ВЛИЯНИЕ РЕЛЬЕФА ДНА НА СТРУКТУРУ И ИЗМЕНЧИВОСТЬ БИОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ В РАЙОНЕ СЕВАСТОПОЛЯ

В.В. Мельников, Ю.Н. Токарев, В.И. Василенко, В.Ф. Жук, П.И. Довгаль, В.М. Савоськин***

Институт биологии южных морей
НАН Украины
г. Севастополь, пр. Нахимова, 2
E-mail: dr.melnikov.v@gmail.com
*Киевский национальный университет
г. Киев, ул. Владимирская, 64
** Морской гидрофизический институт
НАН Украины
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2

Результаты мониторинга звукорассеивающих слоёв (ЗРС) и биолюминесценции в 2009 – 2011 гг. в районе Севастополя показали, что изменчивость ЗРС и структуры биофизических полей связана с изменчивостью рельефа дна. Под влиянием внутренних волн и течений над подводными скалами формируются зоны повышенной биопродуктивности фитопланктона, проявляющиеся повышенной светимостью морской воды.

Введение. Несмотря на значительный интерес научного сообщества к оценке воздействия поднятий дна на процессы жизнедеятельности биоты, такие исследования носят эпизодический характер [1, 2]. Между тем, выполненные ранее в Атлантическом океане работы подобного рода показали значительную модификацию биолюминесценции и биологических характеристик в районах поднятий морского дна [3]. Однако в Черном море подобные исследования не проводились. Новые возможности при исследовании гидробиологических полей, появившиеся с появлением нового гидробиофизического комплекса «Сальпа-М» [4], позволили исследовать влияние ВВ и рельефа дна на изменчивость биологических и физических полей в районе прибрежной зоны Севастополя.

Методика. Комплекс «Сальпа-М» является мультипараметрическим прибором для исследования гидрологических и биофизических характеристик фотического слоя с высоким пространственно-временным разрешением. Данный биофизический комплекс позволяет измерять следующие параметры: интенсивность биолюминесценцентного излучения, фотосинтетическую активную радиацию, мутность, температуру, соленость и гидростатическое давление. В 2009 – 2011 гг. на внешнем рейде Севастополя (рис. 1) ежемесячно осуществлялись ночные буксировки с комплекса «Сальпа-М» между точкой расположенной в 10 км от берега (ст. 1) и входом в Севастопольскую бухту (ст. 2). Буксировки проводились на горизонте 4-6 м в направлении море – берег. Всего было выполнено 18 буксировок. Для оценки изменчивости положения сезонного термоклина выполнялись вертикальные зондирования комплексом «Сальпа-М» (в слоях 0 – 60 м и 0 – 12 м, на ст. 1 и 2, соответственно). Всего было выполнено 46 вертикальных зондирований. Эхограммы с параметрами буксировки (глубина, рельеф дна) были получены с помощью эхолота LOWRANCE LMS 522-IGPS на частоте 200 кГц. Визуализация данных эхолота-навигатора выполнена с использование программы SonarViewer.

Р и с. 1. Район исследования

Работы выполнялись в относительно спокойную погоду в ночное время, когда можно было наблюдать проявления ВВ на поверхности. Наличие ВВ в прибрежной зоне определялись следующими методами:

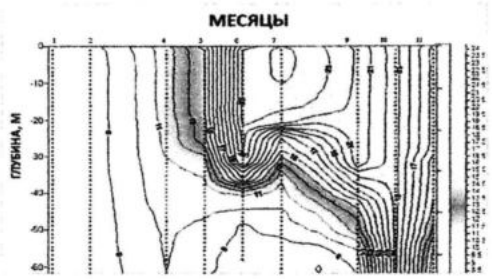
– *визуальным*, по проявлениям на поверхности серии чередующихся полос ряби и сликов [5, 6], расположенных вдоль береговой линии и наблюдаемых в штиль и в маловетреную погоду;

– *акустическим*, ВВ регистрировались, как чередующиеся изменения по-

ложения звукорассеивающих слоёв (ЗРС) регистрируемых эхолотом на частоте 200 кГц.

Из рассмотрения исключались ветровые проявления типа циркуляций Ленгмюра и одиночные слики, связанные со следами от прошедших судов.

Результаты. Анализ сезонных изменений температуры в 2009 – 2010 гг. в точке 1 (глубина 65 м) показал, что в тёплое время года на глубине 20 – 40 м формировался сезонный термоклин (рис. 2), который регистрировался также и с использованием высокочастотного эхолота (рис. 3).

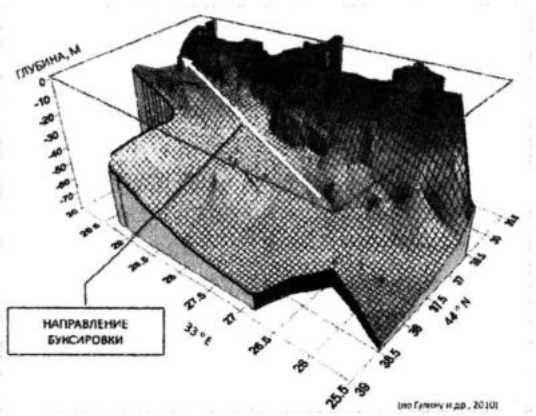


Р и с. 2. Формирование сезонного термоклина на ст. 1 в слое 0 – 40 м в 2009-2010 гг.

Р и с. 3. Изменения положения ЗРС на дистанции 10 км между ст. 1 и 2

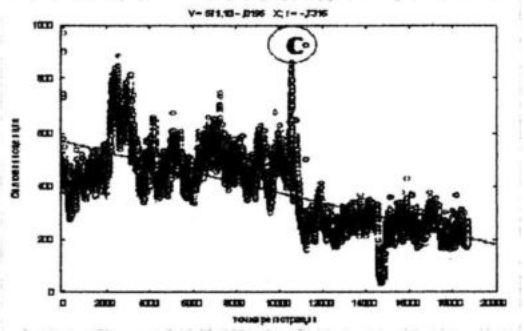
На ст. 1 практически на всех эхограммах в ночное время летом наблюдались периодические колебания вертикального положения ЗРС (в диапазоне 1 – 2 м), связанные с прохождением ВВ.

В районе подводных скал (середина дистанции буксировок) положение ЗРС существенно изменялось, очевидно, под влиянием процессов трансформации ВВ и прибрежных течений (рис. 3) . В этом месте на дне моря расположено палеорусло реки Чёрная [7]: серия параллельных подводных скал, вытянутых вдоль берега (рис. 4).



Р и с. 4. Направление буксировок зонда «Сальпа-М» в районе палеорусла р. Чёрная

Анализ летних буксировок зонда «Сальпа-М» показал, что характер изменчивости биолюминесценции преимущественно связан с изменчивостью рельефа дна (рис. 5).



Р и с. 5. Пример изменчивости интенсивности биолюминесценции в ходе буксировки зонда «Сальпа-М» в мае 2011 г. на дистанции 10 км (из открытого моря к берегу, ст. 1, 2)

Над гребнями этих скал проявления ВВ регистрировались на поверхности моря не только акустически, но и визуально. В сликах всегда наблюдались обрывки водорослей, пена и медузы (*Aurelia aurita*).

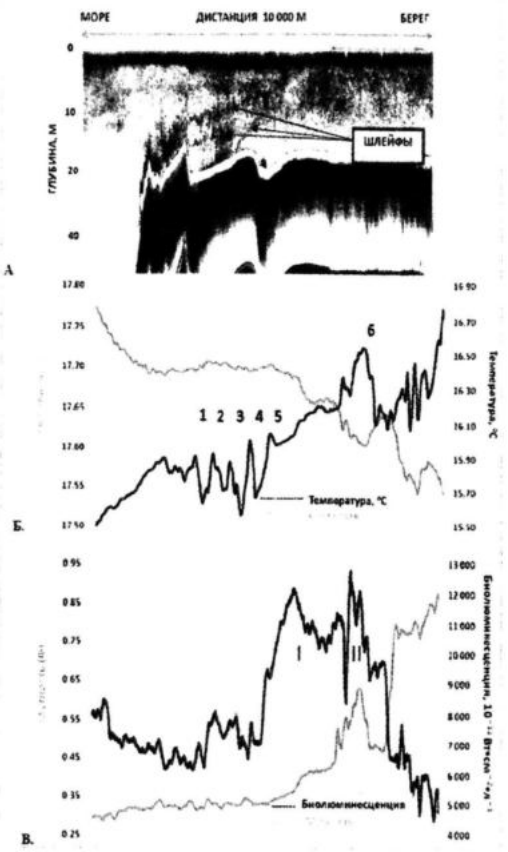
Линия регрессии биолюминесценции фитопланктона имеет чёткий отрицательный тренд, который, вероятно, связан с резким снижением ее интенсивности свечения над мелководьем. Средняя биолюминесценция до входа в Севастопольскую бухту составляла $488 \cdot 10^{-12}$ вт·см$^{-2}$·л$^{-1}$, тогда как в пределах Севастопольской бухты она $243 \cdot 10^{-12}$ вт·см$^{-2}$·л$^{-1}$. Достоверность этой разницы

подтверждается с высокой надежностью по критерию Стьюдента.

При прохождении зоны подводных скал (точка С), происходит резкий переход от уровня биолюминесценции вод открытого моря к существенно более низкому свечению в прибрежной зоне. В точке «С», где происходило резкое снижение биолюминесценции в летнее время, в спокойную погоду всегда наблюдались параллельные полосы сликов и ряби, расположенные вдоль линии берега. По характеру визуальных наблюдений и данным эхограмм можно предположить, что эти полосы являются проявлением зоны диссипации ВВ в районе подводных скал.

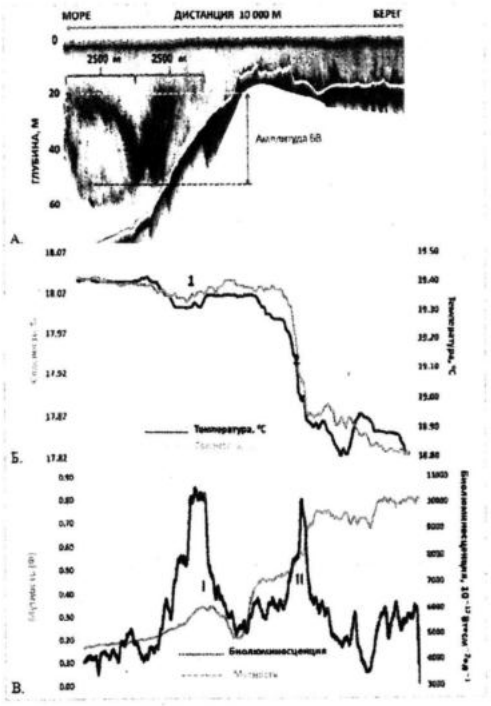
Буксировки «Сальпы-М» 24 октября 2009 г. показали, что в зоне подводных скал наблюдались существенные колебания вертикального положения ЗРС (рис. 6 А), и значительные колебания (пики *1-5*) температуры (рис. 6 Б). Максимумы температуры совпадали по положению с пиками мутности и поверхностными сликами (рис. 6 Б и В). Прибрежный пик температуры *6*, соответствующий резкому уменьшению солености, соответствовал фронтальной зоне, обусловленой с потоком распреснённых вод, генерируемых местными реками (рис. 6 В). В летнее время интенсивная биолюминесценция регистрировалась при появлении на поверхности отражённых ВВ *I*, что соответствовало пикам температуры, мутности воды и минимумам солёности морской воды *II* (рис. 6 В).

В зимнее время ВВ двигались в слое основного термоклина на глубинах 20 – 60 м (рис. 7 А) в сторону шельфа с глубинами до 20 м, где они меняли свою скорость и амплитуду. Зимой диссипация интенсивных ВВ начиналась за 2,5 км от подводных скал палеорусла реки Чёрная (рис. 7 А), что находило отражение в характере изменений глубин залегания ЗРС. Над зоной взаимодействия ВВ с дном *II* резко уменьшалась температура воды от 19,4 до 18,8 °С и её солёность от 18,02 до 17,83 ‰ (рис. 7 Б). При соприкосновении с дном ВВ существенно увеличивали мутность воды (рис. 7 В), что, должно иметь большое биологическое значение, поскольку этот процесс обеспечивает вертикальный транспорт биогенов в верхние слои, вызывая развитие светящегося фито-планктона (пики I и II, рис. 7 В).



Р и с. 6. Данные буксировки 16.10.2009 г. А) отражённые ВВ, зарегистрированные эхолотом; Б) температура и солёность воды; В) мутность воды и интенсивность биолюминесценции

Процессы в зоне контакта ВВ с дном могут быть представлены следующим образом (рис. 8): перед гребнем ВВ возникает область опускания вод, которая аккумулирует плавник, планктон и медуз в зоне слика. Медузы вполне способны противостоять этому потоку и в зоне их концентрации все они активно двигая куполами, поднимаются к поверхности. В результате образуются параллельные полосы сверхплотных скоплений медуз шириной 1-2 м. В этих же полосах собирается светящийся фитопланктон, пики биолюминесценции, которого, регистрировались зондом «Сальпа-М». Общее воздействие ВВ на подводные скалы *1* вызывает высокую турбулентность и мутность воды, что приводит к увеличению светимости воды *2*.



Р и с. 7. Данные буксировки 2.02.2010 г.
А) изменение вертикального положения ЗРС;
Б) температура и солёность воды;
В) мутность воды и интенсивности биолюминесценции

Р и с. 8. Схема процессов, происходящих в районе исследований

Выводы. Данное исследование показало, что:

1. динамика структуры и распределения полей биолюминесценции и ЗРС в районе Севастополя зависит от рельефа дна.

2. в районах подводных скал наблюдались пики светимости и мутности воды, смещения глубин залегания ЗРС, очевидно, связанные с действием ВВ;

3. на поверхности воды ВВ появлялись в виде чередующихся параллельных полос ряби и сликов, в которых регистрировались обрывки водорослей и плотные скопления медуз;

4. пики интенсивности биолюминесценции и мутности воды над прибрежными подводными скалами свидетельствуют о высокой биопродуктивности фитопланктона возникающей под воздействием ВВ и прибрежных течений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Lavelle J.V., Mohn C.* Motion, commotion and biophysical connections at deep ocean seamounts // Oceanography. Vol. 23, № 1. – 2010. – P. 90 – 103.
2. *Токарев Ю.Н.* Основы биофизической экологии гидробионтов. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2006. – 342 с.
3. *Tokarev Yu.N., Bityukov E.P.*, Williams R. Influence of seamounts at the Atlantic Ocean on modification of the bioluminescence and plankton characteristics // Морський екологічний журнал. – 2003. – Т2, № 1. – P. 46 – 58.
4. *Патент* 70081 U UA, МПК A61K 61/00 Способ оперативного комплексного исследования морских планктонных сообществ // Токарев Ю.Н. (UA), Мельников В.В. (UA), Василенко В.И. (UA), Жук В.Ф. (UA), Темных А.В.(UA); заявитель ИнБЮМ НАН Украины № u 2011 13570; заявл. 18.11.2011; опубл. 25.05.2012; Бюлл. № 10.
5. *Иванов В.А., Серебряный А.Н.* Проявление на поверхности внутренних волн малых амплитуд // Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана. – 1985. Т. 21, № 7. – С. 795 – 799.
6. *Козлов И.Е., Кудрявцев В.Н., Сандвен С.* Некоторые результаты исследования внутренних волн в Баренцевом море методами радиолокационного зондирования из космоса // Проблемы Арктики и Антарктики, 2010. № 3. – С. 60 – 68.
7. *Гулин М.Б., Коваленко М.В.* Палеорусла рек Черная и Бельбек на шельфе юго-западного Крыма – новый объект экологических исследований // Морской экол. журн. № 1. Т. IX. 2010. – С. 23 – 31.