

Региональные особенности интенсивности свечения гидробионтов и концентрации хлорофилла *a* в водах Черного моря

А.Б. Полонский^{1,2}, Е.Б. Мельникова¹, А.Н. Серебренников¹, Ю.Н. Токарев^{3*}

¹Институт природно-технических систем
299011, г. Севастополь, ул. Ленина, 28

²Филиал Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова в г. Севастополе
299001, г. Севастополь, ул. Героев Севастополя, 7

³Институт морских биологических исследований РАН
299011, г. Севастополь, пр. Нахимова, 2

Поступила в редакцию 5.02.2018 г.

Проанализирована изменчивость вертикального распределения интенсивности свечения гидробионтов и концентрации хлорофилла *a* в осенний период вдоль побережья Крыма и ее причины на основе экспедиционных данных и спутниковой информации. Показано, что минимальные интенсивности свечения морских организмов и концентрации хлорофилла *a* наблюдались в глубоководной части исследуемой акватории в области циклонического мезомасштабного вихря, где отмечался подъем вод и толщина верхнего перемешанного слоя не превышала 20 м. Максимальные значения концентрации хлорофилла *a* и интенсивности свечения наблюдались на станциях, расположенных в мелководной шельфовой части моря, богатой биогенными элементами.

Ключевые слова: вертикальное распределение интенсивности свечения фитопланктона, концентрация хлорофилла *a*, биолюминесценция, спутниковая информация, геострофические течения, циркуляция вод Черного моря, мезомасштабные вихри; vertical profile of phytoplankton glow intensity, chlorophyll *a* concentration, bioluminescent lighting, satellite information, geostrophic currents, Black Sea circulation, mesoscale eddies.

Введение

Роль фитопланктона в функционировании биоценоза водной экосистемы огромна. Находясь на первом трофическом уровне, фитопланктон непосредственно или через промежуточные звенья пищевых цепей служит источником питания других организмов, определяя тем самым биопродуктивность морских акваторий. Обладая высокой скоростью воспроизводства и быстро реагируя на изменения в экосистеме, он может служить индикатором экологического состояния водной среды, позволяющим оперативно оценить изменения, которые происходят в морской экосистеме, и выявить региональные особенности продуктивности вод [1–5].

Известно, что свечение гидробионтов (в основном фитопланктона) и концентрация хлорофилла *a* отражают пространственную структуру планктонного сообщества и значимо коррелируют между собой [2, 3, 6]. Причем соответствующие коэффициенты

корреляции могут превышать 0,9 [7, 8]. Высокая концентрация хлорофилла *a* — это показатель биопродуктивности акватории, на основании которого можно делать выводы о перспективности добычи биоресурсов. В природных водоемах существенное угнетающее влияние на фотосинтезирующий аппарат водорослей могут оказывать различные антропогенные загрязнения, что в итоге уменьшает продуктивность всей водной экологической системы.

В последние годы наибольшее развитие получили различные спектральные методы оценки концентрации хлорофилла *a*, которые используются для диагностики состояния клеток микроводорослей. Пространственное распределение хлорофилла *a* может быть оценено дистанционными методами на основе спутниковых данных [9–11].

Таким образом, для исследования морских экосистем можно применять как спутниковые методы, так и данные, полученные с помощью традиционных контактных измерений. Достоинством спутниковых наблюдений является достаточно высокая оперативность получения информации, но они дают информацию лишь о концентрации хлорофилла *a* поверхностного слоя. Поэтому предпочтительнее проводить совместные исследования изменения вертикальной структуры интенсивности свечения гидробионтов

* Александр Борисович Полонский (apolonsky5@mail.ru); Елена Борисовна Мельникова (helena_melnikova@mail.ru); Александр Николаевич Серебренников (swsilv@gmail.com); Юрий Николаевич Токарев.

традиционными контактными методами и поверхностного распределения концентрации хлорофилла *a* спутниковыми методами. Сочетание этих двух методов позволит более оперативно изучать процессы формирования и развития планктонного сообщества и региональные изменения, происходящие в морских экосистемах, с учетом особенностей воздействия различных природных и антропогенных факторов.

Несмотря на имеющиеся публикации на эту тему [2, 3, 7, 8, 10, 12], региональные особенности пространственно-временной изменчивости интенсивности свечения морских организмов и концентрации хлорофилла *a*, а также их связь с причинами, вызывающими изменения черноморской экосистемы, изучены не достаточно полно.

Цель настоящей работы заключается в анализе изменчивости вертикальных распределений интенсивности свечения гидробионтов и концентрации хлорофилла *a* в осенний период вдоль побережья Крыма и ее причин на основе данных, полученных в морских экспедициях, и спутниковой информации.

Материалы и методы исследования

Экспедиционные исследования пространственной структуры интенсивности суммарного свечения гидробионтов в Черном море проводились в октябре–ноябре 2010 г. в 67-м и 68-м рейсах НИС «Профессор Водяницкий». Основной массив данных получен на 15 станциях, расположенных у берегов Крыма (от м. Тарханкут до м. Кыз-Аул) и в северо-западной части моря (рис. 1).

Вертикальное распределение интенсивности свечения организмов исследовалось методом многократного батифотометрического зондирования толщи воды с использованием гидробиофизического комплекса «Сальпа-М» [3]. С его помощью измеряли также

температуру и электропроводность морской воды, которая затем пересчитывалась в соленость.

Для выявления причин, обуславливающих региональные особенности изменчивости вертикального распределения интенсивности свечения организмов, была проведена кластеризация станций агломеративно-иерархическим методом [13]. В результате было получено три кластера *A*, *B* и *C*. Каждая группа станций, образующая отдельный кластер, характеризовалась определенным типом вертикального распределения интенсивности свечения гидробионтов, температуры и солености, а также глубиной места. Малые расстояния между станциями внутри каждого кластера показывают, что вертикальные распределения изучаемых характеристик в выделенных кластерах имеют схожий характер. С другой стороны, относительно большие межкластерные расстояния свидетельствуют о различном характере вертикального распределения интенсивности свечения гидробионтов, температуры и солености в выделенных группах станций.

Для определения концентрации хлорофилла *a* использованы ежедневные спутниковые данные за период экспедиционных работ. Информация получена прибором MODIS, установленным на спутнике AQUA, и обработана в Copernicus Marine Environment Monitoring Service до третьего стандартного уровня обработки (Level 3) по специальному алгоритму для вод Черного моря (Black Sea Daily Chlorophyll Case 1 and Case 2 Waters Concentration). Пространственное разрешение спутниковых данных — 1 км. Концентрация хлорофилла *a* измерялась в одно и то же дневное время. Кроме этого, на основе спутниковых данных определялись аномалии уровня моря, геострофические течения на поверхности и области существования циклонических и антициклонических вихревых образований в период проведения экспедиционных исследований. Полученные сведения были использованы для уточнения границ

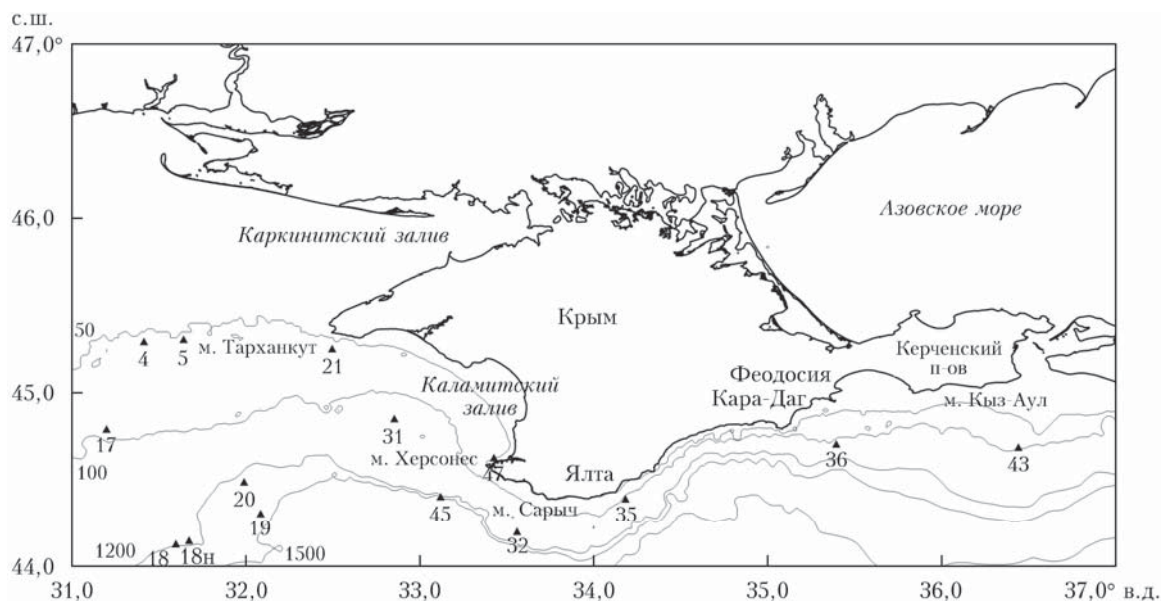


Рис. 1. Схема расположения станций, где выполнены измерения осенью 2010 г. (черные треугольники); оцифрованы изобаты 50, 100, 1200 и 1500 м

областей подъема и опускания вод, обусловленных их динамикой.

Результаты и их анализ

Анализ влияния гидрологических и гидродинамических особенностей анализируемых полей на ин-

тенсивность свечения организмов и концентрацию хлорофилла *a* проведем отдельно для трех выделенных групп станций. Первая группа (кластер А) – это станции 17, 18, 18н, 19 и 20; измерения были выполнены с 15 по 18 октября 2010 г. Вторая группа (кластер В) объединяет станции 4, 5, 21 и 47 (сроки проведения работ – с 1 по 8 ноября 2010 г.).

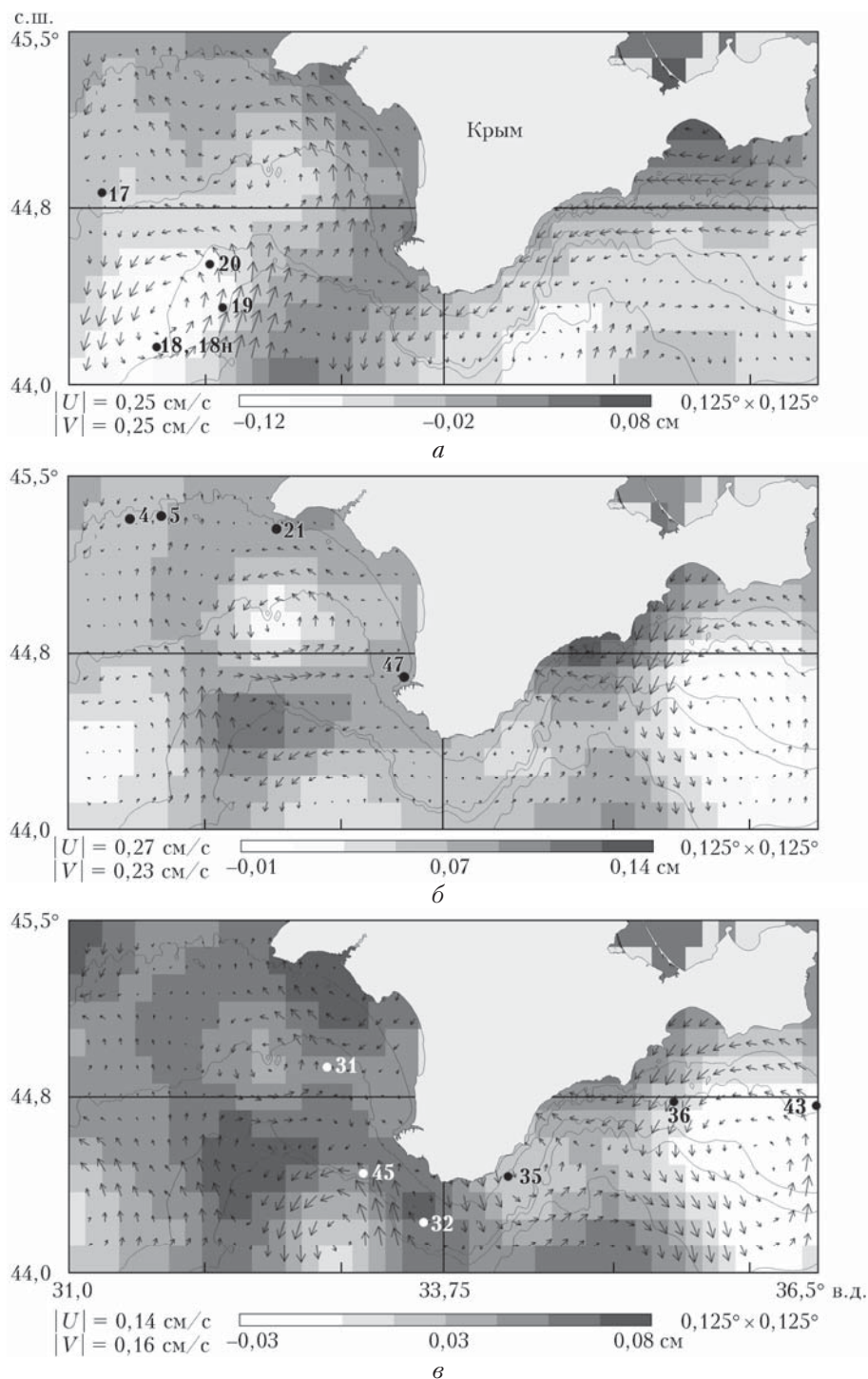


Рис. 2. Средние за период съемки аномалии уровня моря (показаны в градациях серого) и геострофические течения (стрелки) с нанесенными пронумерованными станциями: 17, 18, 18н, 19, 20 (кластер А) (а); 4, 5, 21, 47 (кластер В) (б); 31, 32, 35, 36, 43, 45 (кластер С) (в); $|U|$ и $|V|$ – максимальные значения зональной и меридиональной составляющих вектора геострофического течения на поверхности моря; длина стрелок пропорциональна модулю скорости. Осреднение производилось с учетом спутниковых данных, полученных за 1, 2 и 3 дня до начала каждой съемки

Третья группа (кластер С) состоит из станций 31, 32, 35, 36, 43, 45; измерения проводились с 8 по 12 ноября 2010 г. (рис. 2).

Черноморские воды вдоль Крымского побережья в целом характеризуются высокой динамической активностью, которая определяется близостью Основного Черноморского течения (ОЧТ), оказывающего существенное влияние на экологическое состояние прибрежных вод, вертикальную структуру интенсивности свечения организмов и концентрацию хлорофилла *a*. В мористой (глубоководной) части моря, слева от ОЧТ происходят подъем малопродуктивных вод, понижение интенсивности свечения организмов и концентрации хлорофилла *a*. Справа от ОЧТ в районе свала глубин, как правило, наблюдаются нисходящие потоки, повышенные интенсивности свечения организмов и концентрации хлорофилла *a*. Исключение составляют области циклонических вихрей. Граница, отделяющая глубоководную часть моря от шельфовой зоны, изменяется в пространстве и во времени в зависимости от фазы сезонного цикла и синоптической активности. В осенне-зимний период ОЧТ является эффективным барьером между прибрежными и открытыми районами моря [14, 15]. При этом важную роль в формировании вертикальной структуры вод играет интенсивность осенне-зимнего перемешивания [16]. Биологические процессы в верхнем слое моря протекают наиболее активно на мелководных шельфовых участках акватории.

Между ОЧТ и береговой зоной формируется система (суб)мезомасштабных шельфовых циклонических и антициклонических круговоротов, характеризующихся пространственно-временной изменчивостью, связанной с интенсивностью циркуляционных процессов. Трехмерная структура и (суб)мезомасштабная изменчивость поля течений в прибрежной зоне Крыма в осенний период исследовалась в работе [15] по данным съемки с высоким разрешением, выполненной с помощью акустического доплеровского комплекса ADCP. Было показано, что диаметр (суб)мезомасштабных шельфовых вихрей изменяется от двух-трех до десяти и более километров, а время их существования — от нескольких суток до нескольких недель.

В циклонических круговоротах геострофические течения направлены против часовой стрелки вокруг областей восходящих потоков. В центрах этих динамических образований наблюдается пониженный уровень воды, хорошо идентифицируемый по спутниковой информации. Толщина верхнего перемешанного слоя (ВПС) здесь обычно понижена. В центральной части антициклонических круговоротов, напротив, наблюдаются повышенный уровень воды и более толстый ВПС. Продуктивность верхнего слоя вод в окрестностях вихревых образований зависит не только от направления вращения воды в вихрях, но и от глубины моря в окрестности сформировавшихся вихревых структур. На глубокой воде подъем малопродуктивных вод почти всегда сопровождается понижением продуктивности верхнего слоя. Это проявляется и в ослаблении ин-

тенсивности биолюминесценции, и в уменьшении концентрации хлорофилла *a*. В более мелководных районах в области восходящих движений может происходить подъем обогащенных биогенами вод, что способствует повышению интенсивности свечения гидробионтов и концентрации хлорофилла *a* [2, 3, 11, 17]. Наибольшего развития мезомасштабные вихревые образования достигают вдоль Южного берега Крыма от Феодосии до Ялты и в районе свала глубин в северо-западной части моря [15, 18]. Спутниковые измерения с учетом оперативного обновления информации и сроков существования мезомасштабных вихрей позволяют оценить влияние циркуляционных процессов на интенсивность свечения обитателей пелагиали и концентрацию хлорофилла *a* непосредственно в период проведения натуральных исследований.

Рассмотрим расположение станций относительно динамических образований, которые вызывали подъем и опускание вод и соответствующую перестройку вертикальной термохалинной структуры вод в период проведения экспедиционных исследований (см. рис. 2). Спутниковые карты средних значений аномалий поверхности моря и геострофических течений на рис. 2 приводятся за периоды, начинающиеся за 3 дня до начала измерений комплексом «Сальпа-М». При таком периоде осреднения отфильтровываются мелкие субмезомасштабные вихревые образования, а трехдневное опережение гарантирует развитие мезомасштабных динамических процессов к началу контактных измерений.

Станции 17, 18, 18н, 19 и 20, образующие кластер А, характеризуются самой низкой интенсивностью свечения гидробионтов и невысокой концентрацией хлорофилла *a* на поверхности. По спутниковым данным хорошо видно (см. рис. 2, а), что эти станции расположены в области достаточно сильного (зональная и меридиональная составляющие вектора скорости более 0,2 м/с) и достаточно долгоживущего (более недели) циклонического вихря, в котором происходит подъем малопродуктивных вод, что не способствует развитию фито- и зоопланктона. Действительно, известно, что в Черном море резкая плотностная стратификация и относительно слабая вертикальная циркуляция вод приводят к увеличению дефицита кислорода с глубиной, и циклонический вихрь, если он достаточно интенсивный и расположен в глубоководной части моря, поднимает эти обедненные кислородом воды к поверхности [17, 18]. Толщина ВПС в районе расположения этих станций составляла около 20 м. Глубже залегал сезонный термоклин с типичным вертикальным градиентом температуры 0,2 °С/м. Слой с относительно высоким (для этого кластера) уровнем интенсивности свечения ($> 100 \text{ пВт} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{л}^{-1}$) находился в ВПС и частично в верхней части термоклина и составлял по глубине в среднем 25 м при средней температуре $\sim 15,9 \text{ }^\circ\text{C}$ и солёности $\sim 17,8\%$ (рис. 3, а). Средние значения интенсивности суммарного свечения гидробионтов в этом слое — $250 \text{ пВт} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{л}^{-1}$. В районе станций, образующих кластер А, концентрация хлорофилла *a* в поверхностном слое в период исследований, также как интенсивность свечения

организмов, была относительно низкой и не превышала $0,5\text{--}0,6 \text{ мг/м}^3$.

Станции 4, 5, 21 и 47 (кластер *B*) расположены на шельфе с глубинами около $50\text{--}60 \text{ м}$ (см. рис. 2, *б*). На этих станциях ВПС составлял до $60\text{--}80\%$ общей глубины, а сезонный термоклин был выражен слабее, чем на станциях кластера *A*. Равномерный прогрев водной массы по всей глубине привел к интенсивному развитию планктона, в том числе и светящихся видов. Слой с высокой интенсивностью свечения ($> 2000 \text{ пВт} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{л}^{-1}$) простирался от поверхности до глубин около 50 м при средней температуре $16,0 \text{ }^\circ\text{C}$ и солености $17,75\%$ (рис. 3, *б*). Средние значения интенсивности суммарного свечения гидробионтов в этом слое были очень высокими — $\sim 7000 \text{ пВт} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{л}^{-1}$. Таким образом, интенсивность свечения гидробионтов в районе северо-западного шельфа превышает таковую в открытой части изучаемой акватории почти в 30 раз. Согласно спутниковым данным, в мелководных районах, где расположены анализируемые станции, наблюдалось также достаточно высокое содержание хлорофилла *a* (от $0,9$ до $1,2 \text{ мг/м}^3$).

Прибрежная зона представляет собой область, подверженную влиянию сильных береговых ветров, под влиянием которых периодически возникает сгонный апвеллинг, приводящий к интенсивной вертикальной вентиляции вод. Из-за близости дна на поверхность поднимаются придонные воды, обогащенные биогенными элементами [8, 14, 17]. Вследствие таких особенностей мелководный шельф в северо-западной части Черного моря относится к районам с высокой концентрацией биомассы и численности планктона, а также с достаточно высоким содержанием хлорофилла *a* [2, 10, 17], что подтверждается и нашими измерениями. Следует отметить, что район северо-западного шельфа также подвержен влиянию речного стока и здесь в течение года регистрируется несколько максимумов концентрации хлорофилла *a*, один из которых приходится на летне-осенний период.

Станции 31, 32, 35, 36, 43 и 45 (кластер *C*) расположены в районе свала глубин (см. рис. 2, *в*). В данном случае динамические процессы наиболее интенсивны; они не ограничиваются системой мезомасштабных циклонических и антициклонических вихревых образований. Поэтому пространственное распределение интенсивности свечения организмов на свале глубин более разнообразно, чем в рассмотренных выше глубоководной и мелководной частях акватории. Тем не менее профили гидрофизических параметров здесь характеризуются некоторыми общими свойствами. На станциях, расположенных на свале глубин, ВПС толще в среднем на 7 м по сравнению с ВПС на станциях в глубоководной части моря. Отмечается обострение термоклина, что типично для рассматриваемой фазы сезонного цикла. В среднем температурный градиент в термоклине превышал $0,3 \text{ }^\circ\text{C/м}$. Слой с высоким уровнем интенсивности свечения гидробионтов ($> 2000 \text{ пВт} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{л}^{-1}$) находился в ВПС при средней температуре слоя $16,2 \text{ }^\circ\text{C}$ и солености $17,6\%$ (рис. 3, *в*). Среднее значение

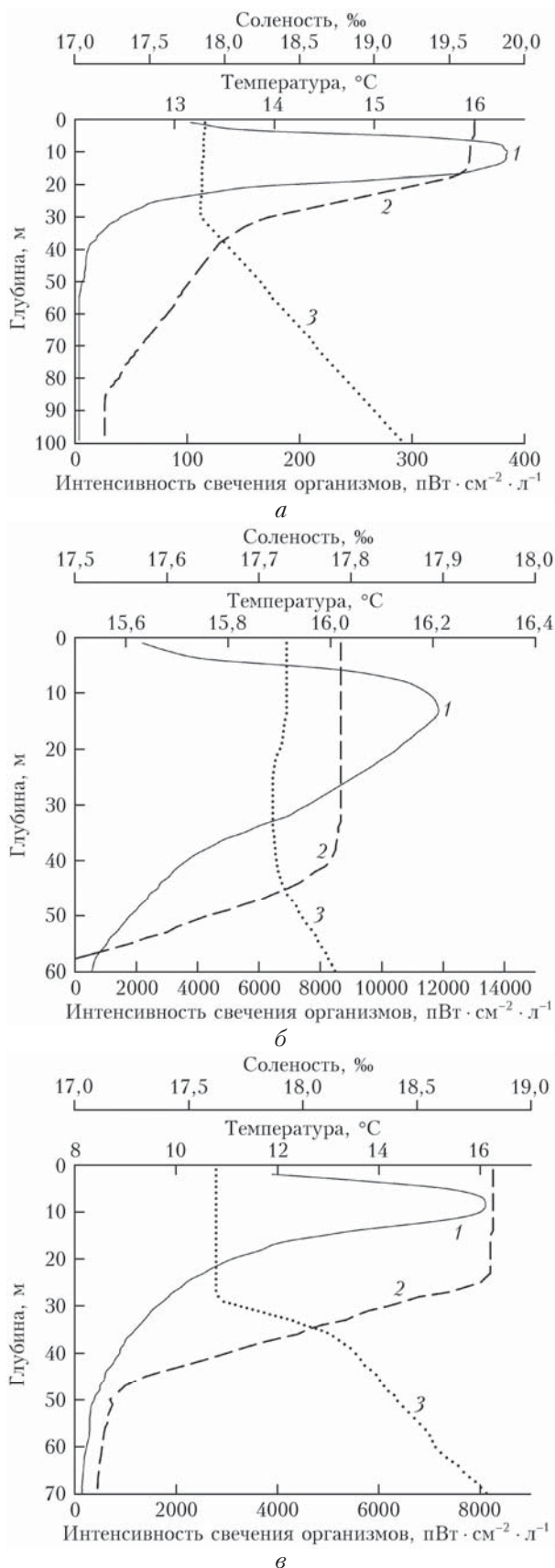


Рис. 3. Средние вертикальные распределения интенсивности свечения гидробионтов (1), температуры (2), солености (3): для кластеров *A* (*a*), *B* (*б*) и *C* (*в*)

интенсивности свечения гидробионтов на этих станциях было достаточно высоким — $> 4500 \text{ пВт} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{л}^{-1}$. В целом на станциях, расположенных на свале глубин, уровень свечения гидробионтов увеличился почти в 20 раз по сравнению с малопродуктивными районами. По спутниковым данным, концентрация хлорофилла *a* в поверхностном слое находилась в пределах $0,6\text{--}1,0 \text{ мг/м}^3$, т.е. также занимала промежуточное положение между северо-западным шельфом и глубоководными районами.

В связи с климатическими изменениями, наблюдающимися в Черноморском регионе, сопутствующими тенденциями в гидролого-гидрохимическом режиме вод [19–23], с учетом влияния вихревых образований и особенностей сезонного биологического развития светящихся организмов в теплые и холодные годы естественно ожидать, что и характеристики интенсивности свечения гидробионтов должны меняться соответствующим образом. Приведенные выше результаты можно рассматривать как методическую основу для систематического анализа региональных особенностей пространственного распределения интенсивности свечения морских организмов вдоль побережья Крыма.

Заключение

С помощью кластерного анализа экспериментальных данных, полученных в северной части Черного моря, выделено три региона, различающиеся по вертикальному распределению интенсивности свечения гидробионтов и термохалинных характеристик, а также глубине места. Анализ спутниковых данных, приуроченных ко времени проведения морских экспедиций, позволил выделить влияние мезомасштабных вихревых образований и сопутствующих гидрологических факторов среды на изменения вертикального распределения интенсивности свечения планктона, а также поверхностной концентрации хлорофилла *a* в различных частях моря (на мелководном шельфе, свале глубин, в глубоководной области).

Выявлено, что минимальные интенсивности свечения планктона и концентрации хлорофилла *a* наблюдались в глубоководной части исследуемой акватории в области мезомасштабного циклонического вихря. Здесь отмечался подъем малопродуктивных промежуточных вод и толщина ВПС не превышала 20 м. Максимальные интенсивность свечения и концентрация хлорофилла *a* наблюдались на станциях, расположенных в богатой биотой мелководной шельфовой части моря. Интенсивность свечения гидробионтов отличалась в этих районах почти в 30 раз.

В заключении отметим, что эта работа стала последней для научного руководителя Института морских биологических исследований РАН д.б.н. Ю.Н. Токарева. Он ушел из жизни очень неожиданно, полный планов на будущее и надежд на расширения научных контактов. К сожалению, им не суждено было реализованными.

1. Константинов А.С. Общая гидробиология. М.: Высшая школа, 1986. 472 с.
2. Ведерников В.И. Первичная продукция и хлорофилл в Черном море в летне-осенний период // Структура и продукционные характеристики планктонных сообществ Черного моря. М.: Наука, 1989. С. 65–83.
3. Токарев Ю.Н. Основы биофизической экологии гидробионтов. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2006. 342 с.
4. Заворуев В.В. Распределение биолюминесценции и флуоресценции планктона в связи с физико-химическими свойствами водной среды в районе Перуанского апвеллинга // Оптика атмосф. и океана. 2003. Т. 16, № 1. С. 82–86.
5. Mel'nikova E.B. Evaluation of parameters of plankton communities biological rhythms under natural environment of the Black Sea using Fourier transform // Luminescence. 2017. V. 32, N 3. P. 321–326.
6. Битюков Э.П., Хлыстова Л.М. Биолюминесценция в неарктической зоне Черного моря и ее связь с характеристиками планктона // Биология моря. Киев: Наук. думка, 1975. Вып. 34. С. 100–109.
7. Гительзон И.И., Чумакова Р.И., Филимонов В.С., Левин Л.А., Дегтярев В.И., Утюшев Р.Н., Шевырьгов А.П. Биолюминесценция в море. М.: Наука, 1969. 184 с.
8. Заворуев В.В., Заворуева Е.Н., Крум С.П. Распределение планктона в районах фронтальных зон водных экосистем. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2012. 292 с.
9. Суслин В.В., Чурилова Т.Я., Сосик Х.М. Региональный алгоритм расчета концентрации хлорофилла *a* в Черном море по спутниковым данным SeaWiFS // Морск. экол. ж. 2008. Т. 7, № 2. С. 24–42.
10. Финенко З.З., Чурилова Т.Я., Сосик Х.М. Вертикальное распределение фотосинтетических характеристик фитопланктона в Черном море // Океанология. 2004. Т. 44, № 2. С. 222–237.
11. Финенко З.З., Суслин В.В., Чурилова Т.Я. Оценка продуктивности фитопланктона Черного моря по спутниковым данным // Докл. РАН. 2010. Т. 432, № 6. С. 845–848.
12. Mel'nikova E.B. Regional features of the vertical structure of bioluminescence field in Crimea coastal water in summer // Water Resour. 2016. V. 43, N 2. P. 328–334.
13. Мандель И.Д. Кластерный анализ. М.: Финансы и статистика, 1988. 176 с.
14. Филиппов Д.М. Циркуляция и структура вод Черного моря. М.: Наука, 1968. 260 с.
15. Полонский А.Б., Джиганшин Г.Ф. Структура и мезомасштабная изменчивость основного черноморского течения у побережья Крыма // Докл. НАН Украины. 2010. № 6. С. 107–112.
16. Oguz T. Role of physical processes controlling oxycline and suboxic layer structures in the Black Sea // Global Biogeochem. Cycles. 2002. V. 16, N 2. P. 3–13.
17. Polonsky A.B. Upwelling in the Northern Black Sea: Description, mechanisms and impact on chlorophyll *a* concentration // Upwelling: Mechanisms, Ecological Effects and Threats to Biodiversity / W.E. Fischer, A.B. Green (eds.). New York: Nova Science Publishers Inc., 2013. P. 59–76.
18. Stanev E.V. Understanding Black-Sea dynamics // Oceanography. 2005. V. 18, N 2. P. 56–75.
19. Полонский А.Б., Ловенкова Е.А. Долговременные тенденции в изменчивости характеристик пикноклина Черного моря // Изв. РАН. Физ. атмосф. и океана. 2006. Т. 42, № 3. С. 419–430.

20. *Oguz T.* Black Sea ecosystem response to climate teleconnections // *Oceanography*. 2005. V. 18, N 2. P. 118–128.
21. *Stanev E.V., Peneva E.* Regional sea level response to global climate change: Black Sea example // *Glob. Planet. Change*. 2002. V. 32. P. 33–47.
22. *Capet A., Stanev E.V., Beckers J.-M., Murray J.W., Grégoire M.* Decline of the Black Sea oxygen inventory // *Biogeosciences*. 2016. V. 13. P. 1287–1297.
23. *Saydam C., Tugrul S., Basturk O., Oguz T.* Identification of the oxic/anoxic interface by isopycnal surfaces in the Black Sea // *Deep Sea Res., part 1*. 1993. V. 40, N 7. P. 1405–1412.

A.B. Polonsky, E.B. Mel'nikova, A.N. Serebrennikov, Yu.N. Tokarev. **Regional peculiarities of the bioluminescent lighting and chlorophyll *a* concentration in the Black Sea phytoplankton.**

Variability of the profiles of bioluminescent lighting and chlorophyll *a* concentration along the coastal zone of the Crimea and its causes are analyzed using the data of two expeditions and satellite data. It is shown that the bioluminescent lighting and chlorophyll *a* concentration are minimal in a vicinity of the deep-sea cyclonic eddy, where the upwelling occurred and the upper mixed layer depth was as small as 20 m. Minima of bioluminescent lighting and chlorophyll *a* concentration were observed in the shallow area which is rich in biota.