ОПТИЧЕСКИЕ КОНТАКТНЫЕ МЕТОДЫ МОНИТОРИНГА ГИДРОСФЕРЫ И ИХ ВОЗМОЖНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В НОВЫХ НАУЧНЫХ НАПРАВЛЕНИЯХ

С.А. Шоларь, М.Е. Ли

Морской гидрофизический институт РАН, РФ, г. Севастополь, ул. Капитанская, 2 *E-mail: sa.sholar@mail.ru*

Рассмотрены основные оптические методы мониторинга состояния водной среды. При этом в ходе литературного обзора было выявлено, что контактные оптические методы активно используются для изучения распределения биомассы фитопланктона, фотосинтетической активности радиации и при анализе состава воды загрязнениями в виде растворенного органического и взвешенного вещества. Однако для исследования влияния вирусного лизиса на оптические свойства воды, как среды обитания водных вирусов (нано размерных гидробионтов), контактные оптические методы, по данным литературы, практически не применяются. Первые эксперименты по изучению влияния вирусного лизиса на прозрачность морской воды установили его роль в повышении прозрачности среды. В результате литературного обзора было выдвинуто предположение, что использование контактных оптических методов водной (морской) вирусологии – позволит получить новые факты о роли вирусов в функционировании биосистем водоемов и об их влиянии на некоторые физические параметры среды их обитания.

Ключевые слова: контактные оптические методы, спектральный измеритель показателя ослабления направленного света, оптика моря, вирусы моря, фотосинтетическая активность, флуоресценция, показатель ослабления света (ПОС).

Поступила в редакцию: 31.07.2018.

Введение. Оптические методы широко используются в системах мониторинга различных акваторий в связи с присущей им оперативностью получения информации о состоянии водной среды.

Данные, получаемые в ходе оптических исследований, используются гидрологами, гидробиологами и другими специалистами, чьи интересы связаны с оптикой моря.

Цель настоящей работы – проведение литературного анализа по проблеме использования контактных оптических методов при изучении одноклеточных гидробионтов, а также их паразитов — водных вирусов — с установлением возможности влияния вирусного лизиса на некоторые физические параметры среды их обитания.

Данные литературного обзора и их обсуждение. Для оперативного анализа состояния изучаемых акваторий контактными оптическими приборами измеряют такие характеристики, как фотосинтетическая активность (облученность), флуоресценция, прозрачность

(показатель ослабления света), яркость моря.

Для изучения фотосинтетической активности в море измеряют показатель облученности. Понимание процессов поглощения и перераспределения солнечной радиации в поверхностном слое океана представляет значительный интерес для исследователей. Это необходимо для качественного и количественного описания термодинамических и экосистемных процессов [1, 2]. Анализ вертикального распределения характеристик светового поля в толще воды необходим при выявлении тонкой структуры деятельного слоя моря. Гидрооптические свойства водной среды определяют условия распространения и трансформацию фотосинтетически активной радиации (ФАР), формирующей теплобаланс фотической зоны. По данным гидрооптических измерений с использованием фотометров облученности (квантометров), оперативно выделяются слои повышенного содержания бактерио- и фитопланктона, скопления взвеси различного генезиса, характеристики нефелоидных прослоек в толще вод и на придонных горизонтах.

Интенсивность фотосинтеза и биомассу фитопланктона в водоемах, как правило, определяют по концентрации хлорофилла - фотосинтетического пигмента растительной клетки [3]. Для определения концентрации хлорофилла чаще всего используют спектрофотометрический метод [4]. Низкая производительность спектрофотометрического метода актуализирует использования оптических экспрессных методов, позволяющих получать информацию о требуемых характеристиках in situ в реальном масштабе времени, без отбора проб и их подготовки. Наиболее перспективным в этих целях представляется использование явления флюоресценции хлорофилла. Среди различных видов флюориметрических измерений простейшим является измерение интенсивности свечения. Используемые для определения интенсивности свечения приборы называются флюориметрами.

Данные флюориметров, которые измеряют флюоресценцию хлорофилла а, можно интерпретировать как распределение биомассы фитопланктона [5, 6]. Флюоресцентные методы позволяют работать с нативными объектами (при низких интенсивностях свет, возбуждающий флюоресценцию, мало меняет физиологическое состояние тканей), обладают высокой чувствительностью и обеспечивают регистрацию динамики процессов. Посредством откалиброванных in situ флюориметров концентрация хлорофилла a оценивается уже более 40 лет [7], и большая часть наших знаний о пространственном распределении фитопланктона в Мировом океане обусловлена применением флюориметрических наблюдений [8, 9]. В настоящее время флюоресценция хлорофилла а в светлое время суток на поверхности океана может быть измерена даже дистанционно с самолетов или спутников [10, 11]. Однако данные исследования являются неполными без контактных измерений на месте погружными оптическими приборами. Контактные измерения важны для валидации спутниковых данных и разработки региональных алгоритмов дистанционного зондирования.

Применение флюориметров для измерения интенсивности флюоресценции в сочетании с одновременными измерениями обилия содержания растворенного органического вещества и параметрами рассеяния позволяет в короткие сроки получать информацию о содержании оптически активных компонент в природных водах. Дополнительные сведения о рассеивающих свойствах исследуемого объема в области малых и больших углов позволяют оценить соотношение между фракциями мелкой и крупной взвеси, а также терригенной и биогенной составляющей взвеси [12].

Интенсивность флюоресценции различных типов микроводорослей, нормализованная по содержанию хлорофилла и по интенсивности светового потока, представлена на рис. 1.

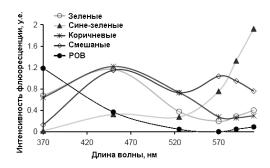


Рис. 1. Интенсивность флюоресценции различных видов микроводорослей, нормализованная по содержанию хлорофилла и по интенсивности светового потока [8, 9]

Одним из основных показателей биологического состояния воды является ее прозрачность. Измерения вертикальных профилей показателя ослабления света (ПОС), характеризующего прозрачность воды, позволяют получить детальную информацию о вертикальной биооптической структуре природных вод, а также дают возможность отбирать пробы на оптимальном числе горизонтов.

Показатель ослабления складывается из суммы показателей поглощения и рассеяния и обусловлен оптическими свойствами чистой воды, растворенных веществ и взвеси (терригенной и биогенной). С учетом оптически активных компонентов океанской воды, влияющих на поглощение и рассеяние света, пока-

затель ослабления света ε определяется следующим образом [13] $\varepsilon = \kappa_{v_{i6}} + \kappa_{e36} + \kappa_{v_{i6}} + \sigma_{v_{i6}} + \sigma_{e36}$, где $\sigma_{v_{i6}}$ и $\kappa_{v_{i6}} - \sigma_{v_{i6}}$ и гоглощение чистой водой; σ_{e36} и κ_{e36} — рассеяние и поглощение взвесью, κ_{c36} — поглощение растворенными органическими соединениями (желтым веществом).

Эти компоненты по-разному влияют на величину показателя в различных участках спектра. Спектр оптической плотности терригенной взвеси не обладает избирательностью поглощения, а пигменты фитопланктона имеют наиболее четко выраженные максимумы поглощения, располагаемые на длинах волн 420–440 нм и 660–680 нм. Спектральная кривая поглощения растворенным органическим веществом в спектре показателя ослабления описывается степенной функцией вида [14] $e^{-0.015 \cdot \lambda}$.

Поглощение растворенным органическим веществом (РОВ) резко возрастает в синей области, и РОВ в этой области спектра является основным фактором поглощения, а в красной области спектра поглощение, частицами, так И растворенным органическим веществом исчезающе мало. Таким образом, показатель является ослабления не только гидрофизической характеристикой морской среды, но и содержит сведения о концентрации фитопланктона, а также биологической продуктивности исследуемых вод. Следовательно, исследования спектрального состава ПОС предоставляют возможность определять качественный количественный состав оптически активных примесей в воде.

Исторически наибольшее распространение получили эмпирические оценки методы содержания взвеси в воде по измерениям на одной длине волны в красной области спектра, т.к. показатель ослабления для этой области спектра линейно связан с концентрацией частиц [14-16]. Для получения сведений о содержании остальных оптически активных авторы примесей разные также применяли эмпирические отношения, полученные для измерений на однойтрех длинах волн, используя при этом региональные модели спектрального распределения ПОС [17–20]. Применение подробных спектральных измерений и использование для расчетов спектров поглощения удельных рассеяния фитопланктона, взвеси существенно желтого вещества повышают точность исследований [21].

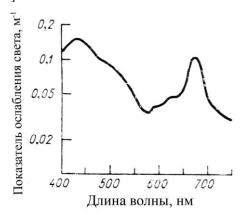
Необходимо отметить, что поскольку поглощение хлорофилла обуславливает не более 5% в спектральной изменчивости ПОС [20], то требования к точности и стабильности измерителя высоки. В связи с этим, при создании спектральных измерителей показателя ослабления света, проблема складывается из двух основных направлений - обеспечение алгоритмического решения спектрофотометрической задачи (на основе выбора информативных участков спектральной характеристики), и устойчивости системы в целом, как и ее стабильности на каждом этапе преобразования. Известно, что восстановление концентрации фитопланктона связано с коэффициентами ослабления и поглощения света следующей зависимостью: 1 мкг/л ориентировочно соответствует 0,015 м⁻¹ [22]. Для оценки биопродуктивности и решения биофизических задач в естественной водной среде точность определения концентрации фитопланктона должна соответствовать не менее 0,1 мкг/л. Следовательно, точность определения коэффициентов поглощения и ослабления света должна быть 0,001 м⁻¹.

К примеру, для спектрального 9-канального измерителя показания света, разработанного в лаборатории оптики и биофизики моря МГИ (СИПО-9), выбор именно 9 участков спектра обусловлен следующим:

- -370 нм, 400 нм служат для оценки концентрации РОВ;
- -447,5 нм соответствует синему максимуму поглощения хлорофилла a;
- 470; 505; 530; 590 нм служат для уточнения формы спектра показателя ослабления;
- 617 нм предназначен для оценки общего показателя рассеяния;
- 660 нм необходим для оценки содержания взвеси.

Измерение ПОС широко используется при анализе состава воды загрязнениями в виде растворенного органического (РОВ) и взвешенного вещества [23].

Известно, что каждая из суспензий культур микроводорослей обладает определенным спектром показателя ослабления света на различных длинах волн. Йенч [24], используя методику Шибаты, изучал поглощение света естественными популяциями планктона и получил спектры распределения показателя ослабления света от длин волн для различных культур микроводорослей. На рис. 2 представлен спектральный показатель ослабления для суспензии микроводоросли Phaeodactylum tricornurutum, полученный методом молочного стекла [24].



Puc. 2. Спектральный показатель ослабления света для суспензии микроводоросли Phaeodactylum tricornutum в морской воде [24]

Таким образом, анализ литературы выявил активное применение контактных оптических методов в изучении распределение биомассы фитопланктона, фотосинтетической активности радиации, при анализе состава воды загрязнениями в виде растворенного органического и взвешенного вещества (in situ и in vivo, а особенно для мониторинга).

Однако эти методы редко используются в такой молодой и стремительно развивающейся в последние годы науке, как морская (водная) вирусология. Это новое научное направление нуждается в усовершенствовании классических и в применении новых способов и методов для изучения водных (морских) вирусов и их роли в экологии гидросферы [25—29].

Так, из литературных источников морские известно, что вирусы данным экспериментов угнетают первичную продукцию фитопланктона, подробно рассматривается литературном обзоре монографии [26]. В исследованиях, проведенных учеными МГУ. Севастополя использованием прибора Тох Ү-РАМ (Pulse amplitude modulation) (Walz, измерения Germany) И переменной флюоресценции В динамике, зафиксировано снижение эффективности первичных процессов фотосинтеза Fv/Fm (рис. 3) и уровня переменной флюоресценции Fv(рис. 4) инфицированных вирусом культурах микроводоросли [28, 29]. При этом использовали черноморский альговирус TvV-S1, a также культуры микроводорослей Tetraselmis viridis из Черного моря (ИнБЮМ ныне ИМБИ, г. Севастополь) и Белого моря (Россия, МГУ. Москва). являюшиеся культивируемыми музейными штаммами соответствующих учреждений.

Как известно, вирусный лизис клеток бактерий или микроводорослей приводит уменьшению К концентрации и, как следствие, из визуальных наблюдений экспериментах, увеличению к прозрачности среды изучаемых (пробирках, колбах), емкостях следовательно, и среды их обитания, например морской воды [26, 27]. В работе [26] описано изменение оптической плотности смеси морской воды с культурами поли- и моно бактерий и бактериофагов в результате вирусного лизиса.

Так при использовании прибора по мониторингу оптической плотности оптического анализатора Биоскрин С исследователи сравнивали показатели опыта (инфицированные результатов вирусами культуры бактерий) контролем (культуры без добавления вирусной фракции). Отмечалось повышение прозрачности в динамике в экспериментов использованием c результате опыта по сравнению контролем. Графики одного из оптического анализатора Боскрин C представлены на рис. 5.

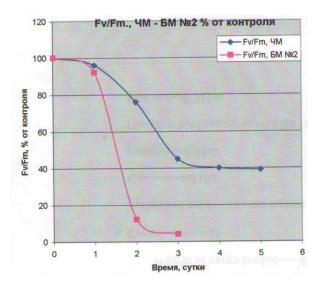


Рис. 3. Эффективность первичных процессов фотосинтеза (Fv/Fm, % от контроля) инфицированных черноморским альговирусом *TvV-S1* культур микроводорослей *Tetraselmis viridis* из Черного (ЧМ) и Белого (БМ) моря [28, 29]

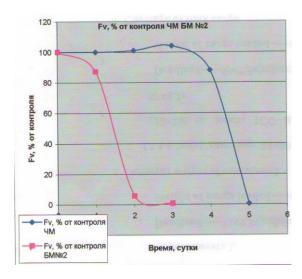


Рис. 4. Изменение во времени переменной флуоресценции (Fv, % от контроля) инфицированных черноморским альговирусом *TvV-S1* культур микроводорослей *Tetraselmis viridis* из Черного (ЧМ) и Белого (БМ) моря [28, 29]

На рис. 5 можно видеть из представленных кривых роста неинфицированной и инфицированной вирусами культуры бактерии *Xanthomonas axanopodis pv. beticola* (штамм 7325), что разные вирусные изоляты (бактериофаги) поразному влияют на одну и ту же культуру бактерий, т.е. обладают разной лити-

ческой активностью. А это в свою очередь по-разному отражается на изменении (повышении) прозрачности в результате опыта по сравнению с контролем. Использование в этих экспериментах бактерии Xanthomonas axanopodis pv. beticola (штамм 7325) не случайно, т.к. к этой бактерии из материала от черноморских рыб были изолированы вирусы (бактериофаги), что свидетельствует о циркуляции этой бактерии и вирусов к ней в Черном море [26].

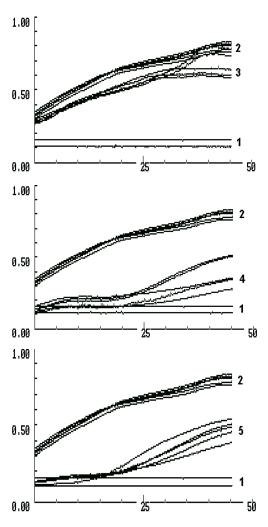


Рис. 5. Графики кривых роста культуры Xanthomonas axanopodis pv. beticola (штамм 7325) с первоначальным титром 2х10⁵ кл/мл в контроле (кривые 2) и в результате опыта — в контакте с вирусными изолятами 7325-1/1 (кривые 3), 7325-10/1 (кривые 4) и 7325-17/1 (кривые 5). Контроль питательной среды на основе морской воды и вирусных изолятов — кривые 1. По вертикали — единицы оптической плотности, по горизонтали — время в часах [26]

По данным экспериментов [27] было выявлено, что вирусный лизис влияет на изменение электрической проводимости морской воды. Так при повышении температуры среды - морской воды в смеси с микробиотой (микроводоросли и альговирусы) - отмечалось снижение электрической проводимости в период вирусного лизиса. В этой же работе впервые, при помощи приборов (СИПО-4 и СИПО-9), объективно оценивающих изменения прозрачности среды, было отмечено стойкое изменение (снижение) прозрачности морской воды после добавления культур микроводорослей (модель цветения фитопланктона) и выявлена динамика изменения (увеличения) прозрачности морской воды после добавления альговирусов (модель влияния вирусов на цветение фитопланктона). Также была отмечена зависимость изменения ПОС в процессе вирусного лизиса их одноклеточных хозяев - микроводорослей. Логично предположить, что в ходе таких экспериментов возможно также и изменение спектров показателя ослабления света.

В некоторых оригинальных работах [30, 31] метод рассеяния был использован для определения молекулярного веса вирусов – M. Измерения, необходимые для вычисления M состоят в определении показателя преломления μ_0 и разности показателя преломления $\mu - \mu_0$ (что выполнялось при помощи погружного рефрактометра) и в спектрофотометрическом определении оптической плотности D для различных длин волн λ (нм) и разных концентраций C (г/см³). Таким путём изучались два вируса: вирус инфлуэнцы и вирус, задерживающий рост томатов. Для этих вирусов были получены молекулярные значения, что позволило определить и размеры вирионов, которые соответствовали размерам, ранее выявленным при помощи электронного микроскопа, а также методами ультрацентрифугирования и диффузии.

Таким образом, по данным литературы [30, 31] и по результатам первых экспериментов [27], можно констатировать, что контактные оптические методы вполне приемлемы при изучении наноразмерных объектов – вирусов, а также для выявления их роли в изменении некоторых физических параметров среды их обитания (воды). Ввиду развития, которое получила за последнее время фотометрия и спектрофотометрия, метод рассеяния, несомненно, приобрел в последнее время широкое применение.

В докладе Кубрякова А.А. «Динамика цветения кокколитофорид по данным Био-Арго: вертикальное распределение и влияние на образование растворенной органики», который был представлен на семинаре «Оперативная океанография» 23.04.18 в МГИ РАН, а также в работе [32], на основе данных, полученных с буев Био-Арго, измеряющих вертикальное распределения биооптических параметров, были сделаны некоторые выводы и предположения о влиянии вирусной инфекции на численность коколитофоридов, а, следовательно, и на прозрачность слоев воды Черного моря.

Так было отмечено, что при быстром прекращении летнего цветения кокколитофоридов оптическое поглощение воды значительно увеличивается, имея пик в июле-августе на глубине 15-35 м. Спектры поглощения имеют максимум на короткой длине волны, что указывает на наличие большого количества растворенного органического вещества. Совпадение времени и глубины прекращения цветения и высвобождения растворенной органики указывает, по мнению авторов, на присутствие вирусного лизиса и доказывает его влиянии на цветение кокколитофорида. Вирусный лизис усиливает производство липидов и экссудацию в клетках кокколитофоридов, что приводит к наблюдаемому максимуму растворенной органики в летний период. Неоднородности из растворенной органики, образовавшиеся во время прекращения цветения кокколитофоридов, являются вероятным источником пищи для популяции летних бактерий. Почти полное исчезновение неоднородностей растворенной органики после двух месяцев (июль-август) свидетельствует о роли бактерий (микробная петля) в экосистеме Черного моря в осенний период. Выброс растворенной органики в летний период отсутствует на поверхностных слоях и наблюдается только на подповерхностных.

Вирусный лизис, по мнению докладчика, идет на спад в большинстве верхних слоев летом из-за воздействия солнечной радиации. Тем не менее, клетки кокколитофоридов должны вырабатывать больше кокколитов для защиты от интенсивного солнечного излучения, за счет чего увенчивается их масса (плотность). Тяжелые кокколиты опускаются в нижние слои, где и происходит вирусный лизис.

Во время зимнего цветения кокколитофоридов содержание растворенной органики также увеличивается в смешанном слое с максимумом в приповерхностном слое на глубине 0-10 м. Содержание растворенной органики меньше, и ее выброс наблюдается в начале зимнего цветения. Это указывает, по мнению докладчика, на меньшее влияние вирусного лизиса на эволюцию и прекращение зимнего цветения. При этом авторы предполагают, что данное наблюдение может быть связано с более низкими зимними температурами или более низкой концентрацией клеток-хозяев, которые снижают активность вирусного лизиса и взаимодействия клеток с вируса-

Наиболее полная картина, объясняющая процессы и механизмы контакта вирусов с клетками их хозяев в гидросфере, раскрыта в концептуальной модели морских вирусологов Wommack и Colwell [33]. Авторы также описывают роль и значение водных вирусов в создании растворенного органического

вещества и в других важных процессах в биосистемах водоемов. Эта же информация с анализом и интерпретацией некоторых моментов представлена в литературном обзоре монографии отечественного морского вирусолога [26].

Для изучения состава микропланктона, в т.ч. вирусов и вирусной составляющей в гидросфере, используются классические оптические методы - световая и электронная микроскопия, проточная цитометрия и пр. [26, 33–35]. При этом в таких методах для изучения материала в лабораторных условиях используют отдельные пробы, отобранные из водоемов. Однако в нашем сообщении проанализированы методы и способы, которые позволяют проводить исследования непосредственно в полевых условиях (іп situ и in vivo), либо выполнять мониторинг в специальных лабораторных установках (in vitro), так называемых микрокосмах, условия в которых приближены к естественной, природной среде.

Таким образом, проведенный анализ опубликованных литературных источников по вопросу возможного использования контактных оптических методов для изучения роли вирусов, самых многочисленных, но наименее изученных среди гидробионтов, в функционировании биосистем водоемов не выявил широкого практического применения этих методов. Однако, описанное использование метода рассеяния для определения молекулярного веса вирусов инфлуэнцы и инфекции томатов [30, 31] подтверждает возможность использования контактных оптических методов для изучения нано размерной фракции гидробионтов - вирусов гидросферы. А первые эксперименты по изучению изменения прозрачности среды (морской воды) под влиянием вирусного лизиса [27] при моделировании цветения представителей фитопланктона свидетельствуют о возможности практического использования контактных оптических методов в новом научном направлении - морской вирусологии. В пользу этого свидетельствуют и результаты зафиксированного снижение эффективности первичных процессов фотосинтеза и уровня переменной флуоресценции в инфицированных вирусом культурах микроводоросли [28, 29].

Заключение. На основании данных, полученных в ходе литературного обзора по анализу информации об особенностях применения оптических контактных методов при изучении одноклеточных организмов и вирусов, были сделаны следующие выводы:

- контактные оптические методы активно используются для изучения распределение биомассы фитопланктона, фотосинтетической активности радиации (ФАР) и при анализе состава воды загрязнениями в виде растворенного органического и взвешенного вещества;
- для исследования влияния вирусного лизиса на оптические свойства воды, как среды обитания этих нано размерных гидробионтов, контактные оптические методы, практически не применяются;
- в литературе найдены сведения о возможности использования контактных оптических методов для изучения вирусов гидросферы и их роли в функционировании биологических и экологических систем водоемов;
- выполненные с нашим участием в 2018 г. эксперименты с использованием контактных оптических методов [27] подтвердили роль вирусного лизиса в повышении прозрачности морской воды, о чем свидетельствовали и более ранние опыты с применением оптического анализатора Биоскрин С [26].

По нашему мнению, можно предположить, что использование контактных оптических методов в морской вирусологии позволит получить новые факты о роли вирусов в функционировании биосистем водоемов и об их влиянии на некоторые физические параметры среды их обитания.

Иными словами, эти новые знания, полученные на уровне междисциплинарных исследований, послужат развитию нового научного направления — водной (морской) вирусологии, а также расширят области и возможности применения контактных оптических методов, чему и будут посвящены наши дальнейшие исследования.

Работа выполнена в МГИ РАН в рамках государственного задания по теме № 0827-2018-0002.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. *Монин А.С.* Оптика океана: Прикладная оптика океана. М.: Наука, 1983. Т. 2. 326 с.
- 2. Ли М.Е., Шибанов Е.Б., Мартынов О.В. Измерения спектральных свойств вертикального распределения горизонтальной облученности // Современные проблемы оптики естественных вод. М., 2015. С. 271–277.
- 3. *Винберг Г.Г.* Продуктивность и охрана морских и пресных водоёмов. М.: Наука, 1989. 135 с.
- 4. Сиренко Л.А., Сакевич А.И., Осипович Л.Ф. Методы физиологобиохимического исследования водорослей в гидробиологической практике. Киев: Наукова думка, 1975. 247 с.
- 5. Ли М.Е., Ли Р.И., Мартынов О.В. Определение биооптических свойств вод по измерениям спектральных характеристик флюоресценции и рассеяния света в морской среде // Системы контроля окружающей среды. 2014. Вып. 20. С. 74–83.
- 6. *Вавилова В.В.*, *Чернявский Е.Б.* О пятнах фитопланктона в море // Промысловая океанология. 1977. № 3. С. 1–18.
- 7. Lorenzen C.J. A method for the continuous measurement of the in vivo Chlorophyll concentration // Deep-Sea Research. 1966. Vol. 13. P. 223–227.

- 8. *Cullen J.J.* The deep Chlorophyll maximum: Comparing vertical profiles of Chlorophyll // Can. J. Fish. Aquat. Res. 1982. Vol. 39. P. 791–803.
- 9. *Dickey T*. The emergence of concurrent high-resolution physical and biooptical measurements in the upper ocean // Rev. Geophys. 1991. Vol. 29. P. 383–413.
- 10. Behrenfeld M.J., Westberry T.K., Boss E.S. et al. Satellite-detected fluorescence reveals global physiology of ocean phytoplankton // Biogeosciences. 2009. Vol. 6. P. 779–794.
- 11. Gower J.F.R., Brown L., Borstad G.A. Observation of chlorophyll fluorescence in west coast waters of Canada using the MODIS satellite sensor // Can. J. Remote Sens. 2004. Vol. 30. P. 17–25.
- 12. Twardowski M.S., Boss E., Macdonald J.B., Pegau W.S., Barnard A.H., Zaneveld J.R.V. A model for estimating bulk refractive index from the optical backscattering ratio and the implications for understanding particle composition in case I and case II waters // J. Geophys. Res. 2001. Vol. 106. P. 14 129–14 142.
- 13. Ли М.Е., Мартынов О.В., Латушкин А.А. Прибор для определений содержания взвеси и растворенного органического вещества в морской воде по измерениям показателя ослабления света от ближней уф до красной области спектра // Интегрированная система мониторинга Черного и Азовского морей: Междунар. науч. конф. (г. Севастополь, МГИ НАНУ, 24–27 сентября 2013 г.). 2013. С. 31–35.
- 14. *Jerlov N.G.* Optical Measurements in the Eastern North Atlantic // Med. Oceanogr. Inst. 1961. Vol. 30. P. 1–40.
- 15. Ochakovsky Yu.E. On the dependence of the total attenuation coefficient upon suspensions in the sea // US Dept. Commerce, Joint Publ. Res. Serv. Rep. 1966. Vol. 36. № 816. P. 16–24.
- 16. *Jaksonvil J.M.* Transmissometer Manual. Oregon: Sea Tech. Inc. Corvallis. 1989. 22 p.

- 17. *Kroebel W.* The use of optical attenuance meters for biological measurements // Oceans '77 Conference Record. 1977. P. 534–540.
- 18. *Kenneth J. Voss*. A spectral model of the beam attenuation coefficient in the ocean and coastal areas // Limnol. Oceanogr. 1992. Vol. 37 № 3. P. 501–509.
- 19. Левашов Д.Е., Левашова С.С. Первая масштабная биооптическая съемка в юго-восточной части Тихого океана // Вопросы рыболовства. 2010. Т. 11. № 4 (44). С. 653–663.
- 20. Маньковская Е.В., Маньковский В.И. Информационная технология расчета спектрального вклада компонентов морской среды в показатель ослабления света для вод Черного моря // Системы контроля окружающей среды. 2007. С. 79–82.
- 21. Barth H., Reuter R., Schröder M. Measurement and simulation of substance specific contributions of phytoplankton, gelbstoff, and mineral particles to the underwater light field in coastal waters // EARSeL eProc. 2000. Vol. 1. P. 165–174.
- 22. Патент 5424840 USA, МПК G01N 21/85; In situ chlorophyl absorption meter / C. Moore, J.R.V. Zaneveld (USA); заявитель The State of Oregon Acting by and through the State Board of Higher Education on Behalf of Oregon State University (USA). № 285486; заявл. 03.08.1994; опубл. 13.06.1995.
- 23. Korchemkina E.N., Latushkin A.A., Lee M.E. Determination of particles concentration in Black Sea waters from spectral beam attenuation coefficient // Proceedings Vol. 10466, 23rd International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics, 30 November 2017 Γ., Irkutsk, 2007. P. 23–35.
- 24. *Yentsch C.S.* Measurement of visible light absorption by particulate matter in the ocean // Limnol. Oceanogr. 1962. Vol. 7. P. 207–217.
- 25. *Suttle C.A.* Marine viruses major players in the global ecosystem // Nature

Reviews Microbiology. 2007. № 5. P. 801–812.

- 26. Степанова О.А. Экология аллохтонных и автохтонных вирусов Черного моря. Севастополь: Мир "ЭКСПРЕСС ПЕЧАТЬ", 2004. 308 с.
- 27. Степанова О.А., Гайский П.В, Шоларь С.А. Влияние вирусного лизиса на некоторые физические параметры морской воды в условиях эксперимента // Системы контроля окружающей среды. 2018. Вып. 13 (33). С. 19–28.
- 28. Stepanova O.A., Osipov V.A., Matorin D.M. Use of a method of fluorescence at study of process of interaction between algae virus and sensitive algae culture // Abstracts V Intern. conf. "Bioresourses and Viruses" September 10–13 2007, Kyiv, Ukraine, Kyiv: Phithosociocenter. P. 94.
- 29. *Stepanova O.A.* Search, isolation and study of Black sea algal viruses 2002–2013. New facts and hypotheses. [Saarbrücken]: Lambert Academic Publishing, 2014. 56 p.
- 30. Шпольский Э.В. Применение рассеяния света для определения молекулярного веса // Успехи физических наук. 1947. Т. 31. № 3. С. 417–420.

- 31. Oster G. Molecular weights and other properties of viruses as determined by light absorption // Science. 1946. Vol. 103. \mathbb{N}_{2} 2671. P. 306–308.
- 32. Кубряков А.А., Станичный С.В., Кубрякова Е.А. Изменчивость биооптических характеристик Черного моря по измерениям буев Био-Арго и спутниковым данным // Комплексные исследования Мирового океана: П Всероссийская науч. конф. молодых ученых (г. Москва, Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 10–14 апреля 2017 г.). 2017. С. 130–131.
- 33. *Wommack K.E.*, *Colwell R.R.* Virioplankton: Viruses in aquatic ecosys tems // Microbiol. and Molec. Biol. Re views. 2000. Vol. 64. № 1. P. 69–114.
- 34. *Ormerod M.G.*, *Tribukait B.*, *Giaretti W.* Consensus report of the task force on standardisation of DNA flow cytometry in clinical pathology // Analytical Cellular Pathology. 1998. Vol. 17. № 2. P. 103–110.
- 35. Кудрявцев И.В., Хайдуков С.В., Зурочка А.В., Черешнев В.А. Проточная цитометрия в экспериментальной биологии. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2012. 192 с.

OPTICAL CONTACT METHODS OF MONITORING THE HYDROSPHERE AND THEIR POSSIBLE USE IN NEW SCIENTIFIC DIRECTIONS

S.A. Sholar, M.E. Lee

Marine Hydrophysical Institute of RAS, 2, Kapitanskaya St., Sevastopol, Russian Federation

The main optical methods for monitoring the state of the aquatic environment are considered. In the course of the literature review, it was found that contact optical methods are actively used to study the distribution of phytoplankton biomass, the photosynthetic activity of radiation, and when analyzing the composition of water with contaminants in the form of dissolved organic and suspended matter. However, to study the effect of viral lysis on the optical properties of water as the habitat of aquatic viruses (nano sized hydrobionts), contact optical methods, according to the literature, are practically not used. The first experiments to study the effect of viral lysis on the transparency of marine water have established its role in increasing the transparency of the medium (sea water). We assume that the use of contact optical methods in young and rapidly developing science - aquatic (marine) virology will allow us to obtain new facts about the role of viruses in the functioning of bio systems of hydrosphere and their influence on certain physical parameters of their habitat.

Keywords: contact optical methods, multi-spectral light beam attenuation meter, sea optics, sea viruses, photosynthetic activity, fluorescence, light beam attenuation coefficient (BAC).