

## 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**

В настоящее время большинством исследователей отмечается факт изменений биогеохимической структуры Мирового океана. В частности, отмечено снижение концентрации кислорода и появление зон его дефицита, увеличение содержания биогенных элементов, а также смещение рН в сторону более «кислой» среды в открытом океане, на шельфе и в прибрежных акваториях, причем наиболее резкие изменения отмечаются в арктических и субарктических морях. Эти изменения преимущественно обусловлены ростом потока углерода в водные экосистемы в результате увеличения его поступления из различных источников (атмосферы, береговых источников, а также вследствие первично-продукционных и деструкционных процессов в морской среде). В результате всех этих процессов происходит нарушение природных циклов основных элементов, в первую очередь цикла углерода.

В сообществе фитопланктона основным продуцентом взвешенного неорганического углерода в морских биосистемах являются кокколитофоры. В этой планктонной группе выделяются *Emiliana huxleyi* микроводоросли, отличающиеся чрезвычайно высокой способностью продуцировать  $\text{CaCO}_3$ . Изменения в условиях существования этих важнейших планктонных производителей взвешенного неорганического углерода в морской среде, в свою очередь, могут выступать стимуляторами дальнейших изменений структуры Мирового океана.

Поэтому создание комплекса алгоритмов обработки спутниковых данных для количественной оценки вариаций площади цветений и продукции взвешенного неорганического углерода, а также изменений в парциальном давлении  $\text{CO}_2$  в воде, сопровождающих указанные процессы, представляется весьма актуальной задачей.

### **Оценка структуры и содержания работы**

Текст диссертации состоит из введения, шести глав и заключения. Каждая глава снабжена подробной рубрикацией по параграфам.

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. К сожалению, автор в данной главе не отразил того, что чрезвычайно широкая толерантность к условиям окружающей среды *Emiliana huxleyi* объясняется существованием ряда экологически адаптированных экотипов внутри вида.

Во второй главе кратко приводятся общие сведения о физико-географических характеристиках Северного, Норвежского, Гренландского, Баренцева и Берингова морей, их климате, термохалинной структуре и других особенностях. Однако основной текст главы написан с отсылками на всего на две работы (Добровольский и Залогин, 1982; Залогин и Косарев, 1999).

В третьей главе описана методика предварительной обработки данных и новый алгоритм идентификации и оконтуривания областей цветений *Emiliana huxleyi* в исследуемых морских акваториях, а также результаты применения алгоритма на

акватории исследуемых морей. При этом не приводится подробное полное описание обоснования выбора пространственного и временного осреднения спутниковых данных и верификация качества заполнения пропусков в данных, маскированных «разорванной» облачностью. В целом же глава приводит благоприятное впечатление. Особенно интересны результаты обобщения применения алгоритма для акватории Северной Атлантики и Северного Ледовитого океана.

*В четвертой главе* описаны особенности разработки и верификации гидрооптической модели, которая в сочетании с климатическими данными о толщине перемешанного слоя позволила создать методику расчета суммарного содержания взвешенного неорганического углерода по глубине перемешанного слоя в областях цветений *E. huxleyi*. Даны оценки концентрации взвешенного неорганического углерода в областях цветений в рассматриваемых морях. Глава является ключевой в данной работе. Она написана четко и последовательно.

*В пятой главе* приведена методика численной оценки изменения парциального давления  $\text{CO}_2$  в воде, сопровождающего цветения *Emiliania huxleyi* в масштабах цветения с применением спутниковых данных, и результаты ее применения на акватории Северного, Норвежского, Гренландского, Баренцева и Берингова морей. Полученные результаты свидетельствуют о том, что кокколитофоры способны существенно изменять процесс усвоения  $\text{CO}_2$ , по крайней мере, в областях цветения. Методика описана логично, но используемые в ней допущения, связанные с комбинированием климатических сведений и данных наблюдений в условиях современного меняющегося климата, представляются чрезмерными, и, соответственно, полученные результаты имеют скорее характер общих оценок.

*В шестой главе* описан процесс формирования с применением метода машинного обучения статистических моделей, включающих в себя совокупное влияние факторов среды на цветение *Emiliania huxleyi* для каждой из исследуемых акваторий. Применение статистических моделей для предсказания наблюдавшихся цветений показало, что, несмотря на завышение значений площади цветений, их сезонный ход и локализацию основанного очага цветений удалось воссоздать.

В целом диссертационная работа показывает способность автора выполнить широкий комплекс научных исследований в области обработки спутниковых данных и интерпретации полученных результатов. Несмотря на наличие небольших пробелов, структурно и семантически диссертационное исследование выстроено логично и последовательно. Решение каждой последующей задачи опирается на результаты предыдущих глав работы, что обуславливает их взаимосвязанность и взаимозависимость, комплексность осмысления и описания предмета исследования.

#### ***Степень обоснованности положений и выводов***

Научные положения и результаты диссертации достаточно четко обоснованы и аргументированы. Проведенный объем исследования в полной мере достаточен для обоснования выводов. Достоверность полученных результатов подтверждается большим объемом обработанного материала. Обоснованность научных положений, сформулированных в диссертации, доказывается объемом исследований. Выводы логически вытекают из материалов исследований и в полном объеме отражают поставленные задачи.

#### ***Достоверность и новизна научных положений и результатов***

Основные положения и результаты диссертационной работы представляются достоверными, так как они получены на основе обширного массива разнородных наблюдений, прошедших специальный контроль качества.

Разработаны и усовершенствованы алгоритмы: идентификации областей цветений *E. huxleyi* на основе особенностей их спектральных характеристик в видимом диапазоне; численной оценки генерации неорганического углерода в форме кальцита цветениями *E. huxleyi*; количественной оценки изменений парциального давления  $\text{CO}_2$  в воде по спутниковым данным в областях цветений *E. huxleyi*. На основе этих алгоритмов впервые произведены за двадцать лет в пяти исследованных акваториях: оценки площадей цветений *E. huxleyi*; количественные оценки суммарного содержания неорганического углерода в форме кальцита в цветениях *E. huxleyi*; количественные оценки изменений парциального давления  $\text{CO}_2$ .

Результаты исследования соответствуют мировому уровню и опубликованы в ведущих российских и зарубежных журналах.

***В качестве замечаний можно отметить следующее:***

- Почему в разделе «Влияние факторов среды на цветения *E. huxleyi*» отсутствует описание влияния pH, хотя известно, что закисление океана из-за увеличения углекислого газа может серьезно повлиять на кокколитофориды?
- Почему в главе «Краткая характеристика районов исследования» не нашли отражения радиационные факторы климата и особенности прозрачности вод, которые лимитируют процессы цветения *E. huxleyi*?
- В разделе «Выбор спутникового продукта и периода исследований» в обосновании выбора основного источника данных дана фраза: «Основными критериями выбора при этом были статистические коэффициенты, установленные между значениями  $R_{rs}(\lambda)$ , полученными по спутниковым продуктам, и соответствующим им значениям *in situ*, а также протяженность области, свободной от облачности в зоне полосы захвата и количество лет наблюдений, перекрываемых каждым из трех спутниковых продуктов (Кондрик и др., 2017; Kondrik et al., 2017b)». Однако до этого в тексте раздела был описан только продукт Ocean Colour Climate Change Initiative, ESA. Эта фраза требует пояснения.
- В разделе «Выбор пространственного и временного разрешения спутниковых данных» обоснуется выбор только на данных для Баренцева моря. Причем не указано, на каком временном интервале тестирование. Требуется пояснения, за какой период времени были произведены расчеты и почему подобные тесты не проводились для других акваториях.
- В разделе «Заполнение пропусков в данных, маскированных «разорванной» облачностью» есть фраза: «...предварительный анализ показал отсутствие существенных изменений по расположению и интенсивности цветений *Emiliania huxleyi* в течение 8-дневного периода...». Однако на Рисунке 8 «Временная последовательность пространственного распределения зон цветения в Баренцевом море (20.07.2011–30.09.2011)» показано, что область цветения может за 8 дней (например, 20.07 и 28.07) изменяться по площади почти в два раза. Требуется пояснить данные разночтения.
- В разделе «Модификация био-оптического алгоритма BOREALI» не приведено географическое положение отобранных 24 станций, содержащих *in situ* измерения концентрации кокколитов, которые использовались для вариации алгоритма. Желательно ее привести для понимания географических особенностей их распределения.
- В разделе «Выбор данных по глубине перемешанного слоя» обосновывается выбор климатических данных для определения глубины перемешанного слоя. Однако в условиях изменения климата Арктики, которые отмечаются в последние десятилетия, данный подход будет вносить нарастающую погрешность в производимые определения суммарного содержания взвешенного неорганического



углерода в областях цветений *Emiliania huxleyi*. Желательно было бы представить качественные оценки возникающих погрешностей, что позволило бы повысить достоверность представленных значений.

- В разделе «Установление регрессионной зависимости между  $R_{rs}(\lambda = 490 \text{ нм})$  и  $\Delta p\text{CO}_2 [t=10^\circ\text{C}]$  на основе имеющихся данных» представлена линейная регрессия. Однако из представленного на рис. 16 набора исходных данных видно, что данный выбор не является оптимальным. Почему автором не было использована более подходящая степенная или экспоненциальная зависимость?
- Неудачной представляется формулировка последнего положения, выносимого на защиту «Приоритизация факторов среды в контексте степени их влияния». Приоритизация - это действие, при котором элементы или действия располагаются в порядке важности относительно друг друга. Соответственно на защиту желательно было бы вынести именно установленный порядок или его особенности.
- В тексте работы есть отсылки к достаточно удаленным по тексту главам исследования, что снижает качество восприятия хорошо и логично структурированной работы.

### **Заключение**

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 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:

доктор географических наук, доцент, профессор кафедры океанологии  
Санкт-Петербургского государственного университета



Зимин Алексей Вадимович

9.09.2020