

ОТЗЫВ

члена диссертационного совета на диссертацию Кондрика Дмитрия Вячеславовича на тему: «РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА АЛГОРИТМОВ СПУТНИКОВОЙ ОЦЕНКИ ИЗМЕНЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ НЕОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В АРЕАЛАХ ЦВЕТЕНИЯ *EMILIANA HUXLEYI* В АРКТИЧЕСКИХ И СУБАРКТИЧЕСКИХ МОРЯХ», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.28. – океанология

Актуальность темы диссертационного исследования определяется: 1 – важностью выявления причин и темпов трансформаций углеродного цикла в системе «атмосфера – океан», определяющих увеличение в атмосфере парциального давления CO_2 и изменение абсорбционной способности Мирового океана в отношении атмосферного CO_2 , что приводит к усилению планетарного парникового эффекта и изменению климата на планете; 2 – важностью исследования газообмена CO_2 между воздушной и водной средой для выявления темпов закисления морских акваторий и его влияния на лимитацию биогенами первичной продукции в морских экосистемах; 3- важностью выявления пространственно-временных особенностей формирования акваторий Мирового океана, являющихся своеобразными «фабриками» углекислого кальция планетарного масштаба в районах локализации областей цветения кокколитофоров, а также необходимостью выявления режимов работы этих «фабрик», т.е. моментов возникновения и внутри и межгодовой продолжительности и особенностей этого явления на основе анализа спутниковой информации. Важными также являются результаты анализа причинно-следственных связей и факторов, обусловивших изменения параметров, влияющих на исследуемое явление в условиях происходящих и будущих климатических изменений, обусловленных естественными причинами и антропогенными изменениями.

Объект исследования - наиболее распространенный в Мировом Океане представитель кокколитофор *Emiliana huxleyi* – микроводоросль, генерирующая в процессе своего жизненного цикла карбонат кальция CaCO_3 , в состав которого входит углерод – химический элемент, играющий важную роль в формировании, как химизма водной среды, так и динамики углеродного цикла в системе океан-атмосфера.

Предмет исследования - массовые цветения *Emiliana huxleyi*, пространственно-временная динамика этого явления в выбранных автором высокоширотных районах Мирового океана; количественная оценка суммарной за вегетационный период величины продуцируемого взвешенного неорганического углерода в этих районах, изменения в парциальном давлении CO_2 в воде, сопровождающего данные цветения, а также изучение влияния факторов среды на их формирование.

Цель работы - создание комплекса алгоритмов количественной оценки вариаций площади цветений и продукции взвешенного неорганического углерода, а также изменений в парциальном давлении CO_2 в воде, сопровождающих указанные процессы в удаленных друг от друга арктических и субарктических акваториях, подверженных различному влиянию среды (с.9).

Задачи: 1. Сбор и анализ имеющейся информации о жизненном цикле и особенностях взаимодействия с окружающей средой вида *Emiliana huxleyi*, а также ареалах его обитания; ознакомление с существующими методиками идентификации цветений данного вида и соответствующими биооптическими алгоритмическими технологиями; 2. Разработка и применение алгоритмов автоматического определения областей цветений с использованием спутниковых данных по цвету океана; 3. Количественная оценка и анализ пространственно-временной изменчивости ареалов цветений *Emiliana huxleyi* в районах исследования; 4. Разработка и применение алгоритма численной оценки генерации неорганического углерода в форме кальцита цветениями *Emiliana huxleyi* по данным спутникового зондирования; 5. Разработка и применение

алгоритма численной оценки изменений парциального давления CO₂ в воде, обусловленных цветениями *Emiliana huxleyi* по данным спутникового зондирования; 6. Приоритизация факторов среды в контексте степени их влияния на процесс формирования и развития областей цветения *Emiliana huxleyi* с применением современных методов машинного обучения (с.9-10).

Структура и содержание работы. В тексте работы вместо разделов и подразделов присутствуют главы, которые имеют номер. Подзаголовки в главах (подразделы) не имеют номеров и, в ряде случаев, структурно близки по названиям к разделам научных публикаций (введение, методология, результаты и обсуждения, выводы) – статей или монографии.

Работа содержит: **введение** (с.5-14), **главу 1** с ошибкой в названии главы, в которой содержится описание вида *Emiliana huxleyi* и влияние факторов среды на «формирование областей его цветения» (с.15-30). По литературным данным автором выделены факторы среды, имеющие наибольшее влияние на формирование цветений *E. huxleyi* (температура, соленость, приходящая солнечная радиация, стратификация водных масс и др.) и определен набор параметров среды, который может быть использован для анализа пространственно-временных вариаций массовых цветений *E. huxleyi*. Автором установлено, что воздействие параметров среды на формирование и развитие цветений *E. huxleyi* имеет комплексный характер и различно в зависимости от акватории. Это позволило автору определить наиболее оптимальные методологические подходы для статистической и феноменологической интерпретации пространственно-временных вариаций цветений *E. huxleyi*.

В главе 2 рассматривается краткая характеристика районов исследования, общие сведения о физико-географических характеристиках исследуемых морей, их климате, термохалинной структуре, пресноводном балансе и других особенностях.

В главе 3 обсуждается разработка и применение алгоритма спутниковой идентификации областей цветений *Emiliana huxleyi* и анализ их пространственно-временной динамики (с.31-60). Автором: 1-разработан алгоритм идентификации и оконтуривания областей цветений *Emiliana huxleyi*, основывающийся на физических (оптических) свойствах взаимодействия этих водорослей с водной средой, отличающийся от ранее разработанных алгоритмов других авторов использованием данных с более, чем двух датчиков цвета океана, имеющих полный и непрерывный охват всего периода спутниковых измерений по времени, а также возможностью применения на дистанционно разнесенных друг от друга морских акваториях полярных и субполярных широт; 2-выявлено, что из всех изученных морей наиболее обширные районы цветения *E. huxleyi* ежегодно регистрировались в Баренцевом море (до ~350 000 км²); 3-показано, что в морях Северной Атлантики и Северного Ледовитого океана распространение цветений происходит с юго-запада на северо-восток и коррелирует с продвижением атлантических вод, обусловленным течением Гольфстрим; 4-установлено, что, в отличие от морей Северной Атлантики и Северного Ледовитого океана, в Беринговом море не наблюдалось отчетливых закономерностей, ни в межгодовой, ни в сезонной динамике цветения *E. huxleyi*; 5-обнаружено, что в Беринговом море в течение периода 1998-2001 гг. наблюдалась аномально высокая интенсивность цветения по сравнению с предыдущими и последующими годами (до 250000 км²); 6-выявленные особенности межгодовой и сезонной динамики цветений *E. huxleyi* в Беринговом море, очевидно, указывают на то, что движущие механизмы там значительно отличаются от механизмов, присущих морям Северной Атлантики и Северного Ледовитого океана.

В главе 4 рассматривается «численная оценка суммарной продукции взвешенного неорганического углерода цветениями *Emiliana huxleyi*» (с.61-71). Автором: 1-создана новая гидрооптическая модель, основанная на оптических свойствах кокколитофоров и диатомовых; 2- на основе созданной модели усовершенствован разработанный ранее алгоритм BOREALI, позволяющий восстанавливать значения

концентрации кокколитов в цветениях *Emiliana huxleyi*; 3-разработана инновационная методика расчета суммарного содержания взвешенного неорганического углерода по глубине перемешанного слоя в областях цветений с применением спутниковых данных по цвету океана; 4-определено, что, как и в случае с площадями цветения, среди морей Северной Атлантики и Северного Ледовитого океана максимальная продукция РИС в областях цветений *E. huxleyi* была наибольшей в Баренцевом море: до ~ 0.35 Мт, тогда как в других исследованных морях Северной Атлантики суммарное количество РИС было значительно меньше (~ 0.4-30 кт в Гренландском море); 5-обнаружено, что в Северном море суммарное количество РИС было в среднем выше, чем в Норвежском море (соответственно, ~ 40 кт и ~ 15 кт, с максимумом до ~ 70 кт); 6-установлено, что максимальные значения продукции РИС в Беринговом море в период 1998-2001 гг. достигали 0,4 Мт, а в одном случае (в 2001 г.) даже ~ 0,7 Мт, т.е. в 2 раза больше по сравнению с Баренцевым морем.

В главе 5 рассмотрено определение вклада цветений *Emiliana huxleyi* в парциальное давление CO₂ в воде ($p\text{CO}_2$) (с.72-60). Автором: 1-создана инновационная методология расчета прироста $\Delta p\text{CO}_2$ в областях цветения *E. huxleyi* для всех исследуемых акваторий благодаря установленному на значительном статистически достоверном материале регрессионному уравнению, связывающему $\Delta p\text{CO}_2$ с R_{rs} ($\lambda = 490$ нм): $\Delta p\text{CO}_2 = 3926.466R_{rs}(490) + 3.225$, $r = 0.73$, $r^2 = 0.54$, $p \ll 0.001$, $\text{RMSE} = 23.4$ мкатм; 2-оценен максимальный прирост $\Delta p\text{CO}_2/(p\text{CO}_2)_b$, обусловленный цветениями *E. huxleyi* во всех исследуемых морях, который составлял в среднем 21,0-31,6%, достигая значений, равных 43,3-62,5% для Гренландского и Баренцева морей соответственно, за весь период исследований, что может оказывать существенное влияние на процесс поглощения CO₂ из атмосферы в исследуемых акваториях.

В главе 6 исследуется влияние физических параметров водной среды на процесс формирования и развития цветений *Emiliana huxleyi* (стр.85-109). Автором: 1-подтверждена высокая адаптивная способность *Emiliana huxleyi* к условиям среды и способность существовать в широком диапазоне значений физических параметров (эврибионтность); 2-установлено, что зависимость интенсивности цветения, выражаемой в концентрации продуцированных кокколитов, от влияющих факторов среды имеет «куполообразный» вид; 3-выявлена необходимость и актуальность системного (у автора – комплексного) анализа параметров среды обитания исследуемого вида, т.к. ни один из параметров среды не способен сам по себе определять условия для этих процессов в морских экосистемах (на что ранее указывали результаты лабораторных экспериментов других авторов); 4-практически во всех статистических моделях предсказательная способность, выражавшаяся метриками *Precision*, *Recall* и *f1-score*, превышала 70%, за исключением Берингова моря за период 1998-2016 гг., когда отсутствовали данные по SSS; 5-выяснено, что каждой исследуемой акватории соответствовал свой уникальный набор наиболее влияющих факторов с собственными значимостями.

«Приоритизация факторов среды в контексте степени их влияния на процесс формирования и развития областей цветения» (задача б) в выводах по главе отсутствует.

Заключение по работе в целом (с.110-112) написано сплошным текстом и содержит краткие основные выводы диссертационного исследования. На с.113-132 приведен список литературы (248 работ, из них 242 на английском яз.). На с.133 приведен список основных сокращений.

Английский вариант диссертации содержит 122 стр. текста, структурно оформлен также как русскоязычный вариант работы.

В результате выполнения диссертационной работы Д.В. Кондриком был разработан алгоритмы и методики численной оценки вариаций областей цветений кокколитофор *Emiliana huxleyi* – микроводорослей, генерирующих в процессе своего жизненного цикла карбонат кальция CaCO₃, в состав которого входит углерод –

химический элемент, играющий важную роль в формировании химизма водной среды и динамики углеродного цикла в системе океан-атмосфера; суммарного содержания взвешенного неорганического углерода в воде; изменения парциального давления CO_2 в воде на основе анализа спутниковых данных. Разработанные методики могут быть использованы в ходе дальнейших научных исследований и прикладных целей, как для отдельных акваторий, так и для получения глобальных количественных оценок за любой период исследований, имеющий покрытие спутниковыми данными. Полученные с помощью методик данные позволяют усовершенствовать глобальные климатические модели и их ансамбли (CMIP5) путем более точного количественного учета влияния цветений *Emiliana huxleyi* на углеродный цикл системы атмосфера-океан. Полученные методики и результаты их применения послужат уточнению экологических моделей при учете влияния цветений *Emiliana huxleyi* на углеродный цикл в зонах цветения, уровня закисления среды, его воздействия на состав фитопланктона и описания трофического взаимодействия *Emiliana huxleyi* с компонентами моделей. Выявленные автором особенности пространственно-временной динамики цветений *E. huxleyi* имеют прикладное значение для рыбопромысловой деятельности, так как данный вид способен вызывать снижение популяции некоторых видов рыб путем повреждения их органов дыхания. Разработанные статистические модели влияния факторов среды на формирование цветений *E. huxleyi* имеют перспективу успешного применения для среднесрочного прогнозирования цветений. Результаты приоритизации факторов среды имеют прикладное значение при моделировании биологической продуктивности.

В целом, диссертационная работа Кондрика Дмитрия Вячеславовича «РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА АЛГОРИТМОВ СПУТНИКОВОЙ ОЦЕНКИ ИЗМЕНЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ НЕОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В АРЕАЛАХ ЦВЕТЕНИЯ *EMILIANA HUXLEYI* В АРКТИЧЕСКИХ И СУБАРКТИЧЕСКИХ МОРЯХ» является оригинальной авторской научно-квалификационной работой, соответствующей паспорту специальности 25.00.28 – океанология.

Вопросы и замечания по тексту работы.

1. Цель и название работы, должны быть близки по содержанию и акцентам. В цели исследования (с.9) автором заявлено: «целью настоящего диссертационного исследования является создание комплекса алгоритмов **количественной оценки** (выделено рецензентом) вариаций площади цветений и продукции взвешенного неорганического углерода, а также изменений в парциальном давлении CO_2 в воде, сопровождающих указанные процессы в удаленных друг от друга арктических и субарктических акваториях...». В названии работы «РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА АЛГОРИТМОВ СПУТНИКОВОЙ ОЦЕНКИ ИЗМЕНЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ НЕОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В АРЕАЛАХ ЦВЕТЕНИЯ *EMILIANA HUXLEYI* В АРКТИЧЕСКИХ И СУБАРКТИЧЕСКИХ МОРЯХ» акцентируется **спутниковая оценка** и **алгоритмы спутниковой оценки**: 1-площадей цветения; 2-продукции взвешенного неорганического углерода; 3-изменений в парциальном давлении CO_2 в воде. Если в цели работы (с.9) убрать из абзаца начало фразы (до первой запятой), а термин «спутниковая оценка» ввести в формулировку цели, то цель и название работы будут полностью соответствовать друг другу.

2. Научная новизна исследования (с.10) включает 6 элементов новизны (не пронумерованы, что затрудняет рецензирование). Пункты 1,3,5 содержат в тексте выражение «разработан алгоритм». Для п.1 это алгоритм «идентификации областей цветений *Emiliana huxleyi*», для п.3 это алгоритм «оценки генерации неорганического углерода в форме кальцита цветениями *Emiliana huxleyi*», для п.5 это «разработка алгоритма численной оценки изменений парциального давления CO_2 в воде, обусловленных цветениями *Emiliana huxleyi*». Во всех случаях отмечено, что алгоритмы созданы для анализа спутниковой информации. В п.6 элементом новизны являются

модели, учитывающие на основе данных спутникового зондирования совокупное влияние ряда важнейших факторов среды на процесс образования цветений *E. huxleyi*. Эти же алгоритмы выносятся автором на защиту в виде основных защищаемых положений (положения 1-4, не пронумерованы). При закреплении авторства упомянутых разработок можно было на этапе подготовки к защите в патентном отделе организации, где работает соискатель, оформить государственную регистрацию программы для ЭВМ (свидетельство) для перечисленных алгоритмов в федеральной службе по интеллектуальной собственности РФ. В наши дни патентование в научных организациях проводится достаточно быстро. Необходимо было опубликовать результаты исследований, что традиционно делается соискателями. Последний вариант, как единственный, был выбран автором. Анализ списка публикаций в РИНЦ (обновление выполнено рецензентом 03.09.2020) показал, что все 15 работ (в диссертации упомянуты 11, в т.ч. 3 раздела монографии) написаны Д.В. Кондриком в соавторстве. Минимальное количество соавторов в статьях – 3. Имеются зарубежные соавторы. К чести соискателя, следует упомянуть, что он имеет 11 работ в наукометрической базе Scopus. Все работы также опубликованы в соавторстве (12 соавторов).

Попытка оценить оригинальность работы через систему «Антиплагиат» (<https://www.antiplagiat.ru/>), тариф Full (максимально приближен к «Антиплагиат ВУЗ») после размещения диссертации на сайте СПбГУ дает оригинальность 2,15%, заимствование 78,38%, цитирование 19,47 %. По протоколу проверки выявляется, что «заимствования» на самом деле и являются текстом диссертации автора. В этом случае целесообразно выполнять такую проверку до размещения работы в интернете и знакомить с этими результатами всех членов ДС. Раздел «Личный вклад» (с.14) написан очень лаконично и не дает возможности получить дополнительную информацию (внедрение, участие в грантах и др.). Вышесказанное осложняет работу рецензентов по оценке оригинальности, новизны исследования, личного вклада соискателя.

3. На предварительном этапе обсуждения работы на кафедре океанологии СПбГУ в условиях отдаленного доступа соискателю были заданы вопросы по работе. Были получены вполне профессиональные ответы диссертанта. Отмечено, что автор глубоко знаком с научной проблемой, современными возможностями изучения объектов и предметов исследования, методами, полученными результатами.

По ответам диссертанта на вопросы и замечания автора отзыва было выявлено:

3.1. В первом замечании рецензенту - автору отзыва не хватило «неорганический углерод в форме кальцита (CaCO_3)», содержащийся в живых *Emiliana huxleyi* и детрите, содержащем отмершие *Emiliana huxleyi*.

В этом смысле рецензенту был понятнее не термин «основной продуцент», используемый автором, а «основной источник» неорганического углерода. Но тогда нужно иметь **количественное подтверждение** того, что это **основной** продуцент (источник). Хорошо бы также привести долю *Emiliana huxleyi* по численности и/или биомассе от суммарной численности и биомассы фитопланктона в районах работ. Имеются ли в литературе или у диссертанта данные по неорганическому углероду в форме кальцита (CaCO_3) в отмерших *Emiliana huxleyi*, содержащихся в детрите. Также интересно узнать, как онтогенез *Emiliana huxleyi* влияет на содержание в них кальцита, есть ли необходимость исследовать это в дальнейших работах. К этому можно добавить, что термин «цветение» повсеместно используемый автором в работе, не совсем точно отражает смысл исследуемого явления. Речь должна идти не о максимальных численностях (биомассах), приуроченных к определенным датам, а о периоде вегетации *Emiliana huxleyi* в различных районах Мирового океана в целом и пространственно-временных изменениях внутри этих периодов. Интересны в этом смысле **интегральные характеристики биомасс, концентраций (неорганического углерода), скоростей (продукция, деструкция) за период вегетации; влияние физико-механического переноса на формирование (рассасывание), смещение выявленных зон.** Также

логично сравнить полученные данные с т.н. «фоновыми» значениями характеристик для выявления степени отличия в парциальном давлении CO_2 в воде в соседних районах, выявленных в интегральном представлении за период вегетации значениях эвасии CO_2 в атмосферу, возможностях выполнения этих оценок на основе спутниковых данных.

3.2. Ответ диссертанта на **второй вопрос** (замечание). Здесь вопрос сложнее. Как быть с составляющими баланса CO_2 в воде, обусловленными жизнедеятельностью других гидробионтов. Нужно ли их учитывать при доленой оценке «блокирования» от парциального давления. Например, изъятие CO_2 из воды другими видами фитопланктона при создании ими первичной продукции (живого вещества) или выделение CO_2 в воду в процессе дыхания всех гидробионтов. Эти процессы влияют на содержание и парциальное давление CO_2 в воде? В этом случае надо уточнить, учитывается ли это в оценках автора, когда он пишет, что «цветения *E. huxleyi* могут блокировать в среднем 17% от количества $p\text{CO}_2$, поглощаемого из атмосферы» (этот вывод получили Robertson et al., 1994 на основе выполненных контактных измерений для весенне-летнего сезона и даже до 35% в результате повышения температуры поверхности моря (стр. 83 диссертации)). Очень трудно экспериментально определить % изъятия CO_2 из воды одним видом организмов, да еще в % от $p\text{CO}_2$. «Блокируется» CO_2 , содержащийся в воде, а его соотношение с $p\text{CO}_2$ по отдельным видам интересная и сложная задача.

3.3. Из ответа диссертанта на **третий вопрос** (замечание) следует, что: 1- «исследуемые цветения возникают в исследуемых акваториях практически ежегодно»; 2- «несмотря на большое количество работ по отдельным акваториям, в литературе практически не приводится оценок пространственно-временной динамики цветений»; 3- «идентификация и оконтуривание районов цветений...необходимы не только для промысловой деятельности, но и для последующих количественных оценок их влияния на углеродный цикл». Здесь будет интересно послушать о планах и перспективах исследований, в которых оценивается, как «идентификация и оконтуривание районов цветений» влияет на промысел и углеродный цикл.

4. В существующем паспорте специальности 25.00.28. – океанология приведены: формула специальности, главная задача, объекты исследования, 17 областей исследования. Во введении к диссертации или докладе логично указать на соответствие диссертации паспорту, формуле специальности и выделить номера областей исследования, акцентированные автором в работе. По-видимому, логично также обосновать претензию автора на присвоение степени кандидата физико-математических наук, а не, например, географических.

Диссертация Кондрика Дмитрия Вячеславовича на тему: «РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА АЛГОРИТМОВ СПУТНИКОВОЙ ОЦЕНКИ ИЗМЕНЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ НЕОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В АРЕАЛАХ ЦВЕТЕНИЯ *EMILIANIA HUXLEYI* В АРКТИЧЕСКИХ И СУБАРКТИЧЕСКИХ МОРЯХ», соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 01.09.2016 № 6821/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Кондрик Дмитрий Вячеславович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.28. – океанология. Пункт 11 указанного Порядка диссертантом не нарушен.

Член диссертационного совета

Д.г.н., профессор,
профессор кафедры
Гидрологии суши СПбГУ



Дмитриев Василий Васильевич

Дата 04.09.2020