

## ОТЗЫВ

члена диссертационного совета Дмитриева Василия Васильевича на диссертацию Лобановой Полины Вячеславовны на тему «Спутниковые алгоритмы оценки первичной продукции в водах с различными океанологическими условиями (на примере северо-восточной Атлантики и Японского моря)», представленную на соискание ученой степени кандидата географических наук по специальности 25.00.28. – Океанология

**Актуальность** исследования обусловлена необходимостью формализации представлений о первичной продуктивности различных районов Мирового океана, понимания роли факторов, ее определяющих, причин «злонакачественного увеличения первичной продукции» в одних акваториях и утраты способности продуцировать органическое вещество – в других, моделирования первичного звена трофических цепей в моделях морских экосистем в условиях изменяющегося климата и антропогенного воздействия на Мировой океан. Актуальность обусловлена также необходимостью перехода от контактных методов определения первичной продукции (ПП) к методам ДЗЗ в режиме реального времени и совершенствовании космического мониторинга, а также ГИС-визуализации его результатов на значительных по масштабам акваториях Мирового океана.

**Цель исследования:** анализ точности восстановления ПП с помощью спутниковых моделей в акваториях с различными океанологическими условиями. Точность восстановления ПП рассмотрена на примере северо-восточной части Атлантического океана - СВАО (20-65<sup>0</sup> с.ш., 5-40<sup>0</sup> з.д.) и Японского моря (35-44<sup>0</sup> с.ш., 130-137<sup>0</sup> в.д.).

**Задачи исследования:** 1. Анализ и систематизация имеющихся представлений о фотосинтезе морского фитопланктона и условиях его протекания; основных океанологических факторах, определяющих ПП; особенностях спутникового зондирования цвета океана и восстановлении океанологических био-оптических параметров; методах модельного и *in situ* определения ПП, в том числе, моделировании зависимости фотосинтеза от подводной освещённости; особенностях восстановления ПП с помощью спутниковой океанологической информации; валидации спутниковых моделей ПП;

2. Формирование массивов спутниковой и судовой океанологической информации о дневной интегральной ПП эвфотического слоя (*P<sub>Peu</sub>*) и основных параметрах, используемых для восстановления *P<sub>Peu</sub>* в регионах исследования;

3. Восстановление *P<sub>Peu</sub>* с помощью четырёх известных моделей: VGPM (Vertically Generalized Production Model), PSM (Platt and Sathyendranath Model), Aph-PP (Absorption Based Model) и модели ТОИ (разработанной в ТОИ ДВО РАН), с использованием спутниковой и судовой информации; формирование массивов этих данных в регионах исследования;

4. Проведение статистической оценки точности восстановления *P<sub>Peu</sub>* с помощью спутниковых моделей в различных биогеографических провинциях СВАО в различные сезоны; выбор региональной модели *P<sub>Peu</sub>* для СВАО;

5. Анализ чувствительности спутниковых моделей ПП для СВАО к изменчивости входящих в них параметров;

6. Сравнение спутниковых и судовых оценок концентрации хлорофилла-а (Хл) и модельных оценок *РР<sub>еи</sub>*, восстановленных с помощью VGPM и модели ТОИ на основе спутниковых и судовых данных, в западной части Японского моря;

7. Выявление и анализ ошибок восстановления *РР<sub>еи</sub>* с помощью спутниковых моделей и причин их возникновения на примере западной части Японского моря.

**Научная новизна работы** определяется автором следующими положениями:

1. Для восстановления *РР<sub>еи</sub>* в регионах исследования с помощью спутниковых моделей использованы наиболее полные и верифицированные массивы данных цвета океана из базы данных CCI OC (Climate Change Initiative Ocean Colour), представляющие собой объединённую информацию с трёх спектрорадиометров (SeaWiFS, MODIS Aqua и MERIS Aqua);

2. Предложены более точные методы восстановления *РР<sub>еи</sub>* в СВАО с помощью моделей PSM и Aph-PP с использованием регионально подобранных величин фотосинтетических параметров и коэффициента ослабления света для всего спектра фотосинтетически активной радиации (ФАР);

3. Предложены новые выражения для интегрированных по глубине эвфотической зоны световых функций моделей PSM и Aph-PP с учётом фотоингибирования и без, а также функция учёта фотоингибирования в модели VGPM;

4. Предложен комплексный алгоритм оценки точности восстановления *РР<sub>еи</sub>* с помощью спутниковых моделей;

5. Впервые проведена валидация спутниковых оценок концентрации Хл базы данных CCI OC (версия 1) в Японском море;

6. Предложен новый способ определения глубины эвфотического слоя с использованием данных о вертикальном распределении биогенных элементов (БЭ) и Хл на примере Японского моря;

7. Наглядно показано, на примере западной части Японского моря, что отсутствие учёта вертикальной изменчивости входящего в модели био-оптического параметра (хлорофилла-а) определяет ошибки спутниковых моделей ПП в стратифицированных водах.

**Автором выносятся на защиту:**

1. Методы восстановления *РР<sub>еи</sub>* в северо-восточной части Атлантического океана с помощью моделей PSM и Aph-PP с использованием регионально подобранных величин их фотосинтетических параметров, интегрированием их световых функций по глубине эвфотической зоны, использованием в моделях коэффициента диффузного ослабления подводной освещённости для всего спектра ФАР;

2. Комплексный алгоритм оценки точности восстановления *РР<sub>еи</sub>* с помощью спутниковых моделей;

3. Основными причинами возникновения ошибок спутниковых моделей *РР<sub>еи</sub>* в северо-восточной части Атлантического океана и западной части Японского моря являются: ошибки определения входящих в модели био-оптических параметров (хлорофилла-а, коэффициента абсорбции фитопланктона и коэффициента ослабления ФАР) по спутниковым алгоритмам; отсутствие учёта вертикальной изменчивости био-оптических параметров в пределах эвфотической зоны при значительной стратифицированности вод; и ошибки в оценках величин фотосинтетических параметров моделей.



Работа состоит из четырёх разделов, введения, заключения, списка сокращений, приложения и списка литературы: 334 источников, из которых 58 на русском и 276 на английском языках. Результаты исследования изложены на 205 страницах, включают 24 таблицы и 36 рисунков, трех приложений.

**Достоверность** представленных результатов обеспечивается большим количеством полевых данных, многолетним характером наблюдений и статистической значимостью проведенных расчетов. Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций обеспечивается также корректностью аналитических и численных методов исследования, большим массивом информационной базы, в качестве которой послужили данные многолетних океанологических наблюдений, статистические данные, сведения, опубликованные в периодических научных журналах и научной литературе. Справочные, каталожные и фоновые данные обобщены автором в виде базы данных (в соавторстве разработаны 2 программных кода, зарегистрированных в государственном Реестре РФ программ для ЭВМ).

Обоснованность и достоверность сформулированных в диссертации научных результатов и выводов, обеспечивается опорой на апробированные методы исследований (методы моделирования, статистические методы обработки натурных данных, космической съемки, получения картографических обобщений с использованием ГИС и ГИС-технологий).

Достоверность разработанных методов доказывается также положительными результатами их практического использования при разработке научных проектов и примерами, имеющимися в работе.

Достоверность полученных научных результатов традиционно должна также подтверждаться их внедрением в научно-исследовательские работы, апробацией и публикациями по теме диссертации. По теме диссертации опубликованы 7 статей (6 на русском и 1 на английском языках), входящих в систему РИНЦ, из которых 4 статьи - в периодических изданиях, включенных в перечень ВАК, Scopus и Web of Science (Russian Science Citation Index), и 3 статьи - в сборниках материалов конференций, один из которых включён в перечень Scopus. Основные результаты диссертации представлены на 5 международных и 4 российских конференциях, 1 международном и 3 российских научных семинарах.

Вопросы и замечания по тексту работы:

1. Автором в диссертации сформулированы 7 положений, характеризующих новизну исследования (с.8). По мнению рецензента, эти положения излишне детализированы. В целом, новизна исследования характеризуется тремя основными составляющими: 1. Автором создана новая компилятивная информационная база данных, содержащая наиболее полные массивы данных цвета океана и другие характеристики, использующиеся для доказательства адекватности моделей и расчетов биопродуктивности морских экосистем; 2. Автором впервые выполнена сравнительная оценка адекватности результатов моделирования ПП по разным моделям на основе данных ДЗЗ и подспутниковым наблюдениям с учетом региональных особенностей акваторий; 3. Автором впервые предложены и апробированы комплексные алгоритмы статистической оценки точности восстановления ПП с помощью моделей, наглядно иллюстрирующие региональную специфику формирования зон биопродуктивности и их временную



динамику в северо-восточной части Атлантического океана. Этот вывод подтверждается количеством положений, выносимых автором на защиту.

2. Автором выносятся на защиту три положения. Эти положения представлены в тексте по-разному. Два из них отвечают на вопрос, «что я защищаю». В первом случае диссертант защищает «методы восстановления *PReu* с помощью моделей PSM и Aph-PP». Эти результаты представлены в разделе 3.2 диссертации. Во втором случае - «комплексный алгоритм оценки точности восстановления *PReu* с помощью спутниковых моделей». Эти результаты представлены в разделе 3.4. В третьем случае подробно формулируется авторское представление об основных причинах возникновения ошибок спутниковых моделей *PReu*. К ним автором отнесены: ошибки определения входящих в модели био-оптических параметров (хлорофилла-а, коэффициента абсорбции фитопланктона и коэффициента ослабления ФАР) по спутниковым алгоритмам; отсутствие учёта вертикальной изменчивости био-оптических параметров в пределах эвфотической зоны при значительной стратифицированности вод; ошибки в оценках величин фотосинтетических параметров моделей. Это положение соответствует задаче №7 работы и раскрывается в главе 4 диссертации. Таким образом, формулировка автором положений, выносимых на защиту, выносит за обсуждение результаты разделов 1, 2, анализ самих моделей ПП (раздел 3.1), методы восстановления *PReu* по другим моделям, описанным в работе; сравнительный анализ модельных и *in situ* данных по провинциям, сезонам, станциям, а также другим регионам, приведенным в работе. В идеале можно было, с одной стороны, уменьшить количество задач, с другой стороны, увеличить количество защищаемых положений, чтобы определенной задаче соответствовало бы свое защищаемое положение и свой раздел работы.

3. Обобщение результатов исследования, содержащееся в разделе «Заключение», содержит тройную нумерацию по типу: 1; 1.3; 1.3.1 и т.п. Поэтому сложно назвать общее количество выводов. По мнению рецензента, это является следствием недостаточного обобщения результатов в отдельных главах (разделах) работы и, в некоторых случаях, неопределенностью в их интерпретации. Наличие выводов в отдельных разделах могло бы сделать заключение более компактным и избежать неопределенностей в рекомендациях применимости тех или иных методов восстановления ПП. Возможно, в работе следовало бы ввести раздел, агрегирующий в виде таблицы преимущества и недостатки моделей восстановления с учетом временных, пространственных и других эффектов, ожидаемые завышения (занижения) результатов (и их возможную причину). К числу «других» эффектов, по-видимому, можно также отнести доминирующие *in situ* в данный сезон таксоны фитопланктона, отражающие характерные содержания Хл и других пигментов (феофитин, дивинил-хлорофилл «а» и др.), называемыми «вспомогательными пигментами» (подразделяются на «фотосинтетически активные» и «фотопротекторные»); степень упаковки пигментов («эффект упаковки», отражающий физиологическую адаптацию фитопланктона к сезонным изменениям факторов среды) в клетках при разном содержании хлорофилла и объемах клеток; удельные коэффициенты поглощения света на отдельных длинах волн (в красном и синем максимуме) и их соотношение; формы спектров, отражающие видовые и сезонные особенности поглощения ФАР; сама величина ФАР и другие параметры. Остается открытым вопрос о составе взвеси, содержании в ней отмерших клеток фитопланктона, его сезонном изменении и влиянии на оценку ПП по моделям. Можно анализировать границы применимости моделей на основе

статистических ошибок точности восстановления ПП или, например, на основе возможности применения моделей для разного трофического статуса морских экосистем и разных сезонов года (изменяется соотношение между поглощением в синем и красном максимуме). В этом плане у П.В. Лобановой имеются большие перспективы.

Отмеченные рецензентом замечания обусловлены интересом к работе и могут рассматриваться как рекомендации для будущих исследований автора.

Обобщая сказанное, можно сделать вывод о том, что выполненное Лобановой Полиной Вячеславовной исследование, является актуальной, современной, законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны научные положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение, выражающееся в разработке и апробации методов восстановления первичной продукции на примере северо-восточной части Атлантического океана на основе моделей PSM и Aph-PP с использованием регионально подобранных величин их параметров; создания комплексного алгоритма оценки точности восстановления первичной продукции с помощью спутниковых моделей; выявления основных причин возникновения ошибок спутниковых моделей первичной продукции в северо-восточной части Атлантического океана и западной части Японского моря.

Выполненный автором труд, имеет высокое научное и практическое значение, и соответствует уровню диссертационной работы на соискание ученой степени кандидата наук. Приведенные в диссертации результаты являются новыми и в совокупности отражают многолетние исследования автора.

Достоверность результатов определяется большим количеством использованного материала наблюдений, обобщенных автором, опытом применения разработанных методов и моделей для практической реализации обозначенных задач. Публикации соответствуют заявленной теме исследования.

Диссертация Лобановой Полины Вячеславовны на тему «Спутниковые алгоритмы оценки первичной продукции в водах с различными океанологическими условиями (на примере северо-восточной Атлантики и Японского моря)» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 01.09.2016 № 6821/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Лобанова Полина Вячеславовна заслуживает присуждения ученой степени кандидата географических наук по специальности 25.00.28. – Океанология.

Член диссертационного совета

Доктор географических наук, профессор,  
профессор кафедры гидрологии суши  
Санкт-Петербургского государственного  
Университета



В.В. Дмитриев

Дата 24 мая 2018 г.