

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА
на диссертацию Кудрявцевой Елены Андреевны
«РОЛЬ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ В РАСПРЕДЕЛЕНИИ ПЕРВИЧНОЙ
ПРОДУКЦИИ РОССИЙСКОГО СЕКТОРА ГДАНЬСКОГО БАССЕЙНА
БАЛТИЙСКОГО МОРЯ»,
представленную к защите на соискание ученой степени кандидата географических
наук по специальности 25.00.36. – Геоэкология

Диссертация Е.А. Кудрявцевой является оригинальным, актуальным, законченным исследованием, имеющим достаточно высокую научно-теоретическую значимость и реальное практическое приложение.

Актуальность диссертации обусловлена необходимостью выявления геоэкологических факторов, влияющих на величину и распределение первичной продукции (ПП) в морских экосистемах в условиях потепления климата. Применительно к Балтийскому морю особый интерес к исследованиям ПП связан с проблемой её непрекращающегося роста. Количественные оценки ПП в российском секторе Гданьского бассейна необходимы для понимания процессов, определяющих трофический статус экосистемы всей Балтики.

Целью работы является выявление закономерностей распределения ПП в российском секторе Гданьского бассейна Балтийского моря и определение наиболее важных формирующих их геоэкологических факторов.

Для достижения цели автор решает следующие задачи.

1. Выявить сезонную изменчивость вертикального распределения продукционных характеристик фитопланктона, осредненных по слою максимума ПП.
2. Изучить среднемноголетние сезонные карты распределения абсолютных и удельных величин ПП фитопланктона.
3. Проследить временную изменчивость трофического статуса рассматриваемой акватории за период наблюдений 2003-2015 гг. и в голоцене.

Научная новизна содержится в предлагаемых региональных алгоритмах: (1) определения толщины фотического слоя; (2) оценки пространственного распределения ПП на основании данных по температуре воды; (3) описания сезонной динамики ПП в столбе воды по данным о концентрациях хлорофилла «а». По среднегодовым и среднесезонным величинам ПП автор выделяет участки акватории, находящиеся под воздействием разных геоэкологических факторов. Показывается возможность регионального вычисления величин первичной палеопродукции фитопланктона по данным о содержании органического углерода в донных осадках.

Практическая значимость работы заключена в возможности использования содержащейся в ней информации по пространственно-временному распределению ПП для обеспечения морского природопользования в юго-восточной части Балтики.

Защищаемые положения (в кратком изложении):

1. В российском секторе Гданьского бассейна Балтийского моря по данным измерений ПП *in situ* толщина фотического слоя незначительно изменяется в течение года, тогда как по данным гидрооптических наблюдений непрямым методом она меняется кратно. Для корректировки определения нижней границы фотического слоя непрямым методом предложен региональный регрессионный алгоритм.
2. Повышенные величины ПП в теплый период года характерны для береговой зоны. Стимулирование фотосинтеза здесь связано с интенсивным перемешиванием

и поступлением биогенных элементов с материковым стоком. Приток тепла с глубины и снижение мутности вод обуславливают относительное увеличение продукции фитопланктона зимой. Форма береговой линии и рельеф дна обуславливают неоднородности горизонтального распределения первичной ПП в береговой зоне. Температура является индикатором вод с разной продуктивностью фитопланктона.

3. Характер сезонных изменений ПП обусловлен изменчивостью концентраций нитратов в фотическом слое. Около четверти ежегодной величины ПП производится динофлагеллятами в период короткого весеннего максимума. Около половины ежегодной величины ПП создается зелеными и синезелеными водорослями в период продолжительного летнего максимума, который отмечается на месяц раньше, чем считалось.

4. Трофический статус рассматриваемой акватории соответствует верхнему уровню, установленному для мезотрофных вод, не изменился за период наблюдений и находится в пределах естественных колебаний продуктивности Гданьского бассейна на протяжении голоцена.

В структурном отношении работа состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы и 3 приложений. Список литературы включает 317 наименований, в том числе 102 отечественных, 215 на английском языке и 3 электронных ресурса.

Во **Введении** обоснована актуальность темы; определены цель и задачи исследования; раскрыта научная новизна, практическая значимость результатов; сформулированы положения, выносимые на защиту. В **Главе 1** дана общая схема распределения ПП в Мировом океане в зависимости от геоэкологических факторов (по литературным данным). Приведены краткая физико-географическая характеристика Балтийского моря и обзор научных исследований его ПП. Специальный раздел посвящен Гданьскому бассейну, который автор считает одним из наиболее загрязненных и эвтрофированных районов моря. В **Главе 2** делимитируется район исследования, описываются объем фактического материала и методы, использованные в данной работе.

Глава 3 посвящена анализу пространственного распределения ПП. В **разделе 3.1** рассматривается сезонный ход ее вертикального распределения. Автор показывает, что в верхнем 5-м слое в течение года создается более 70% интегральной ПП, а верхний 10-м слой включает в себе почти 90% ПП в столбе воды. Сезонный ход толщины фотического слоя по данным измерений ПП *in situ* мало изменяется в течение года и отличается от хода расположения «световой» глубины, до которой потенциально возможен фотосинтез. При работе с диском Секки применение любого фиксированного коэффициента для вычисления толщины фотического слоя приводит к переоценке (недооценке) смоделированных значений фотического слоя. В отличие от фиксированных коэффициентов, регрессионный алгоритм обеспечивает более качественную подгонку модели ко всему диапазону данных и позволяет подбирать переходный коэффициент для любых месяцев и участков изучаемой акватории.

Специальный **раздел 3.2** посвящен анализу сезонного и ежегодного горизонтального распределения ПП в верхнем 10-м слое. Максимальные величины ПП наблюдались автором в зимний период. В качестве геоэкологического фактора, обуславливающего относительное увеличение скорости фотосинтеза в открытых морских районах, рассматривается приток тепла с глубины. На локальном уровне развитие диатомовых водорослей может быть стимулировано турбулентным переме-

шиванием в тени подводных поднятий, обусловленным интенсификацией течений вследствие перепада высот. Показана неравномерность распределения соединений азота по сравнению с фосфатами. Весной в пределах дуги Самбийский п-ов – Куршская коса действует крупномасштабная система сходящихся течений. В районе сочленения полуострова и косы расположена область с относительно повышенной ПП. Эта область занимает промежуточное положение между двумя относительно холодными участками акватории, которые прогреваются медленнее вследствие больших глубин и часто возникающего апвеллинга. Летом наибольшие величины ПП и скорости фотосинтеза наблюдаются в наиболее теплых и пресных водах, примыкающих к северному побережью Самбийского п-ва. В районе п. Рыбачий отмечается снижение ПП и скорости фотосинтеза. Во-первых, этот район находится на удалении от источников биогенов на побережье Самбийского п-ва. Во-вторых, на интенсивность фотосинтеза неблагоприятно влияет ускорение вдольбереговых течений. В-третьих, негативное влияние на физиологическое состояние зеленых и синезеленых водорослей здесь может оказывать апвеллинг. Осенью течения от поверхности до дна имеют генеральное северо-восточное направление. В условиях теплой осени в береговой зоне от основания Куршской косы до м. Таран отмечаются повышенные величины ПП. В холодные осени величины ПП близки к невысоким значениям, наблюдаемым на остальной части акватории. Для осеннего периода характерны наиболее высокие чистые скорости фотосинтеза в наиболее теплой глубоководной части акватории.

На основании среднесезонного и среднегодового распределения ПП в изучаемом районе автором выделены пять подрайонов. В каждом из них проанализированы среднесезонные и среднемноголетние величины продукции фитопланктона и показателей состояния морской среды и вычислены корреляционные взаимосвязи между ними, которые оказались выше, чем связи для точек, сгруппированных по батиметрическому принципу. В качестве геоэкологических факторов воздействия на уровень ПП в различных подрайонах выделены: форма береговой линии и рельеф дна; выраженность вдольбереговых течений; температура и соленость воды; интенсивность перемешивания и водообмена; материковый сток; апвеллинг; нагон пресных и продуктивных вод; прохождение синоптических вихрей. В зависимости от абиотических условий в выделенных подрайонах зависимость ПП от концентраций фосфатов и нитратов проявляется по-разному или не проявляется вообще.

Важным результатом изучения и анализа распределения ПП в российском секторе Гданьского бассейна является выявление её тесной взаимосвязи с прогревом верхнего 10 м слоя. Температура, таким образом, является индикатором вод с разной продуктивностью фитопланктона. Высокая степень корреляционных взаимосвязей ПП и прогрева воды как в открытом море, так и в береговой зоне позволяет перейти к оценке ПП на основании измерений температуры в исследуемом районе (автором предлагаются необходимые для расчетов зависимости).

Глава 4 посвящена изучению разномасштабной временной изменчивости продукции фитопланктона.

В **разделе 4.1** рассмотрены внутригодовые изменения ПП. Кривые, описывающие сезонные изменения ПП и концентрации хлорофилла «а» на поплавковой станции, в целом совпадают; поэтому сезонная динамика ПП может быть описана на основании его концентраций. Однако из-за некоторого временного разрыва между максимумами ПП и концентрации хлорофилла «а» необходима коррекция полученных из уравнения величин ПП относительно её реальных значений *in situ*.

Автор предлагает необходимые расчетные формулы. Сезонные изменения общей биомассы фитопланктона в верхнем 10-м слое существенно отличаются от сезонных изменений концентраций хлорофилла «а» из-за изменения в течение года удельного содержания хлорофилла «а» в клетках различных группировок фитопланктона. Описывая состав фитопланктонного сообщества, автор отмечает доминирующую роль зеленых водорослей. Во время весеннего «цветения» главными продуцентами биомассы фитопланктона являются динофлагелляты. Автор приводит любопытные сведения о том, что динофлагелляты доминировали в биомассе фитопланктона в 1990-е гг. в юго-восточных районах Балтийского моря (Wasmund et al., 2017), в то время как доминирование диатомовых типично для исторического ряда данных, полученных до 1980-х гг. Различия в составе этих двух групп должны оказывать влияние на величину весеннего максимума ПП, поскольку в клетках динофлагеллят содержится в 2,9-3,6 раз больше углерода (Menden-Deuer, Lessard, 2000), чем в клетках диатомовых. Основное количество ПП (43-49% ежегодной величины) создается фитопланктоном в период биологического лета не только за счет его большей продолжительности, но вследствие преобладания в составе фитопланктона зеленых водорослей, имеющих наибольшее содержание углерода в клетках. Весной создается 21-27% ежегодной величины ПП. В зимние месяцы отмечается недостаток азота относительно фосфатов - то есть, азотом потенциально лимитируется развитие фитопланктона. Это подтверждается высокой степенью корреляционной взаимосвязи годового хода ПП и концентраций нитратов.

В **разделе 4.2.** рассматриваются межгодовые изменения ПП, её ежегодный уровень и трофический статус российского сектора Гданьского бассейна. По величине ПП изучаемый район в период наблюдений соответствовал верхнему уровню, установленному для мезотрофных вод. Статистически значимой тенденции к изменению уровня ПП за время наблюдений не выявлено. К основанию Куршской косы и северному побережью Самбийского п-ва, находящегося под антропогенным влиянием, примыкали воды, достигающие эвтрофного статуса.

Наконец, **раздел 4.3** посвящен расчетам палеопродуктивности. Хорошая сопоставимость величины ПП, определенной по содержанию C_{org} в осадках Гданьской впадины возрастом 29 лет, с уровнем ПП в период, когда эти осадки были накоплены, дает автору основание для применения результатов вычисления продукции фитопланктона для изучения её палеопродуктивности. Чрезвычайно интересно предположение автора о том, что современные изменения уровня трофности изученного района укладываются в пределы его естественного колебания в голоцене.

В **Заключении** автор делает краткое обобщение результатов, полученных в ходе исследований, и формулирует **выводы**.

Выводы диссертационного исследования написаны четко, емко и «выпукло». Их содержание отвечает положениям, выносимым на защиту, и полностью подтверждено основным текстом диссертации.

В **Приложениях 1 и 2** представлены среднегодовые сезонные величины ПП и других показателей состояния морской среды, осредненные по верхнему 10 м слою в разных частях исследованного района. В **Приложении 3** показана корреляционная матрица между ПП и показателями состояния морской среды в точке ежемесячных наблюдений.

Личный вклад автора в выполненное исследование заключается:

- в выполненном анализе большого объема зарубежной и отечественной литературы по ПП Балтийского моря и связанным с ней показателям функционирования морской экосистемы;

- в произведенных измерениях ПП, параметров бактериопланктона, прозрачности воды и суммарной освещенности за день (во время 24 экспедиций);

- в обобщении и анализе полученных данных;

- в формулировании результатов и выводов исследования.

Диссертация прошла достаточно хорошую **апробацию**. Материалы диссертации были представлены на ряде международных и национальных конференций и на Школах по морской геологии.

По теме диссертации **опубликовано** 26 работ, из них 3 статьи в журналах, рекомендованных ВАК, 3 раздела в монографиях, 5 статей в научных сборниках и 15 докладов в материалах международных и российских научных конференций.

По содержанию диссертации и автореферата имеется ряд замечаний.

Стиль изложения материала диссертации вызывает ассоциации с «Магазином Тысячи Мелочей»: автор уделяет большое внимание деталям локального распределения ПП, отвлекаясь от вынесенной в название диссертации темы – *оценки роли геоэкологических факторов в формировании продукционного поля*. Ознакомившись с подробностями продукционных процессов в выделенных автором подрайонах (то есть - локальных образованиях), мы так и не находим ни в последней главе, ни в выводах какого-либо списка-перечня выявленных важнейших геоэкологических факторов формирования ПП, равно как и указаний, на что именно эти факторы оказывают воздействие, и какое - стимулирующее или ингибирующее.

Не всегда обоснованы рассуждения автора на общеэкологические темы. Так, во Введении автор утверждает (без ссылки на источник), что «не менее половины ПП Земли создается в Мировом океане планктонными организмами». Это более чем спорно, учитывая роль подводных, полупогруженных и околоводных макрофитов, ветлендов, а также – по результатам исследований рубежа XX и XXI вв. – водно-болотных экосистем.

Некорректен тезис о многократном использовании «первичной энергии» в экосистеме (опять же без ссылки на источник): в соответствии с постулатом Г.Одума, в экосистеме может многократно использоваться только вещество, а энергия проходит по трофической цепи один раз, преобразуясь и рассеиваясь на каждом уровне (см.: Шилин М., Хаймина О. Прикладная морская экология. - СПб, 2014).

Указывая в качестве важнейшей функции фитопланктона регуляцию обмена O_2 и CO_2 между океаном и атмосферой, уместно было бы сравнить его регулирующую роль с работой, выполняемой в этом направлении коралловыми рифами.

Применительно к фитопланктону не вполне корректно подменять понятие «систематическая группа» термином «группировка».

В Главе 2 при изложении методов исследования автор употребляет названия институтов и фирм в сокращенном виде без каких-либо пояснений, так что не всегда остается понятным, что скрывается за аббревиатурами АО ИО РАН, АОИРАН, ЛУКОЙЛ-КМН, МЛСП Д6, ВСЕГЕИ, ИГКЭ и ИНМИ РАН и др.

Сделанные замечания не снижают общего благоприятного впечатления от диссертации. Цель и задачи работы безусловно выполнены. Добротность материала и репрезентативность выборок не вызывают сомнений. Методы обработки материала изложены достаточно подробно и на сегодняшний день могут быть признаны оптимальными. Математический аппарат, использованный

автором для выявления статистических закономерностей, является вполне адекватным.

Текст автореферата в полной мере отражает содержание диссертации.

Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 25.00.36 – Геоэкология.

Вывод: диссертационная работа «РОЛЬ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ В РАСПРЕДЕЛЕНИИ ПЕРВИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ РОССИЙСКОГО СЕКТОРА ГДАНЬСКОГО БАССЕЙНА БАЛТИЙСКОГО МОРЯ», представленная к защите на соискание ученой степени кандидата географических наук по специальности 25.00.36. – Геоэкология, удовлетворяет требованиям ВАК, а ее автор - Кудрявцева Елена Андреевна – заслуживает присвоения искомой степени.

Заведующий кафедрой экологии и биоресурсов факультета экологии
Российского государственного гидрометеорологического университета
доктор географических наук (специальность 25.00.36 – Геоэкология),
профессор

Шилин Михаил Борисович

24 июля 2017 г.



Шилин Михаил М.Б.
уф. Шилин М.Б.
Кадровый менеджмент Шилин М.Б.

195196, г. Санкт-Петербург, проспект Metallистов, дом 3
(www.rshu.ru/university/faculty/ecol/ecol/)

Адрес электронной почты: shilin@rshu.ru

Тел. +7 (921) 902 45 65