

## ОТЗЫВ

председателя диссертационного совета на диссертацию Кондрика Дмитрия Вячеславовича «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

Основной целью диссертационной работы Кондрика Дмитрия Вячеславовича является создание комплекса алгоритмов количественной оценки вариаций площади цветений и продукции взвешенного неорганического углерода, а также изменений в парциальном давлении CO<sub>2</sub> в воде, сопровождающих указанные процессы в удаленных друг от друга арктических и субарктических акваториях, подверженных различному влиянию среды.

Работа состоит из введения, 6 глав, заключения, библиографического списка из 242 наименований и списка основных сокращений.

Во введении обоснована актуальность темы работы, сформулированы цели и задачи исследования, отражены научная новизна и практическая значимость работы, а также изложены методы исследования и положения, выносимые на защиту; приведены публикации (всего 11, из них 8 в журналах, которые входят в базы Scopus и Web of Science ResearcherID) и показана апробация работы.

В первой главе описан объект исследования – кальцифицирующий фитопланктон *Emiliana huxleyi*, строение его клеток и кокколитов, их покрывающих. Рассмотрены особенности жизненного цикла клеток и их влияния на климат. Проанализированы данные о параметрах окружающей среды, оказывающих влияние на существование и развитие цветений *Emiliana huxleyi*. По литературным данным 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 наблюдающихся пространственно-временных вариаций массовых цветений *E. huxleyi*.

К недостаткам 1-й главы следует отнести игнорирование соискателем при описании факторов среды, имеющих наибольшее влияние на формирование цветений *E. huxleyi*, адвекции и турбулентной диффузии субстанции.

Во второй главе приводятся общие сведения о физико-географических характеристиках исследуемых морей, их климате, термохалинной структуре, пресноводном балансе и других особенностях. Конкретизированы различия условий природной среды, исследуемых в диссертационной работе морей, в которых наблюдались цветения *Emiliana huxleyi*.

Нельзя согласиться с тезисом соискателя, что «Северное море относится к субарктическим морям (стр. 32), а Берингово море практически полностью находится в субарктической климатической зоне (стр. 40), лишь самые северные (севернее 64° с.ш.) и южные (южнее 55° с.ш.) его части находятся в арктической и умеренной зонах, соответственно». Согласно физико-географическому районированию Мирового океана Северное море относится к умеренной зоне Мирового океана, и половина акватории Берингова моря также входит в умеренную зону.

В третьей главе разработан алгоритм идентификации и оконтуривания областей цветений *Emiliana huxleyi* в исследуемых морских акваториях, 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. Выявлено, что из всех изученных морей наиболее обширные районы цветения *E. huxleyi* ежегодно регистрировались в Баренцевом море (до  $\sim 350\,000\text{ км}^2$ ). Показано, что в морях Северной Атлантики и Северного Ледовитого океана распространение цветений происходит с юго-запада на северо-восток и согласуется с продвижением атлантических вод. 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*. Обнаружено, что в Беринговом море в течение периода 1998-2001 гг. наблюдалась аномально высокая интенсивность цветения по сравнению с предыдущими (Merico et al., 2003) и последующими годами (до  $250\,000\text{ км}^2$ ).

При описании результатов на рис. 10 соискатель обращает внимание на тот факт, что «...во всех указанных акваториях цветение *E. huxleyi* происходит лишь однократно и в теплый период времени», в то время как результаты, представленные на рис.9 свидетельствуют, что в Северном, Гренландском и Беринговом морях, значительные площади цветений этого вида фитопланктона формируются 2 – 3 раза в год, в том числе и в холодное время года.

В качестве замечания следует также указать отсутствие ссылки на рис. 11.

В 4-ой главе описан расчет суммарной продукции неорганического углерода, производимого в форме кальцита, цветениями *Emiliana huxleyi*.

Создана новая гидрооптическая модель, основанная на оптических свойствах кокколитофоров и диатомовых. На основе этой модели усовершенствован разработанный ранее алгоритм BOREALI, позволяющий восстанавливать значения концентрации кокколитофоров в цветениях *Emiliana huxleyi*. Разработана методика расчета суммарного количества неорганического углерода по глубине перемешанного слоя в областях цветений с применением спутниковых данных по цвету океана. Определено, что, как и в случае с площадями цветения, среди морей Северной Атлантики и Северного Ледовитого океана максимальная продукция PIC в областях цветений *E. huxleyi* была наибольшей в Баренцевом море: до  $\sim 0.35\text{ Мт}$ , тогда как в других исследованных морях Северной Атлантики суммарное количество PIC было значительно меньше ( $\sim 0.4\text{-}30\text{ кт}$  в Гренландском море). Обнаружено, что в Северном море суммарное количество PIC было в среднем выше, чем в Норвежском море (соответственно,  $\sim 40\text{ кт}$  и  $\sim 15\text{ кт}$ , с максимумом до  $\sim 70\text{ кт}$ ). Установлено, что максимальные значения продукции PIC в Беринговом море в период 1998-2001 гг. достигали  $0,4\text{ Мт}$ , а в одном случае (в 2001 г.) даже  $\sim 0,7\text{ Мт}$ , т.е. в 2 раза больше по сравнению с Баренцевым морем.

Строго говоря, нельзя считать представительной проведенную соискателем валидацию всех гидрооптических моделей с помощью доступных судовых *in situ* данных по концентрации кокколитофоров (стр. 63), так как судовые измерения являются точечными, а использованные в работе спутниковые данные показывают среднее на площади  $4 \times 4\text{ км}$  значение концентрации кокколитофоров. Для решения этой проблемы нужно проводить специальный подспутниковый эксперимент.

К недостаткам главы следует также отнести отсутствие формул, по которым рассчитывались статистические оценки BIAS и MAE, в рамках верификации моделей (стр. 63).

Результаты, представленные на рис. 15 (стр. 69), свидетельствуют, что в Беринговом море, по сравнению с другими исследуемыми в работе морями, после 1998-2001 гг. произошло очень резкое «ступенчатое» уменьшение (в 5-15 раз) рассчитанных максимумов площадей цветений и максимальных значений продукции взвешенного неорганического углерода, причины которого соискатель не объясняет, хотя предметом

исследования работы является, в частности, изучение влияния факторов среды на формирование массовых цветений *Emiliana huxleyi* (стр.5). Без объяснения причин, столь резкие межгодовые изменения характеристик цветений выглядят сомнительными.

Пятая глава работы посвящена определению вклада цветений *Emiliana huxleyi* в парциальное давление  $\text{CO}_2$  в воде. С помощью регрессионного анализа разработан новый метод расчета прироста  $\Delta p\text{CO}_2$  в областях цветения *E. huxleyi* для всех исследуемых морей. 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. Делается вывод, что такой прирост парциального давления  $\text{CO}_2$  может оказывать существенное влияние на процесс поглощения  $\text{CO}_2$  из атмосферы в исследуемых морях.

В данной главе, при описании использованных данных для решения задачи определения прироста парциального давления  $\text{CO}_2$  автор пишет на стр. 75, что им, в частности, использовались данные *in situ* концентрации  $\text{NO}_3$ , а в случаях, когда данные в необходимых точках отсутствовали, использовался также климатологический атлас World Ocean Atlas 2013. Кроме этого, при перечислении критериев объединения всех перечисленных данных в единый массив соискатель использует следующий: «...если в одной и той же точке имелось несколько измерений в день, использовалось среднее за день значение» (стр. 76). На наш взгляд, применение таких подходов и критериев при работе с различными архивами и базами данных может привести к формированию рядов неоднородных данных.

В 6-й главе проведено исследование влияния физических параметров среды на формирование и развитие областей цветения *Emiliana huxleyi*. Описан процесс формирования областей цветения с применением метода машинного обучения статистических моделей, включающих в себя совокупное влияние факторов среды и позволяющих оценивать сравнительный вклад этих факторов в формирование областей цветения индивидуально для каждого из исследуемых морей. Показано, что полученные модели характеризуются высокими значениями метрик качества.

Из замечаний к 6-й главе можно выделить следующие:

- Нельзя согласиться с выводами автора на 94 стр., сделанными по результатам, показанным на рис. 22, что «В Беринговом море все крупные цветения были зарегистрированы в период с 1998 по 2001 годы, и поверхностные воды в эти годы были заметно более холодными (с диапазоном температур от 0 до 5 °C), чем в последующие годы». В 2008-2010 гг. поверхностные воды в Беринговом море были такими же холодными, но крупных цветений *Emiliana huxleyi* не наблюдалось.
- Сожаление вызывает отсутствие в данной главе примеров графиков синхронных изменений используемых предикторов и предиктантов для исследуемых морей, что не позволяет читателю получить представления об особенностях временных изменений сравниваемых процессов.
- Выбор в качестве предиктора для машинного обучения только модуля скорости течений является не корректным. Морские течения – это векторный процесс, который характеризуется не только модулем скорости, но и направлением.
- С теоретической точки зрения, механизм цветений различных видов фитопланктона наиболее полно описывается системой уравнений гидродинамики, физико-биологических и биохимических взаимодействия. Такие модели уже сравнительно давно используются, развиваются и успешно применяются для исследования причин пространственно-временных изменений концентрации фитопланктона в океанах и морях. Поэтому правильнее было бы, на наш взгляд, взять за основу какую-либо известную модель и

оценить с её помощью сравнительный вклад адвекции, турбулентной диффузии, химических и биологических процессов в цветения *Emiliana huxleyi*.

В целом, приведенные замечания не снижают уровень основных результатов диссертации. Не вызывает сомнения, что диссертация Кондрика Дмитрия Вячеславовича является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задач, имеющих важное значение для развития фундаментальных и прикладных океанологических исследований. Работа обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, и свидетельствует о личном вкладе автора диссертации в науку.

Диссертационная работа Кондрика Дмитрия Вячеславовича обобщает исследования автора, опубликованные в 10 рецензируемых научных изданиях, которые входят в базы Scopus и Web of Science Core Collection, что свидетельствует о достаточной публикационной активности соискателя.

Диссертация Кондрика Дмитрия Вячеславовича на тему «Разработка комплекса алгоритмов спутниковой оценки изменения содержания неорганического углерода в ареалах цветения *Emiliana huxleyi* в арктических и субарктических морях» полностью 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.

Председатель диссертационного совета СПбГУ  
по специальности 25.00.28 - океанология,  
доктор географических наук  
профессор, и. о. зав. кафедрой океанологии,  
Федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего  
образования «Санкт-Петербургский  
государственный университет»



Захарчук Евгений  
Александрович

02.09.2020