ключевых природных абиотических факторов среды.

Исследованиями решались следующие задачи:

- изучение закономерностей батиметрического распределения черноморского зообентоса в субоксидной зоне у побережья Северного Кавказа (Геленджик);
- анализ таксономического состава бентосной фауны субоксидной зоны Черного моря, обитающей в границах черноморского редокс-хемоклина.

Исследования проводились в субоксидной и сероводородной зонах Черного моря на акватории гидрофизического полигона РАН, непосредственно у места постановки зондирующего комплекса «Аквалог». Сроки проведения работ – 6 и 7 июля 2017 г.

[1] Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Россия, Москва
[2] Институт морских биологических исследований, Россия, Севастополь
E-mail: m_gulin@mail.ru

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИССЛЕДОВАНИЙ

Экспедиционные исследования выполнялись на экспедиционном судне МНИС «Ашамба» с использованием следующего научного оборудования:

1. CTD-зонд SBE 19 plus с кассетой батометров.
2. Герметично закрываемый трубчатый пробоотборник с акриловой грунтоотборной трубкой внутренним диаметром 5.35 см («Румолот»).
3. Высокоселективный LDO-оксиметр HQ40d (Hach, США).
4. Микроскоп МБИ-1 (ЛОМО, СПб, РФ) с объективом ×8.
5. Лабораторный оксиметр-оптод PreSens производства фирмы GmbH Германия.

При выполнении бентосной съемки использовался грунтоотборник (трубка) «Румолот» производства ИМБИ, снабженный прозрачной акриловой трубкой с толщиной стенок 3 мм, внутренним диаметром 53,5 мм и высотой 30 см. Колонка вставляется в носитель «Румолота» из железобетона весом 16 кг с крепежной арматурой. На верхнем торце трубки расположен клапан с заслонкой из пластика с резиновым кольцевым уплотнителем, который имеет слабую отрицательную плавучесть. Заслонка лишена возвратной запорной пружины и закрывается при подъеме прибора под собственным весом в сочетании с напором встречного потока воды. Нижний конец трубки заострен по окружности и не содержит закупоривающего механизма, при подъеме трубки на палубу он вручную закрывается резиновой пробкой. Данная конструкция позволяет отбирать пробы преимущественно илистых грунтов. Получаемые колонки грунта сохраняют, как правило, ненарушенное строение с естественной слоистой текстурой осадка.

Непосредственно после доставки грунтозаборного устройства на палубу судна в колонке измерялась концентрация кислорода. Для анализа O_2 в осадках был апробирован оксиметр-оптод PreSens. В нем свет возбуждения и люминесцентного отклика передаются по тонкому световоду, так что его чувствительный элемент, представляющий тонкий кружок диаметром 4 мм, может клеиться на внутреннюю поверхность сосуда (трубки «Румолот»), и определение O_2 производится без открывания трубки.

Одновременно проводились гидрологические съемки зондом ЮО ИО РАН SBE 19 plus с кассетой батометров. Наличие растворенного кислорода в пробах придонной водной толщи проверяли в условиях, близких *in situ*. Для этого сразу после подъема СТД-зонда сенсор оксиметр-оптода LDO-HACH-HQ10d опускали в нижнюю часть батометра через его приоткрытую крышку.

Пробы осадков с содержащимися в нем зообентосными организмами из слоя грунта 0-5 см фиксировались 76% раствором этанола для последующего подсчета организмов и таксономической идентификации в лаборатории ИМБИ. Учет донной фауны проводили с помощью микроскопа МБИ-1 с объективом ×8 в проходящем свете.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В Черном море, в отличие от большинства других морских водоемов Мирового океана, присутствуют два биологически деятельных слоя – традиционный приповерхностный (фотический) и глубинный слой редокс-хемоклина. Первичная продукция органического вещества в хемоклине сопоставима и даже способна превышать таковую в верхнем слое фотосинтеза (Сорокин, 1982; Гулин М.Б., Гулин С.Б., 1992).

В результате проведенных в 2015 и 2017 гг. экспедиционных исследований на МНИС «Ашамба», в нижней части шельфа и начале континентального склона в районе Геленджика, рядом с местом постановки автономного зонда «Аквалог», обнаружено скопление донных организмов средней размерной (мейобентосной) фракции, преимущественно Protozoa. Максимум численности бентосных поселений в хемоклине на траверзе Геленджика зарегистрирован на изобате 238-244 м (284 и 892 экз./100 см^2, соответственно). Данное скопление донной фауны охватывает по вертикали слой не менее 45 м. При этом в горизонтальной проекции, с учетом относительно малых углов наклона дна, он, несомненно, является гораздо более протяженным.

Результаты хорошо согласуются с данными более ранних исследований в западной части Черного моря (Sergeeva, Gulin, 2007; Гулин, 2013).

Сотрудниками ИО РАН произведен статистический анализ результатов двухлетнего непрерывного (с интервалом каждые 4 часа) мониторинга вертикальной стратификации водной толщи вблизи шельфово-склоновой зоны, выполнявшимся автономным зондом «Аквалог» вплоть до придонного слоя на глубине 265 м. Оказалось, что вертикальные колебания глубины изопикны 16.2, обычно соответствующей местоположению верхней границы сероводородной зоны черноморской пелагиали, могут происходить в интервале глубин 125-215 м с преобладающим залеганием вблизи изобаты 167-168 м (рис. 7.1). Несимметричность гистограммы на данном рисунке может свидетельствовать также, что верхняя граница H_2S-зоны должна чаще обнаруживаться ниже изобаты ~ 170 м, чем в вышележащих горизонтах (Зацепин и др., 2014).

Аналогичный вид имеют колебания нижней границы распределения кислорода, находящейся обычно в районе изопикн 15.85-15.9, которые в районе склона располагаются на 30-40 м выше изопикны 16.2.

Установленные закономерности пространственно-временной динамики редокс-зоны (хемоклина) в месте его контакта со склоном дна указывают, что обнаруженный нами глубинный максимум численности зообентоса залегает в перманентно сероводородной зоне Черного моря (рис. 7.2). На глубине 215 м обнаружены только одноклеточные организмы – инфузории, тогда как в зоне глубинного максимума численности зообентоса (гл. 238 м) мейобентосное сообщество значительно разнообразнее. Следует отметить, прежде всего, присутствие здесь многоклеточных гидробионтов (круглые черви, ракообразные). Также многочисленны и одноклеточные организмы, в т.ч. инфузории.

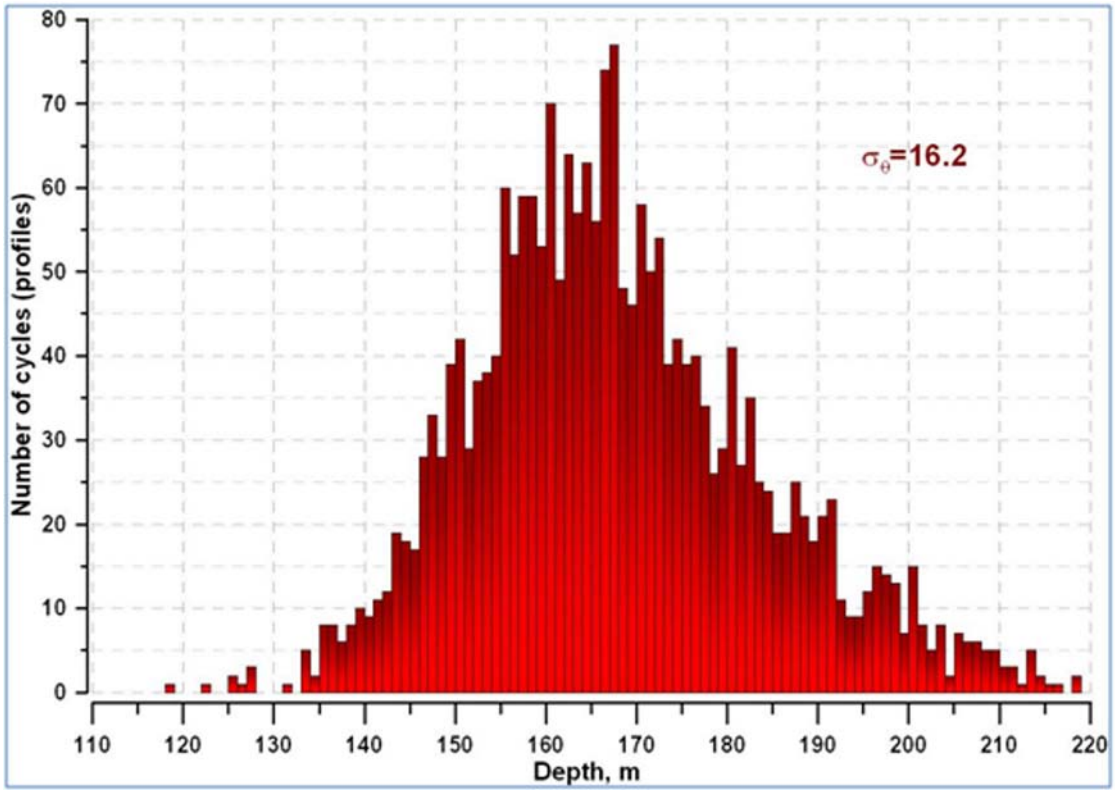

РИС. 7.1.

Диапазон глубин предполагаемого местонахождения верхней границы H_2S у склона дна северо-восточной части Черного моря, определяемый по глубине залегания изопикны 16.2

Вместе с тем остается открытым вопрос об обеспеченности кислородом или, возможно, альтернативными акцепторами электронов для дыхания этого глубоководного скопления эукариотных организмов – как одноклеточных, так и Metazoa. Этот природный феномен является новым для науки и требует специальных дополнительных исследований, которые начались в 2017 г. и планируется проводить и в 2018 г.

Во время съемки 2017 г. CTD-зонд SBE 19 plus был дополнен оксиметром-оптодом производства ЦАГИ (г. Жуковский) (Стунжас и др., 2013). Над склоном с глубинами 110-300 м нижний горизонт проникновения растворенного кислорода фиксировался на глубине 115-120 м. В то же время верхняя граница зоны H_2S (изопикны 16.2) была на глубине 136-140 м. Известно, что на склоне заглубление изопикн происходит при развитом Основном черноморском течении, а их подъем соответственно при его ослаблении, что характерно для летних месяцев.

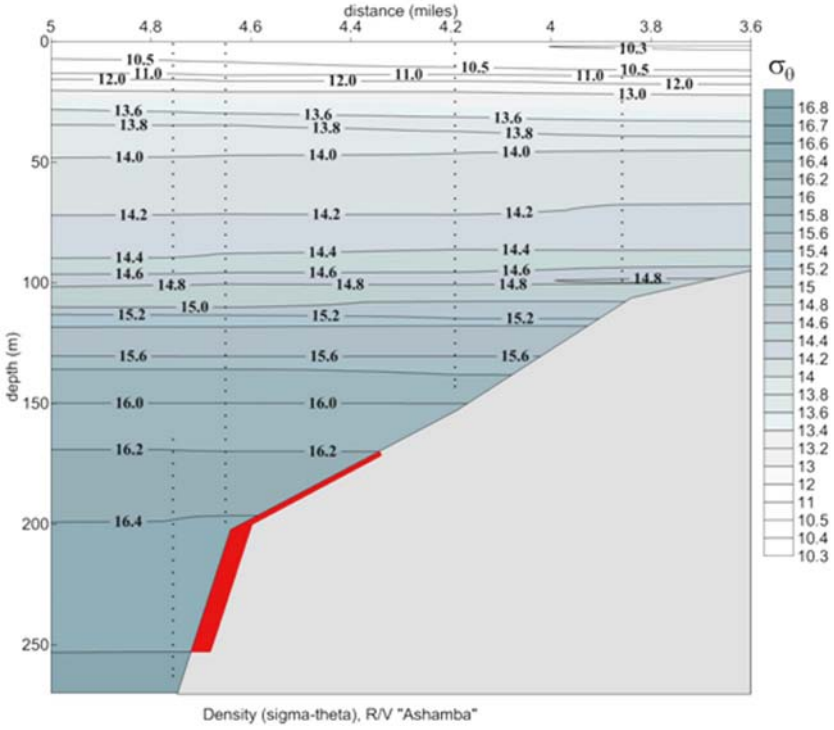

РИС. 7.2.

Местоположение глубинного скопления зообентоса на кромке шельфа, в верхнем слое сероводородной зоны (выделено красным). Глубина наибольшей численности организмов – 244 м

Для анализа O_2 в осадках был апробирован оксиметр-оптод «PreSens». В первую очередь была проверена пригодность оптода для целей работ. Калибровка проводилась в сосуде с аргоном чистоты 99.98%. Она показала, что при нулевом содержании O_2 прибор с рабочим спотом 3 показывает величины 25±15 мкг/л O_2. Таким образом, минимально измеряемая концентрация O_2 составляет 15 мкг/л, и реальный динамический диапазон прибора составляет примерно 600 против значения 200, указанного в паспорте. Для сравнения чувствительность метода Винклера (при рутинных измерениях, т.е. без специальной аппаратуры) составляет 3 мкМ, что примерно равно 100 мкг/л, это делает оптод привлекательным для настоящих работ, тем более что измерения можно проводить без открывания сосуда.

В нашем случае спот был наклеен на высоте 19 см от нижнего края трубки «Румолот». В 2017 г. удалось взять только 2 трубки с осадком с глубин 215 и 238 м. В первом случае спот оказался в осадке на глубине 2 см и показал (с учетом поправки) концентрацию O_2

25±15 мкг/л, во втором – на глубине 6 см 50±15 мкг/л. С одной стороны, такой результат подтверждает результаты бентосных измерений, причем в точке с более высокой концентрацией бентоса найдена более высокая концентрация O_2. Но чисто формально, первый результат (т.е. что O_2>0) недостоверен, второй – достоверен, но вызывает вопросы. Как показывают измерения O_2 в осадках Черного моря, кислород обычно наблюдают только в верхнем слое толщиной менее 1 см [Гулин, 2013], потому присутствие его на глубине 6 см, скорее всего, является артефактом из-за возможности загрязнения осадка кислородом при подъеме. Таким образом, по нашим измерениям нельзя однозначно утверждать, что обнаружено присутствие O_2 в указанных выше точках отбора проб осадка (Стунжас и др, 2018).

Учитывая результаты определения O_2, «Румолот» был усовершенствован. Его крышка была дополнена кругом диаметром 15 см, так что набегающий поток воды при спуске открывал клапан, а при подъеме – держал его плотно закрытым. В трубку поместили два спота на высоте 23 и 28 см, а также вместо резиновой пробки приготовили подвижный поршень, которым можно было передвигать осадок с водой так, чтобы споты могли анализировать содержание на разных расстояниях от осадка и внутри его. Заметим, что чувствительность спота 6 той же фирмы, который мы планируем закупить в будущем, примерно в 20 раз выше.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ К ГЛАВЕ 7

1. *Гулин М.Б.* Батиметрическое распределение живых активных форм зообентоса в хемоклине Черного моря // Морск. Экологич. журн. 2013. Т. 12. № 1. С. 5-17.
2. *Гулин М.Б., Гулин С.Б.* Бактериальный хемосинтез в сероводородной толще. / В кн.: Поликарпов Г.Г. Молисмология Черного моря. Киев.: Наукова думка, 1992. С. 10-28.
3. *Зацепин А.Г., Островский А.Г., Кременецкий В.В. и др.* Подспутниковый полигон для изучения гидрофизических процессов в шельфо-склоновой зоне Черного моря // Известия РАН. Физика, атмосфера и океан. 2014. № 1. С. 16-29.
4. *Сорокин Ю.И.* Черное море. М.: Наука, 1982. 241 с.
5. *Стунжас П.А., Мошаров В.Е., Радченко В.Н.* Возможности фотолюминесцентного метода измерения концентрации кислорода в сравнении с другими методами // Океанология. 2013. Т. 53. № 4. С. 507-516.
6. *Стунжас П.А., Гулин М.Б., Зацепин А.Г., Иванова Е.А.* О возможности присутствия кислорода в верхнем слое осадков сероводородной зоны Черного моря // Океанология. 2018. (в печати).
7. *Sergeeva N.G., Gulin M.B.* Meiobenthos from an active methane seepage area in the NW Black Sea // Marine Ecology an Evolutionary Perspective, Special topics volume 'Ecology and evolution of vent, seep and whalefall organisms'. 2007. V. 28. 1. P. 152-159.