

ОПТИКА КЛАСТЕРОВ, АЭРОЗОЛЕЙ И ГИДРОЗОЛЕЙ

УДК 551.465.7:148:574.52(262.5)

Особенности изменчивости интенсивности свечения планктонного сообщества в прибрежной зоне Черного моря в весенний и осенний периоды

А.Б. Полонский^{1,2,3}, Е.Б. Мельникова¹, А.Н. Серебренников^{1*}

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

²Филиал Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова
299099, г. Севастополь, ул. Героев Севастополя, 7

³Севастопольский государственный университет
299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33

Поступила в редакцию 19.02.2019 г.

Проанализированы причины и особенности изменчивости интенсивности свечения планктонного сообщества в весенний и осенний периоды вдоль побережья Крыма на основе экспедиционных и спутниковых данных. Отмечено, что синоптические и мезомасштабные вихревые процессы оказывают существенное влияние на вертикальное распределение интенсивности свечения гидробионтов и их необходимо учитывать при анализе сезонной изменчивости параметров биолюминесценции. Введено понятие интегральной интенсивности свечения гидробионтов (ИИСГ), которое позволяет оценить общую биомассу гидробионтов, обитающих в исследуемом диапазоне глубин. Получено, что средняя ИИСГ в северной части Черного моря в осенний период более чем в 10 раз выше, чем весной. Отмечено, что вихревые мезомасштабные образования оказывают наибольшее влияние на ИИСГ в районе свала глубин.

Ключевые слова: вертикальное распределение светящихся гидробионтов, биолюминесценция, сезонные изменения, спутниковая информация, циркуляция вод Черного моря, мезомасштабные вихри; vertical profile of hydrobiont bioluminescence intensity, bioluminescent lighting, seasonal changes, satellite information, Black Sea circulation, mesoscale eddies.

Введение

В настоящее время особую актуальность приобретают задачи, связанные с оценкой биопродуктивности морей и их отдельных регионов. Основным показателем, определяющим трофическое состояние и биологическую продуктивность водных объектов, является структурная организация планктонного сообщества [1–3]. Одна из важных характеристик планктонных организмов — биолюминесценция (суммарное свечение гидробионтов). Она является индикатором состояния и функционирования биоценоза водной экосистемы и тесно коррелирует с концентрацией различных компонент планктонного сообщества [4–7]. Развитие планктона, в том числе светящихся видов, зависит в первую очередь от гидролого-гидрохимических условий внешней среды и от наличия элементов питания — концентрации биогенных соединений. В Черном море, как и в других внутренних морях умеренных широт, вышеперечисленные факторы демонстрируют сезон-

ную изменчивость, которая обуславливает динамику численности и биомассы планктона, в том числе и светящихся видов в течение года [8–10].

Исследования биолюминесценции в регионах Черного моря в разные сезоны [5, 6, 10–12] позволяют судить об особенностях пространственно-временной изменчивости интенсивности свечения организмов в разные периоды года. Однако подробный сравнительный анализ характеристик биолюминесценции в период осеннего выхолаживания и весеннего прогрева не проводился. Между тем эти периоды существенно различаются не только характером взаимодействия верхнего слоя моря с атмосферой, но и интенсивностью мезомасштабных и субмезомасштабных процессов в морской среде, в значительной степени определяющей пространственно-временную изменчивость поля биолюминесценции.

Цель настоящей работы — сравнительный анализ пространственно-временной изменчивости интенсивности свечения гидробионтов на основе данных, полученных в морских экспедициях вдоль побережья Крыма в осенний и весенний периоды. При анализе будут приниматься во внимание синоптическая изменчивость атмосферных условий и региональные характеристики мезомасштабных процессов в морской среде. Фактически эта работа продолжает работу [11],

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

в которой описывалось влияние мезомасштабной изменчивости гидрофизических полей в прибрежной части моря у п-ва Крым на характеристики биолюминесценции в верхнем слое моря в этом районе в осенний период.

Материалы и методы исследования

Исследование пространственно-временной структуры изменения интенсивности суммарного свечения гидробионтов проводили в осенний период (октябрь – ноябрь) 2010 г. в 67-м и 68-м рейсах и в весенний период (май) 2013 г. в 72-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий».

Основной массив данных получен на 35 станциях, расположенных в районах м. Тарханкут, мористой части Каламитского залива, м. Херсонес, траверзе бухты Омега, м. Сарыч, г. Ялты, Карадагского заповедника, мористой части м. Кыз-Аул и северо-восточной части стандартного разреза м. Херсонес–Босфор (рис. 1).

Пространственное распределение интенсивности свечения организмов в верхнем 100-метровом слое моря исследовалось методом многократного батифотометрического зондирования толщи воды с использованием гидробиофизического комплекса «Сальпа-М». С его помощью измеряли также температуру и электропроводность воды, которую пересчитывали в соленость. Дискретность измерений в режиме зондирования составляла 1 м. Съёмки проводили в ночное время.

При обработке результатов исследований выделялся слой с высоким уровнем интенсивности свечения гидробионтов. Этот слой определялся следующим образом. Сначала на каждой станции находилась

глубина с максимальным значением интенсивности биолюминесценции P_{\max} . Потом рассчитывалось значение $P_{0,5\max}$, равное половине от максимального. Диапазон глубин, в котором интенсивность биолюминесценции $\geq P_{0,5\max}$, считался слоем с высоким уровнем интенсивности биолюминесценции. В этом слое анализировалась связь характеристик биолюминесценции с термохалинной и кинематической структурой вод исследуемого района.

Если при проведении вертикального зондирования наблюдалось два максимума интенсивности свечения гидробионтов, то определялось два максимальных значения интенсивности биолюминесценции $P_{\max1}$ и $P_{\max2}$ и по описанной выше методике выделялось два слоя с высоким уровнем свечения гидробионтов (приповерхностный и промежуточный).

Для дальнейшей обработки результатов введено понятие интегральной интенсивности свечения гидробионтов (ИИСГ), определяемой для выделенного диапазона глубин с высокой интенсивностью свечения организмов путем суммирования всех измеренных значений интенсивности свечения организмов с шагом 1 м. Значение ИИСГ пропорционально как интенсивности свечения гидробионтов, так и толщине слоя с высоким уровнем интенсивности свечения организмов. Поскольку интенсивность свечения хорошо коррелирует с концентрацией гидробионтов [2, 4, 5, 7, 10, 11], полученное значение ИИСГ позволяет оценить общую биомассу гидробионтов, обитающих в выделенном слое.

В соответствии с этим интегральная интенсивность свечения гидробионтов определялась по формуле

$$\text{ИИСГ} = \sum_{h=h_{\min}}^{h_{\max}} I(h),$$

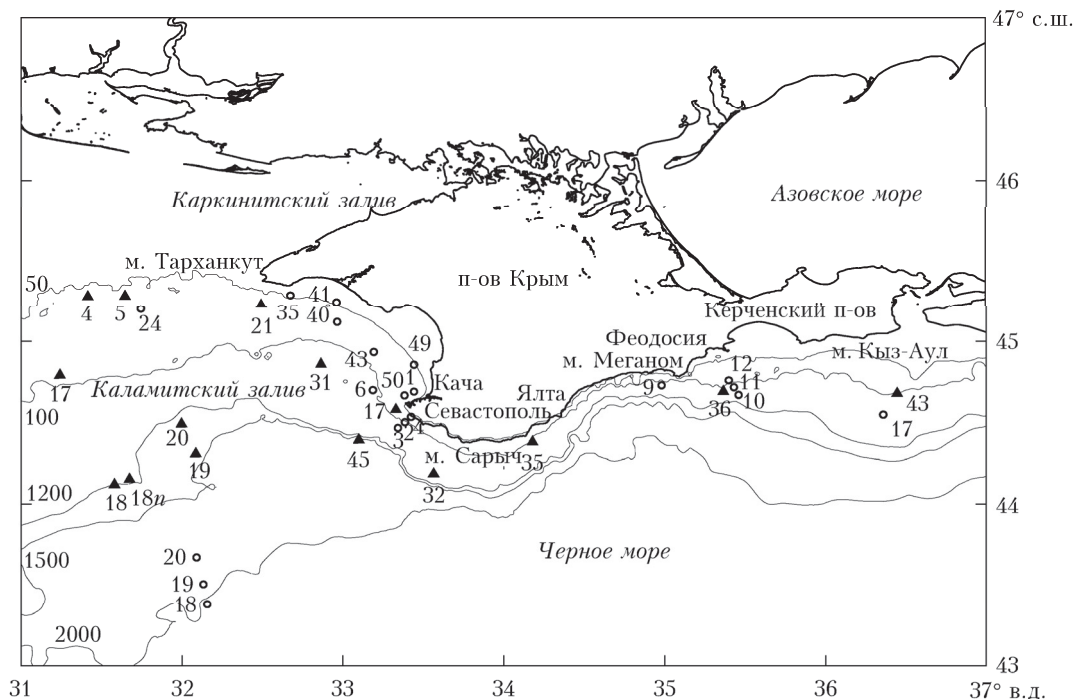


Рис. 1. Схема станций: кружочки – станции, выполненные в мае 2013 г., треугольники – в октябре–ноябре 2010 г. Подписаны изобаты 50, 100, 1200, 1500, 2000 м

где $I(h)$ — интенсивность свечения гидробионтов на глубине h ; h_{\min} и h_{\max} — минимальная и максимальная глубины, на которых отмечалась высокая интенсивность свечения гидробионтов ($P_{0,5\max}$); $h = h_{\min}, h_{\min} + 1, \dots, h_{\max}$.

В период проведения экспедиционных исследований на основе спутниковых данных определялись аномалии уровня моря, рассчитывались геострофические течения на поверхности и области существования циклонических и антициклонических вихревых образований. По этим сведениям уточнялись границы областей подъема и опускания вод, обусловленные их динамикой [11]. Для характеристики синоптической атмосферной изменчивости использовались спутниковые данные о приводном ветре в исследуемом регионе в период проведения съемок.

Результаты и их анализ

По опубликованным разными авторами результатам известно, что в годовом цикле развития свещающегося планктона в Черном море выделяются два пика численности и биомассы — весенний (май) и осенний (октябрь — ноябрь). В эти же периоды наблюдаются максимальные значения интенсивности свечения организмов [9, 11–13]. В первую очередь это обусловлено сезонной изменчивостью вертикальной термической структуры вод. В весенний период в Черном море происходит постепенный прогрев верхних слоев воды и под верхним перемешанным слоем (ВПС) ветро-волнового происхождения формируется сезонный термоклин. В осенний период ВПС, как правило, заглубляется из-за интенсификации конвективного перемешивания термического происхождения. На осредненный сезонный цикл накладываются интенсивные атмосферные процессы синоптического масштаба, усиливающиеся в осенне-зимний период, а также мезомасштабная изменчивость гидрофизических полей Черного моря, особенно выраженная в области свала глубин в северной части моря [11, 14–17]. Этим определяется немонотонный характер пространственно-временной изменчивости биолюминесценции на полигоне на синоптических и мезомасштабах. Ясно, что ее параметры также должны быть подвержены выраженному сезонному ходу.

Действительно, основное Черноморское течение (ОЧТ) обычно интенсифицируется в зимний период, достигая максимума своего развития в марте — апреле, затем ослабевает до минимальной интенсивности в сентябре — ноябре. Мезомасштабная структура ОЧТ наиболее выражена в конце лета — начале осени при общем ослаблении циркуляции вод, хотя самые интенсивные мезомасштабные вихри чаще всего наблюдаются весной [14–17]. Эта общая схема подтверждается результатами нашего анализа.

На рис. 2 представлены типичные графики вертикального распределения интенсивности свечения

гидробионтов и гидрологических характеристик акватории Черного моря, прилегающей к Крымскому побережью, для двух сезонов и трех диапазонов глубин: глубоководной части полигона ($h > 1200$ м), свала глубин и на шельфе ($h < 100$ м). Хорошо прослеживается общая тенденция увеличения интенсивности светимости организмов в ВПС от глубоководных районов к мелководным весной и осенью.

Причины повышенной интенсивности биолюминесценции на мелководье в северо-западной части Черного моря подробно обсуждались нами в [11]. Было показано, что в этой динамически активной зоне регулярно поднимаются на поверхность придонные воды, обогащенные биогенными элементами, что является причиной высокой концентрации биомассы и численности гидробионтов в толще вод с достаточно высоким уровнем светимости морских организмов. Это подтверждают полученные нами высокие значения ИИСГ.

Повышенная интенсивность свечения морских организмов в этом регионе также объясняется наличием фронтальной зоны, отделяющей распресненные воды речного происхождения от морских. Осенью в результате предшествующего прогрева вод и заглубления ВПС формируется профиль с повышенной интенсивностью биолюминесценции в достаточном толстом слое. В результате, по нашим данным, в осенний период ИИСГ была почти в 5 раз больше, чем в весенний. Ее среднее значение на шельфе в этот период года составляло ~ 187000 пВт \cdot см $^{-2}$ \cdot л $^{-1}$, а на ст. 47 превышало 200000 пВт \cdot см $^{-2}$ \cdot л $^{-1}$. Это значение было наибольшим из всех, полученных нами в районе проведения исследований на полигонах.

На глубоководных станциях средние значения ИИСГ в весенний и осенний периоды как в ВПС, так и в холодном промежуточном слое (ХПС) были наименьшими. Важно, что весной в глубоководной части полигона, в отличие от осеннего периода, на профиле интенсивности биолюминесценции отмечается второй (промежуточный) максимум, приуроченный к ХПС (рис. 2, А, а). Первый слой с относительно невысокой ИИСГ, от 3730 (ст. 20) до 6580 пВт \cdot см $^{-2}$ \cdot л $^{-1}$ (ст. 18), находился в верхнем, 15-метровом слое со средней температурой 17,5 °С и соленостью 18,50‰. При такой температуре развиваются теплолюбивые комплексы гидробионтов. Вследствие этого наблюдается увеличение их биомассы и повышение интенсивности биолюминесценции. Второй слой повышенной светимости морских организмов с величиной ИИСГ, примерно в 2 раза превышающей величину ИИСГ в первом (верхнем) слое (в пределах $8000 \div 12500$ пВт \cdot см $^{-2}$ \cdot л $^{-1}$), находился в ХПС на глубине 37–46 м со средней температурой $\sim 8,0$ °С и соленостью $\sim 19,7$ ‰ (ст. 18–20). При такой температуре на этих глубинах развиваются холодолюбивые комплексы гидробионтов [13]. В осенний период в районе глубоководных ст. 18, 18н, 19, 20 наблюдался один слой с относительно высоким уровнем ИИСГ, находящийся в ВПС и частично

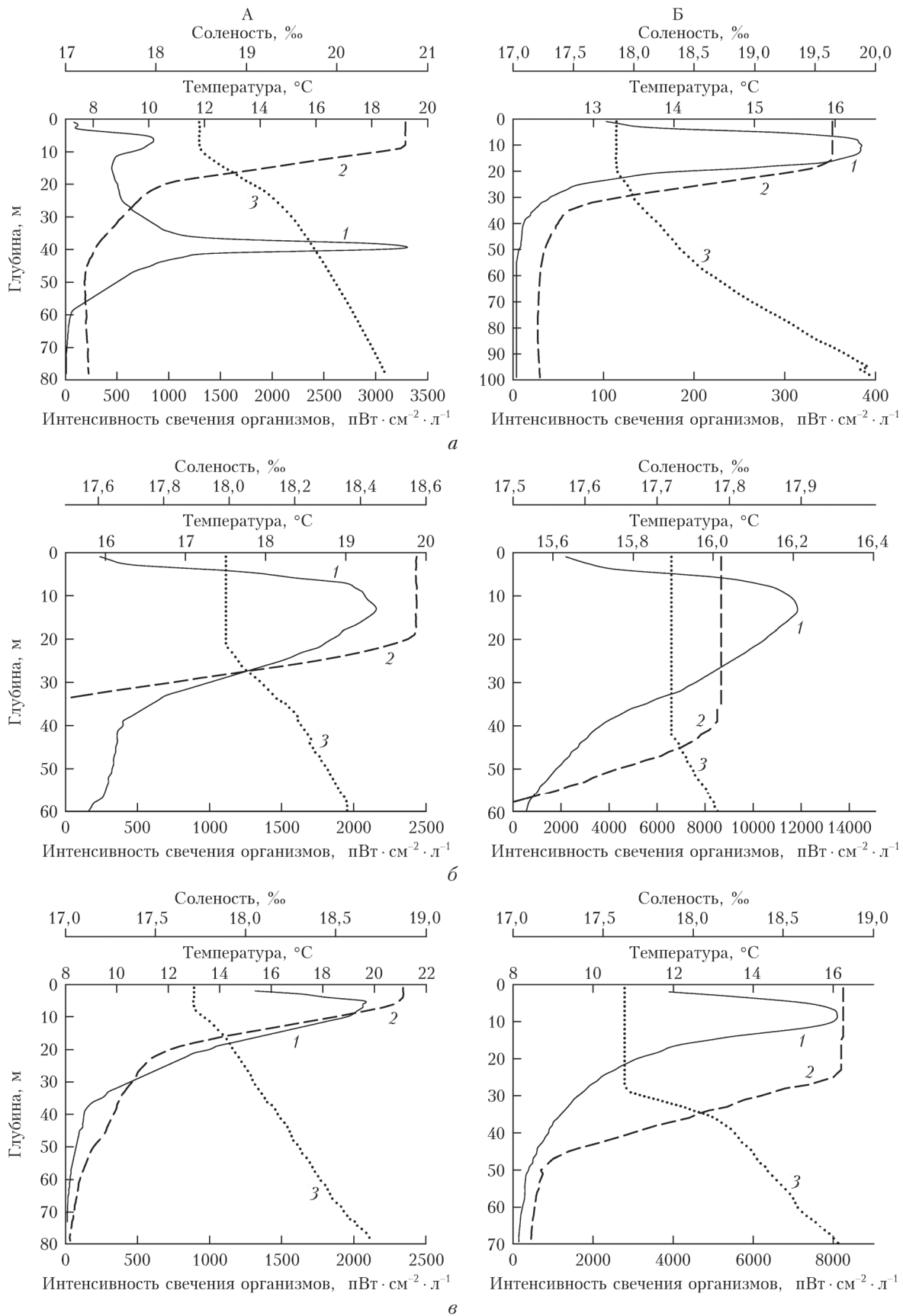


Рис. 2. Средние вертикальные распределения интенсивности свечения гидробионтов (1), температуры (2), солёности (3) для весеннего (А) и осеннего (Б) периодов: а – глубоководный район ($h > 1200$ м); б – шельф ($h < 100$ м); в – свал глубин

в верхней части термоклина. Он располагался на глубине ~25 м при средней температуре ~15,9 °С и солености ~17,86‰. Среднее значение ИИСГ в этом слое составляло ~6870 пВт · см⁻² · л⁻¹, при этом соотношение между ИИСГ на разных станциях этого района не превышало 1:1,4.

Максимальная пространственно-временная неоднородность поля биолюминесценции отмечалась на свале глубин. Среднее значение ИИСГ для станций, расположенных в этой области полигона, в весенний период составляло 13300 пВт · см⁻² · л⁻¹. Оно было приблизительно в 3 раза ниже, чем на шельфе, и приблизительно в 1,5 раза выше среднего значения для глубоководных станций. При этом следует отметить, что минимальное и максимальное значения ИИСГ для станций, расположенных на свале глубин, различались почти на порядок. Этот факт объясняется тем, что именно здесь отмечается максимальная

активность мезомасштабных процессов [15], что подтверждается на рис. 3, 4.

Поскольку циклонические и антициклонические вихри характеризуются противоположным знаком вращения вод и разнонаправленными вертикальными движениями, они принципиально по-разному влияют на вертикальную структуру поля биолюминесценции. На основе данных для осеннего периода этот факт был продемонстрирован в работе [11]. Данные для весеннего периода полностью подтверждают полученный в [11] результат. Так, например, на ст. 35, 40, 41, 43, 49, выполненных весной в Каламитском заливе и расположенных на периферии антициклонического мезомасштабного вихря, средние значения ИИСГ в слое максимума были достаточно высокими (41123 пВт · см⁻² · л⁻¹). При этом соотношения между ИИСГ на разных станциях не превышали 1:2,5, хотя некоторые из них

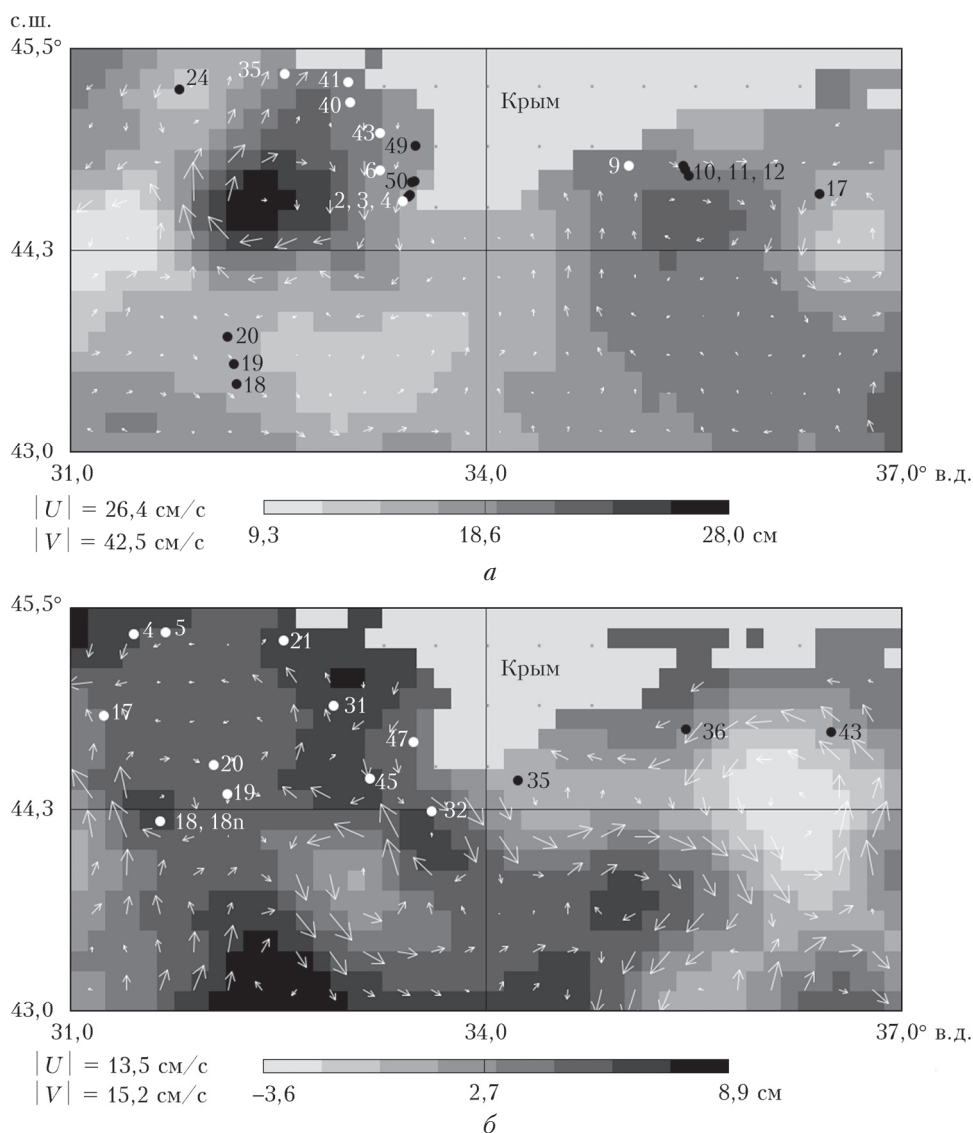


Рис. 3. Аномалии уровня моря и геострофические течения на поверхности в период выполнения съемок: *а* – весна; *б* – осень; $|U|$, $|V|$ – максимальные абсолютные величины зональной и меридиональной компонент ветра; пространственное разрешение $0,125^\circ \times 0,125^\circ$; черные точки – станции; белые – узлы регулярной сетки, в которых рассчитываются геострофические скорости

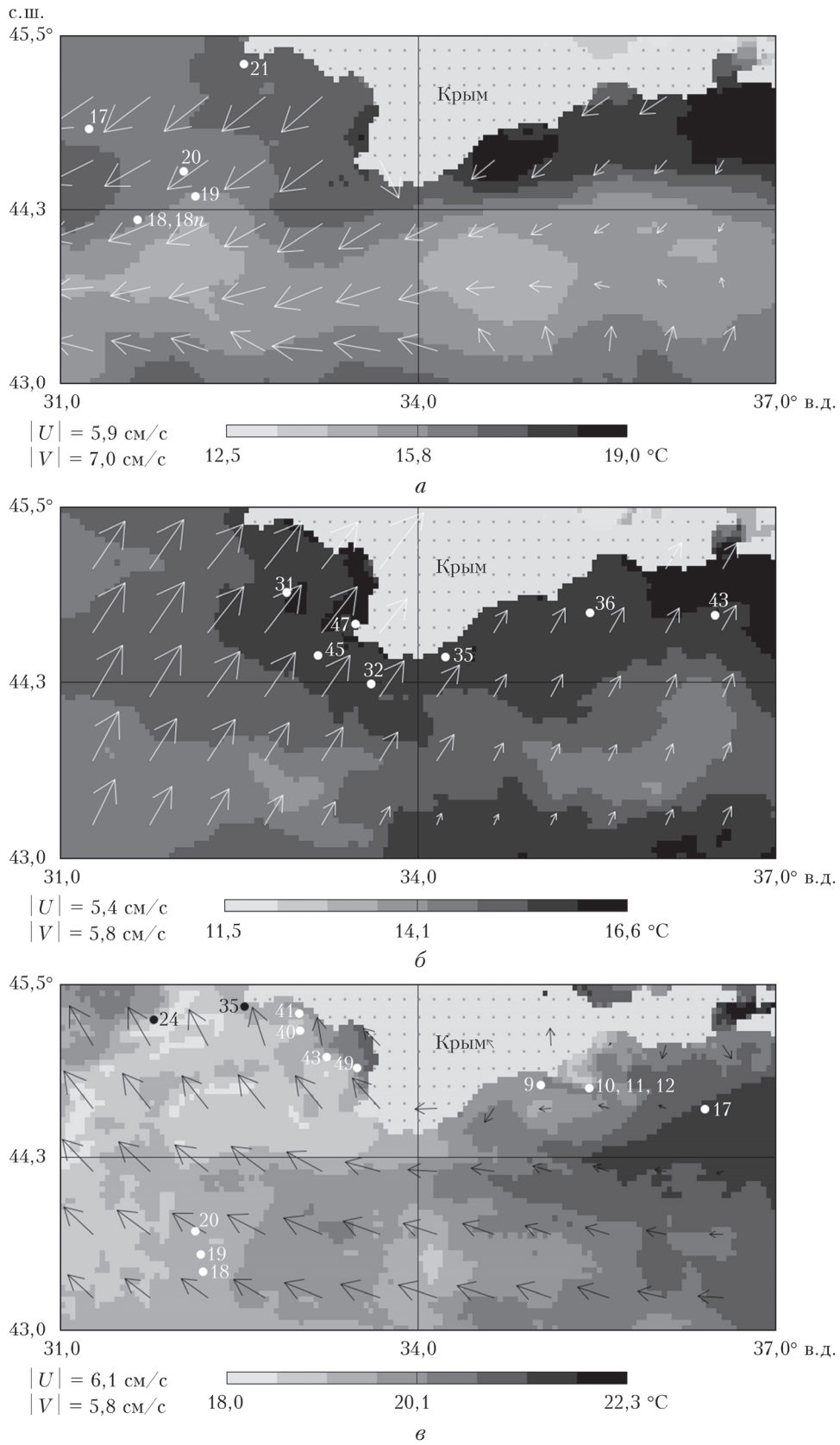


Рис. 4. Поле ветра и температура поверхности моря в районе проведения исследований в осенний: с 12 по 18 октября (*а*) и с 6 по 12 ноября 2010 г. (*б*) и весенний с 12 по 30 мая 2013 г. (*в*) периоды. Максимальные абсолютные величины зональной $|U|$ и меридиональной $|V|$ компонент вектора ветра указаны в левом нижнем углу каждого фрагмента; пространственное разрешение $0,04^\circ \times 0,04^\circ$

оказались расположенными в зоне апвеллинга (рис. 3, *a*), что значительно усиливает пространственную неоднородность биологических параметров верхнего слоя моря [19]. Станция 24, также расположенная на шельфе западного Крыма, находилась в зоне влияния циклонического мезомасштабного вихря (см. рис. 3, *a*). На этой станции, как и на глубоководных, в весенний период наблюдалось два слоя с повышенной интенсивностью свечения. Однако, в отличие от глубоководных станций, они были приурочены к поверхностному и придонному слоям. При этом ИИСГ составляла ~ 7000 пВт \cdot см⁻² \cdot л⁻¹, что было близко к значениям ИИСГ на глубоководных станциях. Отметим значительно большие перепады уровневой поверхности и более интенсивные геострофические течения в весенний период по сравнению с осенним, хотя мезомасштабная структура поля течений хорошо выражена в обоих случаях (сравните рис. 3, *a*, *b*).

При отсутствии резких усиления ветра в период быстрого весеннего прогрева ВПС представители некоторых холодолюбивых видов гидробионтов перемещаются на более прохладные нижележащие горизонты. Это относится как к ст. 1–4, 6, 50, расположенным в районе свала глубин у юго-западного побережья Крыма, так и к ст. 9–12, 17, выполненным в основном вдоль свала глубин у юго-восточного побережья (между г. Феодосия и м. Меганом). На первой группе станций ВПС был прогрев до 19,2 °С, а на второй до 21,1 °С. При этом толщина ВПС была менее 10 м. Вследствие этого слой с высоким уровнем интенсивности свечения организмов в этом районе находился в слое температурного скачка (см. рис. 2, *A*, *в*).

В осенний период (октябрь – ноябрь) на ст. 31, 32, 35, 36, 43 и 45, расположенных в районе свала глубин, в результате конвективно-ветрового перемешивания толщина ВПС увеличилась, а его температура уменьшилась. Слой с высоким уровнем интенсивности свечения находился в ВПС при средней температуре 16,2 °С и солёности 17,62‰ (см. рис. 2, *B*, *в*). Средняя величина ИИСГ составляла 132700 пВт \cdot см⁻² \cdot л⁻¹, что было в 20 раз больше, чем в малопродуктивных районах, но в 1,4 раза меньше, чем на шельфе.

Важным фактором (наряду с мезомасштабной изменчивостью параметров морской среды), определяющим вертикальную термохалинную структуру вод и характер пространственно-временного распределения интенсивности свечения морских организмов, являются ветровые условия в Черноморском регионе [14, 16, 18–23], особенно в условиях несинхронности выполняемых съёмок. Их резкие изменения (например, штормовые усиления ветра), особенно выраженные в осенний период, приводят к быстрому перемешиванию верхнего слоя моря, заглублению и выхолаживанию ВПС, обострению вертикальных градиентов термохалинных характеристик в верхней части сезонного пикноклина и перестройке поля биолюминесценции. Причем это относится не только к прибрежной части моря, где резкая смена ветров часто приводит к развитию ин-

тенсивных сгонно-нагонных процессов, но и к глубоководной части акватории [24].

На рис. 4, *a*, *b* видно, что при выполнении двух осенних съёмок синоптические условия в исследуемом районе Черного моря были принципиально различны. Если во второй половине октября 2010 г. в северной части Черного моря преобладали северо-восточные ветры со скоростями до 9 м/с, то в первой половине ноября – более слабые юго-восточные ветры. При проведении весенней съёмки 2013 г. над северной частью Черного моря преобладали антициклонические синоптические условия. При этом максимальная скорость ветра превышала 8,5 м/с (см. рис. 4, *в*).

Таким образом, сезонная изменчивость характеристик биолюминесценции верхнего слоя моря должна описываться с учетом синоптической изменчивости атмосферных условий и мезомасштабной пространственно-временной структуры морской среды. Иначе неизбежны значительные погрешности, связанные с алиасингом.

В целом в районе проведения исследований средняя суммарная ИИСГ, оцененная по всем осенним станциям, была более чем в 10 раз выше, чем в весенний период. Вместе с тем наличие более высокочастотных (синоптических) и мезомасштабных процессов приводит к пространственно-временной изменчивости характеристик поля биолюминесценции внутри одного сезона одного порядка с межсезонными вариациями.

Заключение

Проведенный выше анализ позволил сформулировать следующие основные выводы.

1. Средняя ИИСГ в северной части Черного моря, характеризующая общую биомассу гидробионтов, в осенний период была более чем в 10 раз выше, чем весной.

2. Максимальная ИИСГ и весной, и осенью отмечается на шельфе, где она более чем на порядок превышает минимальные величины ИИСГ в открытой части акватории.

3. Наибольшее влияние на ИИСГ вихревые мезомасштабные образования оказывают в районе свала глубин. Здесь значения ИИСГ в окрестности циклонических и антициклонических вихрей различались почти на порядок. Максимальная интенсивность мезомасштабных процессов отмечается весной.

4. Штормовые усиления ветра, особенно выраженные в осенний период, приводят к быстрому перемешиванию верхнего слоя моря, заглублению и выхолаживанию ВПС, обострению вертикальных градиентов термохалинных характеристик в верхней части сезонного пикноклина и перестройке поля биолюминесценции.

5. Синоптические и мезомасштабные процессы необходимо учитывать при анализе сезонной изменчивости параметров биолюминесценции во избежание значительных погрешностей оценки сезонных изменений, связанных с алиасингом, особенно при использовании ограниченного количества данных несинхронных съёмок.

Выражаем признательность рецензенту за высказанные замечания.

1. Константинов А.С. Общая гидробиология. М.: Высшая школа, 1986. 472 с.
2. 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.
3. Сорокин Ю.И. Черное море: Природа, ресурсы. М.: Наука, 1982. 217 с.
4. Черепанов О.А., Левин Л.А., Утюшев Р.Н. Связь биолюминесценции с биомассой и численностью светящегося и всего планктона. 2. Черное море // Мор. экол. журн. 2007. Т. 6, вып. 3. С. 84–89.
5. Битюков Э.П., Хлыстова Л.М. Биолюминесценция в неарктической зоне Черного моря и ее связь с характеристиками планктона // Биология моря. Киев: Наукова думка, 1975. Вып. 34. С. 100–109.
6. Гительзон И.И., Чумакова Р.И., Филлимонов В.С., Левин Л.А., Дятярев В.И., Утюшев Р.Н., Шевырь-ионов А.П. Биолюминесценция в море. М.: Наука, 1969. 184 с.
7. Mel'nikova Ye.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.
8. Заворуев В.В. Распределение биолюминесценции и флуоресценции планктона в связи с физико-химическими свойствами водной среды в районе Перуанского апвеллинга // Оптика атмосфер. и океана. 2003. Т. 16, № 1. С. 82–86.
9. Mel'nikova Ye.B. The spatial variability of the intensity of the bioluminescence field in coastal waters of the Crimean Peninsula in the spring period // Inland Water Biology. 2016. V. 9, N 2. P. 135–141.
10. Токарев Ю.Н. Основы биофизической экологии гидробионтов. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2006. 342 с.
11. Полонский А.Б., Мельникова Е.Б., Серебrenников А.Н., Токарев Ю.Н. Региональные особенности интенсивности свечения гидробионтов и концентрации хлорофилла *a* в водах Черного моря // Оптика атмосфер. и океана. 2018. Т. 31, № 4. С. 275–281; Polonsky A.B., Mel'nikova E.B., Serebrennikov A.N., Tokarev Yu.N. Regional Peculiarities of Hydrobiont Bioluminescence Intensity and Chlorophyll *a* Concentration in Black Sea Waters // Atmos. Ocean. Opt. 2018. V. 31, N 4. P. 365–371.
12. Melnikova Ye.B. Interannual variability in bioluminescence field intensity in nearshore waters of the Black Sea // Inland Water Biology. 2018. V. 11, N 2. P. 147–153.
13. Сеничева М.И. Видовое разнообразие, сезонная и межгодовая изменчивость микроводорослей в планктоне у берегов Крыма // Микроводоросли Черного моря: проблемы сохранения биоразнообразия и биотехнологического использования. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2008. С. 5–17.
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. Национальной академии наук Украины. 2010. № 6. С. 107–112.
16. Tuzhilkin V.S. Thermohaline structure of the sea. The Black Sea environment / The Handbook of Environmental Chemistry. Berling, Heidelberg: Springer, 2008. V. 5, part Q. P. 217–253.
17. Miladinova S., Stips A., Garcia-Goriz E., Macias Moy D. Black Sea thermohaline properties: Long-term trends and variations // J. Geophys. Res.: Oceans. 2017. V 122, N 7. P. 5624–5644.
18. 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.
19. Fischer W.E., Green A.B. Upwelling: Mechanisms, Ecological Effects and Threats to Biodiversity. New York, USA: Nova Science Publishers, 2013. P. 59–76.
20. Полонский А.Б., Ловенкова Е.А. Долговременные тенденции в изменчивости характеристик пикноклина Черного моря // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 2006. Т. 42, № 3. С. 419–430.
21. Stanev E.V. Understanding Black-Sea dynamics // Oceanography. 2005. V. 18, N 2. P. 56–75.
22. Oguz T., Malanotte-Rizzoli P. Seasonal variability of wind and thermohaline-driven circulation in the Black Sea: Modeling studies // J. Geophys. Res. 1996. V. 101, N 7. P. 16,551–16,569.
23. Ozsoy E., Mikaelyan A. Sensitivity to Change: Black Sea, Baltic Sea, North Sea. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher, 1997. 510 p.
24. Полонский А.Б., Дробосюк Н.С. О резких понижениях температуры поверхности Черного моря по данным многолетних спутниковых наблюдений // Системы контроля окружающей среды. 2018. № 13(33) С. 42–49.

A.B. Polonsky, E.B. Mel'nikova, A.N. Serebrennikov. Peculiarities of the variability of the intensity of the luminous plankton community in the coastal area of the Black Sea in the spring and autumn periods.

Variability of the hydrobiont bioluminescence intensity in the spring and autumn periods along the coast of Crimea and its causes are analyzed based on expedition data and satellite information. It is noted that synoptic and mesoscale eddy processes have a significant impact on the vertical distribution of the intensity of the luminescence of hydrobionts, and they must be taken into account when analyzing the seasonal variability of bioluminescence parameters. The concept of integrated intensity of luminescence of hydrobionts (IILH) is suggested, which allows us to estimate the total hydrobiont biomass in the depth range, under study. It was found that the average IILH in the northern part of the Black Sea in the autumn period was more than 10 times higher than in spring. It is noted that the mesoscale eddy processes have the greatest impact on the IILH in the area of the continental slope area.