

У Т В Е Р Ж Д АЮ

Проректор по научной работе
Федерального государственного
бюджетного образовательного
учреждения высшего
профессионального образования
«Санкт-Петербургский государственный
университет»

Доктор химических наук, профессор



Отзыв

ведущей организации на диссертацию Буановой Татьяны Васильевны
«ТЕНДЕНЦИИ ЭВТРОФИРОВАНИЯ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ
БАЛТИЙСКОГО МОРЯ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ», представленную на
соискание ученой степени кандидата географических наук
по специальности 35.00.28- Океанология

Диссертация Т.В. Буановой посвящена оценке уровня эвтрофирования и тенденций его изменения в юго-восточной части Балтийского моря по спутниковым данным оптического диапазона. **Актуальность исследования** определяется недостаточной изученностью одной из актуальных экологических проблем Балтийского моря - антропогенного эвтрофирования его акватории (HELCOM, 2014). Под эвтрофированием в работе понимается процесс повышения биологической продуктивности и ухудшения качества вод, вызванный избыточным поступлением в водоем биогенных элементов, прежде всего азота и фосфора, под воздействием антропогенных и естественных факторов (Россолимо, 1975; HELCOM, 2006; Schiewer, 2008).

К числу наиболее эвтрофированных районов Балтийского моря относится его го-восточная часть - акватория Гданьского залива. Исследования показывают, что здесь наблюдаются максимальные концентрации хлорофилла «а» и значения биомассы сине-зеленых водорослей. В открытой части Балтийского моря отмечена тенденция слабого снижения концентрации хлорофилла «а» за 1974–2006 гг. Сложившаяся ситуация в различных районах Балтийского моря привела к необходимости разработки надежных методов мониторинга показателей эвтрофирования. Репрезентативным критерием продуктивности водоемов является

определение концентрации хлорофилла «а», основного пигмента фитопланктона, играющего важнейшую роль в процессе фотосинтеза. Информация о пространственно-временной изменчивости концентрации хлорофилла «а» служит важнейшим индикатором эвтрофирования.

Концентрация хлорофилла «а» - одна из немногих характеристик морских экосистем, изменчивость которой, с помощью спутниковой информации, может быть изучена в широком диапазоне пространственных и временных масштабов. Однако спутниковые данные оптического диапазона ограничены или полностью отсутствуют в период повышенной облачности. Спутниковые спектрорадиометры регистрируют величины яркости рассеянного и отраженного излучения с поверхности моря, которое обусловлено наличием в морской воде оптически активных компонентов: хлорофилла «а», взвешенного неорганического вещества и окрашенного растворенного органического вещества. В зависимости от соотношения концентраций данных компонентов в морской среде определяются оптические свойства акваторий.

Для расчета концентрации хлорофилла «а» по спутниковым данным используются алгоритмы, основанные на регрессионных соотношениях спектральных коэффициентов яркости восходящего излучения на каналах минимума и максимума поглощения. Стандартные алгоритмы расчета концентрации хлорофилла «а» были разработаны для открытых океанических вод I типа по классификации оптических свойств. Хлорофилл «а» здесь выступает единственным оптически активным компонентом среды, а значениями остальных компонентов пренебрегают. Данные алгоритмы нуждаются в существенной коррекции для вод II типа – высокопродуктивных, мутных прибрежных, внутренних вод и вод эстуариев, где концентрация хлорофилла «а» является далеко не единственным фактором, определяющим оптические свойства. Воды Балтийского моря относят именно ко II типу оптически сложных вод с высоким содержанием взвешенного неорганического и растворенного органического вещества, оказывающего влияние на спектральную яркость излучения во всем видимом диапазоне спектра, от синей до красной области. Применяемые стандартные алгоритмы оценки концентрации хлорофилла «а» по данным спутниковых спектрорадиометров для акватории Балтийского моря показывают существенное завышение значений, иногда более чем на порядок, по сравнению с натурными данными. В юго-восточной части Балтийского моря особенное влияние на оптические свойства акватории оказывает значительный сток с суши, в том числе сток крупных равнинных рек – Вислы и Немана, приносящих ежегодно значительное количество взвешенного вещества, перекрывающего вклад хлорофилла «а» в спектральную яркость излучения.

Актуальной является разработка (у докторантки – коррекция) стандартных методик расчета концентрации хлорофилла «а» по спутниковым данным на основе натурных наблюдений с учетом региональной специфики оптических свойств вод II типа.

Таким образом, актуальность данного докторантского исследования не вызывает сомнений, по существу работа имеет отношение к одной из важнейших задач человечества – сохранению для настоящего и будущего поколений людей водных ресурсов высокого качества. Все вышеизложенное свидетельствует о

высокой актуальности рецензируемой работы как океанологического исследования.

Характеристика структуры и содержания исследования. Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук (Атлантическое отделение). Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы. Общий объем работы – 142 с. Текст работы сопровождается 57 рисунком и 23 таблицами. Список литературы содержит 210 источников, в том числе 63 на русском языке и 147 на иностранных языках. Структура работы в полной мере раскрывает как теоретические положения проведенного исследования, так и основные результаты, полученные автором.

Цель и задачи исследования. Цель работы - оценка уровня эвтрофирования и тенденций его изменения в юго-восточной части Балтийского моря по спутниковым данным оптического диапазона. Для достижения цели автором решались следующие задачи:

1. Верифицировать существующие спутниковые алгоритмы расчета концентрации хлорофилла «а» по данным судовых измерений.
2. Разработать региональный алгоритм расчета концентрации хлорофилла «а» для юго-восточной части Балтийского моря.
3. Провести анализ сезонной и межгодовой изменчивости концентрации хлорофилла «а» по разработанному алгоритму.
4. Оценить уровень эвтрофирования и качество вод юго-восточной части Балтийского моря на основе спутниковых данных по концентрации хлорофилла «а».
5. Выявить тенденции развития эвтрофикации за период с 2003 по 2012 гг.

Первая глава работы «ПРОБЛЕМА ЭВТРОФИКАЦИИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ: ОСОБЕННОСТИ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ» (с.10-42) посвящена анализу проблемы эвтрофирования. Рассматриваются: механизм и факторы эвтрофикации, основные показатели эвтрофикации: фитопланктон, концентрация хлорофилла «а»; уровень эвтрофирования; методы дистанционного зондирования в изучении проблемы эвтрофикации; дистанционное зондирование в оптическом диапазоне; применение спутниковых данных оптического диапазона для расчета концентрации хлорофилла «а».

Вторая глава работы «РАЗРАБОТКА РЕГИОНАЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ РАСЧЕТА КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРОФИЛЛА «А» В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ» (с.43-74) посвящена описанию района исследований, материалам и методам судовых измерений, дистанционного зондирования, статистического анализа; верификации стандартных алгоритмов обработки спутниковых данных для расчета концентрации хлорофилла «а»; разработке алгоритма атмосферной коррекции спутниковых данных и оценке ошибок стандартных алгоритмов атмосферной коррекции спутниковых данных.

Третья глава диссертации «ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРОФИЛЛА «А» И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ЭВТРОФИКАЦИИ В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО

МОРЯ» (с.75-122) посвящена анализу сезонной и межгодовой изменчивости концентраций хлорофилла, его пространственному распределению по акватории, тенденциям развития эвтрофикации; установлению корреляций концентрации хлорофилла «а» с температурой поверхности моря, связи уровня эвтрофирования и качества воды в российском секторе юго-восточной части Балтийского моря.

В заключении (с.123-125) приводятся 10 основных выводов по работе.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в том, что автором:

- предложен модифицированный региональный алгоритм расчета концентрации хлорофилла «а» по спутниковым данным MODIS с более точной оценкой данного параметра в юго-восточной части Балтийского моря;
- данные по концентрации хлорофилла «а» в районе исследования уточнены и существенно дополнены благодаря региональному алгоритму;
- установлена положительная тенденция роста концентрации хлорофилла «а» в поверхностном горизонте юго-восточной части Балтийского моря за 2003-2012 гг.;
- выявлен рост уровня эвтрофирования и ухудшение качества вод в районе исследования (за 2003-2012 гг.), что может привести к изменению структуры экосистемы.

Обоснованность, достоверность и практическая значимость результатов исследования. Результаты исследования и выводы, приведенные в диссертационной работе, основываются на данных, полученных по литературным источникам и лично автором. Вклад автора состоит в том, что в основу диссертации положен фактический материал, полученный в результате приема и обработки спутниковых данных оптического диапазона спектрорадиометров MODIS-Terra, MODIS-Aqua, MERIS-Envisat, SeaWiFS-Seastar (1027 спутниковых снимков с 2003 по 2012 гг., выборка данных за 2003-2012 гг. составила 46856 значений), а также проведения экспедиционных работ ООО «Морское венчурное бюро», а также ООО «ЛУКОЙЛ-Калининградморнефть». Автор принимала непосредственное участие в четырех подспутниковых экспериментах в Юго-Восточной Балтике.

Оценка полноты и достоверности результатов исследований выявила следующее:

1- в работе использованы современные методики сбора и обработки исходной информации, компьютерной разноспектрной визуализации полученных результатов;

2 - идея работы базируется на обобщении многолетних исследований ФГБУ науки Институте океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук (Атлантическое отделение) и других организаций, достоверность результатов работы подтверждается их внутренней непротиворечивостью и соответствием теоретическим положениям фундаментальных исследований в области закономерностей распределения исследуемых характеристик в компонентах природной среды;

3- применением принципов и методов системного анализа, математических, статистических и других современных научных методов, использовавшихся для обеспечения наибольшей точности расчета концентрации хлорофилла «а» в

поверхностном горизонте юго-восточной части Балтийского моря по сравнению со стандартными алгоритмами;

4 – апробацией результатов исследований на научно-практических конференциях, отражением основных результатов диссертации в открытой печати. По материалам диссертации опубликовано 12 работ, в том числе 2 статьи в периодическом издании, рекомендованном ВАК. Этапы работы проходили экспертную оценку и поддерживались грантами РФФИ; Партнерством по наблюдениям в Мировом океане и Научным комитетом по океаническим исследованиям POGO-SCOR Visiting fellowship (2012 г.), а также на конкурсе научных работ молодых ученых и специалистов Калининградской области (2011 г.).

5 – результаты работы апробированы в рамках выполнения тем по грантам РФФИ № 10-05-90718-моб_ст, № 11-05-90760-моб_ст, № 12-05-90814-мол_рф_нр.

Практическое значение результатов работы определяется тем, что разработанная автором методика расчета одного из основных показателей трофического состояния – концентрации хлорофилла «а» имеет важное практическое значение для экологического мониторинга, оценки биологической продуктивности и промыслового потенциала Балтийского моря. Появилась возможность оперативно определять концентрацию хлорофилла «а», как в широких пространственных масштабах, так и в локальных участках моря. Результаты исследования могут быть использованы рыбохозяйственными организациями с целью проведения мониторинга биопродуктивности, состояния и качества вод юго-восточной Балтики, в частности, ее российского сектора.

Замечания по результатам исследования. В целом диссертационная работа заслуживает высокой оценки. Однако, она не лишена вопросов и замечаний, к которым можно отнести следующие:

1. В тексте диссертации и автореферате отсутствуют: объект и предмет исследования; соответствие работы паспорту специальности.

2. В главе 1 рассматриваются механизм и факторы эвтрофикации, основные показатели эвтрофикации. По главе имеются следующие замечания, вопросы, рекомендации:

2.1. В целом, в главу вошел не только анализ проблемы и ее региональные особенности, но и методы исследования, что позволяет рецензенту рекомендовать разделить этот материал на два раздела и часть материала перенести в методическую главу работы.

2.2. Описывая формулу фотосинтеза, автор привела известную формулу О.А. Алекина 1984 г.: $106\text{CO}_2 + 16\text{NO}_3^- + \text{HPO}_4^{2-} + 122\text{H}_2\text{O} + 18\text{H}^+ \rightarrow \text{C}_{106}\text{H}_{263}\text{O}_{110}\text{N}_{16}\text{P} + 138\text{O}_2$, указывая, что лимитирующими веществами фотосинтеза являются нитраты и фосфаты (с.10-11), которая, строго говоря, описывает образование в живых клетках необходимых организму веществ из простых низкомолекулярных неорганических соединений (биосинтез). Для записи фотосинтеза чаще используются другие формулы, например, $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} = (\text{свет, хлорофилл}) \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$. Утверждение, что из соединений азота именно нитраты лимитируют первичную продукцию (ссылка на работу Савчук, Вулф, 1997) – дискуссионная, поскольку в моделях О.П. Савчука (Моделирование процессов переноса и

трансформации вещества в море, 1979, с.172-187) и др. из соединений азота, в первую очередь, из воды изымается аммонийный азот, и когда его концентрация падает ниже критической, начинают изыматься нитриты и нитраты.

2.3. К основным индикаторам эвтрофикации автор относит концентрацию биогенных элементов (прежде всего азота и фосфора), биомассу и видовой состав фитопланктона, концентрацию хлорофилла «а», скорость продукции органического вещества, содержание кислорода, прозрачность. Обзор индикаторов трофности содержится, например, в докторских диссертациях И.Н. Андрониковой (ИНОЗ РАН) и В.В. Дмитриева «Эколого-географическая оценка состояния внутренних водоемов», СПб, СПбГУ, 2000; учебном пособии В.В. Дмитриева, Г.Т. Фрумина «Экологическое нормирование и устойчивость природных систем», 2004; монографиях: Хендерсон-Селлерс Б., Маркленд Х.Р. Умирающие озера. Причины и контроль антропогенного эвтрофирования / Пер. под ред. К.Я. Кондратьева, 1990; Н.И. Хрисанов, Г.К. Осипов «Управление эвтрофированием водоемов», 1993; работах С.А. Кондратьева и соавторов (ИНОЗ РАН). Отсутствие ссылок на эти и другие российские исследования при описании проблемы дает основание для ряда вопросов: 1 – определение «эвтрофирования», выбранное автором, - «процесс повышения биологической продуктивности и ухудшения качества вод» (с.4) дает основание задать вопрос, разделяет ли автор идеологию «трофосапробности», «трофотоксности»; 2 - в тексте отсутствуют соотнесение определений «эвтрофирование», «антропогенное эвтрофирование», «загрязнение», не акцентирован основной критерий трофности водоемов, в перечень основных индикаторов включены концентрации биогенных элементов (следовало уточнить, в какой форме, например, общий азот и общий фосфор); 3 - в составе перечисленных основных лимитирующих факторов отсутствует освещенность; 4 - по какому периоду оценивается трофность водоема (по 4 съемкам за год, по «осеннему» периоду функционирования водных экосистем, как принято в ряде западных публикаций последних лет, или по среднегодовому значению, как того требуют оценочные шкалы HELCOM); 5 - не рассматривается совместное действие факторов; как загрязняющие вещества влияют на производственные возможности водной экосистемы; 6 - не раскрыт подход к интегральному оцениванию трофности водоема по совокупности репрезентативных критериев.

3. Автор в работе (с.5) пишет о том, что спутниковые спектрорадиометры регистрируют величины яркости рассеянного и отраженного излучения с поверхности моря, которое обусловлено наличием в морской воде оптически активных компонентов: хлорофилла «а», взвешенного неорганического вещества и окрашенного растворенного органического вещества. В тоже время в периоды максимума вегетации гидробионтов в воде находится достаточное количество зоопланктона, ассоциированных с детритом и свободноплавающих бактерий. Тот же лабильный детрит может содержать достаточное количество отмерших клеток фитопланктона, которые могут восприниматься датчиками спектрорадиометров как живой фитопланктон. В воду может поступать достаточное количество аллохтонного (в том числе и живого) органического вещества с речным стоком. Все это может привести (и приводит) к завышению результатов спектрорадиометрических определений. На это налагаются вертикальные перемещения компонентов биоты в фотическом слое воды, обусловленные

вертикальными движениями воды или другими факторами среды. В тоже время в другие сезоны эти эффекты могут отсутствовать. Это позволяет говорить о непостоянстве «искажений» и их сезонном характере. Кроме этого, ситуация может сильно меняться внутри суток в связи с изменением погодных и других условий. Важно и то, что для исследователя представляют интерес суммарные за сутки данные по первичной продукции. Всё это дает стандартное отклонение 1,2 мг/м³, относительную ошибку 34 % и невысокий коэффициент корреляции для авторского регионального алгоритма. Насколько эта проблема решаема на современном этапе исследований.

4. Оптические свойства отдельных акваторий уникальны и изменчивы. По данным автора, спутниковые спектрорадиометры для акватории Балтийского моря показывают существенное завышение значений, иногда более чем на порядок, по сравнению с натурными данными. В юго-восточной части Балтийского моря особенное влияние на оптические свойства акватории оказывает речной сток Вислы и Немана, приносящий ежегодно значительное количество взвешенного вещества, перекрывающего вклад хлорофилла «а» в спектральную яркость излучения. Означает ли это, что для отдельных водоемов в целом или ключевых районов водоемов должны создаваться собственные алгоритмы коррекции стандартных методик расчета концентрации хлорофилла «а» по спутниковым данным на основе данных натурных подспутниковых наблюдений с учетом региональной специфики оптических свойств вод. В чем автор видит перспективу совершенствования мониторинга на основе «региональных алгоритмов», все равно необходимы данные подспутниковых наблюдений и эти данные будут требовать обновления в связи с развитием антропогенного эвтрофирования или дезэвтрофикации водоема, его загрязнения и др. Как оценивать время жизни «регионального алгоритма» и что же разработал автор, метод или методику (см. с.7 диссертации, раздел «практическая ценность»).

Вышеперечисленные замечания не меняют общего хорошего впечатления от диссертации, носят в основном дискуссионный характер и вызваны интересом к работе.

Оценка соответствия диссертации требованиям ВАК. Диссертация «ТЕНДЕНЦИИ ЭВТРОФИРОВАНИЯ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ» представляет собой завершенную научно-квалификационную работу на актуальную тему, имеющую международный резонанс, которая соответствует критериям Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 № 842; соответствует требованиям, предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям и паспорту специальности 25.00.28, а ее автор, Буканова Татьяна Васильевна заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата географических наук по специальности 25.00.28 – Океанология.

Отзыв обсужден и одобрен на заседании кафедры гидрологии суши Института наук о Земле Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет» «28» октября 2014 г., протокол № 2.

Отзыв составлен проф. кафедры Гидрологии суши д.г.н., проф. В.В.Дмитриевым.

Доктор географических наук,
профессор, профессор кафедры
гидрологии суши, Института наук о
Земле Санкт-Петербургского
государственного университета

28.10.2014

Дмитриев Василий Васильевич

Почтовый адрес:

10 линия В.О., д.33-35, Санкт-Петербург, 199178

