

ОТЗЫВ

члена диссертационного совета д.г.н., проф., чл.-корр. РАН Филатова Николая Николаевича 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»

Основная цель диссертации Кондрика Д.В. заключается в создании 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.

Изучение продукции взвешенного неорганического углерода и изменения парциального давления CO_2 в ареалах цветений *Emiliana huxleyi* является актуальной задачей, решение которой необходимо для оценки вклада указанных цветений в баланс углеродного цикла системы «атмосфера-океан» в арктических и субарктических широтах. Для этого автором создан ряд инновационных алгоритмов, позволяющих получить соответствующие оценки. В ходе создания спутниковых алгоритмов были изучены все существующие методики, после чего были разработаны инновационные инструменты и/или внесены существенные улучшения в предложенные ранее подходы. В результате, Кондриком Д.В. был внесен существенный вклад в методологию идентификации цветений *Emiliana huxleyi* по спутниковым данным для Баренцево, Берингово, Северного, Норвежского, Гренландского морей. В работе были использованы многочисленные данные контактных измерений, по которым проверялись разработанные алгоритмы, что повышает достоверность полученных результатов.

Диссертация состоит из введения, 6 глав, описывающих основные этапы выполнения работы, заключения, списка литературы и списка основных сокращений.

Во **введении** приводится описание актуальности и описана общая степень разработанности темы исследования. На основе приведенной информации сформулированы цели, задачи и методы исследования, приводятся положения, выносимые на защиту. Автором показано, что изменения в экосистеме Мирового океана, происходящие с нарушением углеродного цикла в системе атмосфера-океан и общим потеплением климата, имеют непосредственное отношение и к пространственно-временной динамике развития кокколитофор. **Зачищаемые положения.** Это Алгоритмы идентификации и оконтуривания областей цветений *Emiliana huxleyi* на основе особенностей их спектральных характеристик в видимом диапазоне; численной оценки генерации неорганического углерода в форме кальцита цветениями *Emiliana huxleyi*; и численной оценки изменений парциального давления CO_2 в воде, обусловленных цветениями *Emiliana huxleyi*. А также статистические модели определения ареалов цветений *Emiliana huxleyi* в исследуемых морях.

Вызванные изменения в условиях существования этих важнейших планктонных производителей взвешенного неорганического углерода в морской среде, в свою очередь, по механизмам прямых и обратных связей, могут выступать стимуляторами дальнейший возможных изменений глобального климата, что в совокупности, рассмотренных диссертантом факторов определяют актуальность выбранной темы диссертационного исследования. Апробация результатов исследования включает, как доклады на научных конференциях, так и публикации в рецензируемых отечественных и международных изданиях.

Глава 1 посвящена описанию строения клеток исследуемого вида и кокколитов, их покрывающих. Описываются известные механизмы влияния исследуемого вида на климат, а также приводится подробное описание условий среды, оказывающих влияние на развитие цветений

Emiliana huxleyi. В Главе 1 показано преимущество применения спутниковых методов исследования для изучения феномена цветения исследуемого вида фитопланктона. Подробно описан объект исследования – кальцифицирующий фитопланктон *Emiliana huxleyi*, строение его клеток и кокколитов, их покрывающих. Рассмотрены особенности жизненного цикла клеток и их влияния на климат. Отмечаю обстоятельный анализ, проведенный в данной главе. Замечаний нет

В **Главе 2** приводится физико-географическая характеристика районов исследования (полярные и субполярные акватории), описываются случаи наблюдения исследуемых цветений в этих районах. Показано, что цветения *Emiliana huxleyi* способны существовать в различных акваториях полярных и субполярных широт Северного полушария, для которых характерны существенные отличия в значениях параметров среды. Новых сведений об исследуемых моря в этой главе нет, но информация полезна для обоснования дальнейших выводов по оценке изменений содержания неорганического углерода в ареалах цветения *Emiliana huxleyi* в арктических и субарктических морях.

В **Главе 3** описывается процесс создания и результаты применения инновационного алгоритма идентификации цветений с использованием спутниковых данных по цвету океана. Алгоритм основан на учете особенностей формы спектра коэффициента отражения дистанционного зондирования $R_{rs}(\lambda)$, а именно расположения максимума спектра и пороговых значений $R_{rs}(\lambda)$ на каждом из шести оптических каналов. Показано, что разработанный алгоритм имеет ряд преимуществ (таких, как использование объединенных в единый массив спутниковых данных, учет значений $R_{rs}(\lambda)$ на шести длинах волн вместо двух или трех) по сравнению с уже существующими и позволяет производить более точную оценку площади цветений в исследуемых акваториях. По результатам применения алгоритма сделан вывод о существенном различии пространственно-временной динамики ареалов цветений между морями Северной Атлантики и Арктики, где их развитие и перемещение обусловлено влиянием течения Гольфстрим, и Беринговым морем. В частности, сделан вывод о том, 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*. При этом из всех изученных морей наиболее обширные районы цветения *E. huxleyi* ежегодно регистрировались в Баренцевом море (до ~350 000 км²), а в Беринговом море в течение периода 1998-2001 гг. наблюдалась аномально высокая интенсивность цветения по сравнению с предыдущими и последующими годами (до 250 000 км²).

В начале Главы 3 описывается применение разработанного инновационного алгоритма заполнения пропусков в данных, позволяющего на основе спектральных значений $R_{rs}(\lambda)$ из окружающих пикселей, а также из предшествующего и последующего спутниковых снимков, восстанавливать соответствующие значения в пикселях с отсутствием данных. Обращает на себя внимание, что в случае пропусков данных на границе цветения, следует ожидать неизбежного увеличения его площади, учитывая использование значений из окружающих пикселей, что не прокомментировано в работе.

Глава 4 представлено создание и применение алгоритма расчета суммарного содержания взвешенного неорганического углерода в форме кальцита в цветениях *Emiliana huxleyi*. В ходе этого процесса была создана новая гидрооптическая модель, описывающая влияние клеток данного вида и их кокколитов на оптические характеристики воды, которая использовалась для усовершенствования разработанного ранее алгоритма BOREALI. Таким образом, с помощью улучшенного алгоритма было возможно получать значения концентрации кокколитов – носителей неорганического углерода – по спутниковым данным видимого диапазона. В результате применения разработанных методов были получены оценки суммарного содержания взвешенного неорганического углерода в форме кальцита в перемешанном слое океана в ареалах цветений.

В тексте Главы 4 можно выделить следующий недостаток: из уравнения 3 (стр. 67) следует, что концентрация кокколитов в цветении одинакова по всей глубине перемешанного слоя, однако это допущение не комментируется в работе и, соответственно, не оценивается его влияние на результаты соответствующих численных оценок.

В *Главе 5* приводится описание разработанного и не имеющего аналогов в мировой литературе алгоритма оценки изменений парциального давления CO_2 в воде на основе установленной регрессионной зависимости от значений коэффициента отражения дистанционного зондирования на длине волны 490 нм. Важно, что при разработке алгоритма использованы весьма значительные/статически хорошо обеспеченные натурные данные. Таким образом, разработанный алгоритм позволяет производить количественную оценку прироста CO_2 в воде, обусловленного присутствием цветений *Emiliana huxleyi* с использованием исключительно спутниковых данных, что позволяет производить оценку динамики этого параметра по всей площади цветения на более чем двадцатилетнем временном промежутке.

Здесь следует сделать замечание: на Рисунке 16 присутствуют группы точек, выстроившиеся в одну горизонтальную линию. В тексте Главы 5 не приводится никаких объяснений причин такой закономерности.

Глава 6 посвящена изучению степени влияния параметров среды на формирование и развитие цветений *Emiliana huxleyi* в исследуемых акваториях. Для этого автором с применением методов машинного обучения (Random Forest Classifier) для каждого исследуемого моря были созданы статистические модели, позволяющие не только учитывать совокупное влияние указанных параметров, но и производить индивидуальную оценку значимости каждого параметра на формирование цветений исследуемого вида в зависимости от конкретной акватории. Весьма важное исследование, поскольку в нем анализируются одновременные и не обязательно взаимно обусловленные вариации параметров окружающей среды, происходящие в реальных, а не в модельных лабораторных условиях.

Среди недостатков можно выделить то, что при этом используется довольно ограниченный набор параметров окружающей среды, подверженных статистическому анализу. Не обосновано использование параметра глубины слоя Экмана в составе факторов среды, оказывающих влияние на формирование и развитие цветений *Emiliana huxleyi*.

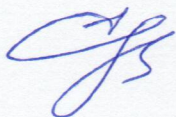
В *заключении* автор приводит выводы, полученные на основе полученных результатов диссертационного исследования в Северном, Норвежском, Гренландском, Баренцевом и Беринговом морях. Приводимые выводы соответствуют поставленной цели, задачам диссертационного исследования и положениям, выносимым на защиту. Представленные выводы и результаты, полученные в ходе применения разработанных алгоритмов, о пространственно-временной динамике цветений и продукции взвешенного неорганического углерода, на более чем двадцатилетнем периоде, вполне обоснованы.

Основные результаты работы были представлены в 10 рецензируемых статьях, доложены на международных и всероссийских конференциях и получили хорошие отзывы. Поставленные цели и задачи выполнены полностью. Автор зарекомендовал себя, как квалифицированный специалист-океанолог и своей работой внес заметный вклад в изучение влияния цветений *Emiliana huxleyi* на углеродный цикл системы «атмосфера-океан».

Несмотря на отмеченные некоторые недостатки, 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» соответствует 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



Филатов Николай Николаевич

главный научный сотрудник ИВПС КарНЦ РАН, доктор географических наук, профессор, чл.-корр. РАН Института водных проблем Севера – обособленного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук». 185 030, Республика Карелия, 185030 г. Петрозаводск, пр. А. Невского 50. nfilatov@rambler.ru, Тел.+79114072136

03 сентября 2020 г.

Я, Филатов Николай Николаевич, даю согласие на включение своих персональных данных, связанных с работой, и согласен на их дальнейшую обработку.

Подпись Н.Н. Филатова заверяю.

Ученый секретарь Института водных проблем Севера – обособленного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук»

к.б.н.



Татьяна Ивановна Регеранд

«03» сентября 2020 г.