

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

Шарафутдиновой Гульнары Феметдиновны на тему «Моделирование продукционно-деструкционных отношений в озерных экосистемах» по специальности 25.00.36 – Геоэкология (Науки о Земле) на соискание ученой степени кандидата географических наук.

Актуальность темы диссертации обусловлена увеличением масштабов антропогенного эвтрофирования и загрязнения водоемов суши. При этом загрязнение и оценка качества природных вод исследуется многими авторами и научными организациями, в то время как антропогенное эвтрофирование часто неправомерно отождествляется с загрязнением и не выделяется как самостоятельная тема исследования и научная проблема. При ее решении остаются открытыми вопросы: причины, темпы, масштабы, контроль эвтрофирования в различных естественных и антропогенных условиях; особенности эвтрофирования водных экосистем циклического, транзитного и каскадного типов; выделение репрезентативных критериев оценки трофности водоемов и разработка оценочных шкал для них; развитие мониторинга и разработка моделей водных экосистем для целей прогнозирования функционирования экосистем и продукционно-деструкционных отношений в них. Недостаточными темпами развиваются приборная база и методы мониторинга продукции и деструкции органического вещества в водоемах, индексология и оценка рисков антропогенного эвтрофирования. Часто упоминаемые ссылки на возможность дистанционного измерения концентрации хлорофилла в водоемах профессионально не оправданы, поскольку между концентрацией хлорофилла и первичной продукцией существует прямая нелинейная связь и она индивидуальная для разных водоемов.

Целью диссертационной работы является количественная оценка формирования продуктивности и возможности самоочищения экосистем малых озер на основе математического моделирования и данных мониторинга. Для достижения поставленной цели автором решались следующие задачи:

1. Проведение натурных наблюдений в 2010-2012 гг. на четырех озерах Карельского перешейка, различающихся по режиму продуцирования органического вещества;
2. Формализация влияния факторов среды и биоты на продукционно-деструкционные отношения в малых озерах;
3. Селекция алгоритмов для представления факторного воздействия и разработка P/D -модели в целом;
4. Идентификация и верификация разработанной модели на озерах Карельского перешейка по натурным и литературным данным;
5. Апробация P/D -модели и оценка P/D -баланса органического вещества планктонного сообщества в водоемах различной трофности по результатам моделирования и натурным данным.

Оценка содержания диссертации, ее завершенности.

В первой главе диссертации описаны основные понятия, употребляемые в работе, а именно первичная продукция фитопланктона, деструкция органического вещества планктонным сообществом, траты на обмен, P/D -отношение, удельная скорость роста фитопланктона, P/B -коэффициент и интенсивность деструкции. Основной характеристикой является P/D -отношение. Она отражает эффективность продукционных процессов в водоеме.

Представлен обзор развития представлений о процессах первичного продуцирования и деструкции органического вещества в водных экосистемах. Описаны основные факторы и характер их воздействия на скорости обменных процессов. Благодаря единому объективному способу выражения первичной продукции, например, в калориях на единицу площади

за определенное время, возникает возможность рассматривать эту величину в качестве функции ограниченного числа переменных.

При формулировке моделей автором был определен следующий состав воздействующих факторов: температура воды, солнечная радиация, прозрачность воды, содержание биогенных элементов, содержание тяжелых металлов, активная реакция среды, биомасса фито-, зоо- и бактериопланктона. Таким образом, с помощью выбранных факторов охвачены гидрофизические, гидрохимические и гидробиологические параметры окружающей среды, что отражает комплексный подход к решению поставленной перед исследователем задачи.

Последовательное раскрытие теоретических аспектов воздействия выбранных факторов дало автору более широкую базу для осмысления и селекции алгоритмов оценки их влияния на скорости продукции и деструкции органического вещества в водоемах.

В начале **второй главы** автор обращает внимание на отсутствие таких репрезентативных параметров как скорость продукции и деструкции *ОВ* и их отношение в программах государственного мониторинга поверхностных вод. Хотя, даже располагая фактическими данными по первичной продукции, отнесение водоема к тому или иному типу трофности с помощью оценочных шкал различных авторов часто не дает однозначного результата. То же происходит при оценке трофности с помощью косвенных показателей. То же выявляется и при многокритериальном оценивании по ограниченному количеству репрезентативных индексов трофности (индексы полуэмпирической теории эвтрофирования водоемов, индекс Карлсона, индексы Бульона, индексы Ивлева, индексы Тийдора, индексы Моисеенко, индексы трофосапробности; современные индексы, рекомендуемые европейскими учеными для оценки трофности проточных водных экосистем: MTR – «осредненная трофическая оценка»; IBMR – «биологический индекс макрофитов для рек» и индекс TIM – «трофический индекс макрофитов». и др.). Здесь многокритериальность также породила проблему несравнимости

полученных оценок по различным индексам. Выход мог быть найден в развитии моделей интегрального оценивания трофности, но автор выбрала другой путь.

Авторские исследования были проведены на трех малых озерах в северной части Карельского перешейка ежемесячно с мая по сентябрь 2010–2011 гг., а также на оз. Суури 1–3 раза в год с 2009 по 2012 гг.

При анализе натуральных данных было получено, что новообразование органического вещества процесс сложный, зависящий от целого комплекса факторов, воздействие которых нужно учитывать в совокупности. При анализе результатов полевых исследований ни одна из исходных простых гипотез для исследованных озер не подтвердилась. Кроме натуральных наблюдений в основу исследования были положены данные, собранные из литературных источников, в основном из научных статей. Всего было автором исследовано 40 озер.

Все озера были формально поделены на четыре группы по месторасположению на Карельском перешейке.

Проведенный анализ показал, что такой параметр как первичная продукция фитопланктона является сильно изменчивым как внутри суток, так и по сезонам года, вследствие своей высокой чувствительности действию отдельных факторов. Даже продолжительные исследования на одном озере, зачастую, не дают возможности для получения удовлетворительных обобщений, которые можно было бы использовать для прогноза в других водоемах.

Автором подробно обсуждаются методы исследования. Кроме классических методов отбора, обработки и анализа проб на различные показатели, использовались программы для статистической и ГИС-обработки данных.

В 2011 г. автором получены уникальные данные по надводной и подводной освещенности вод озер с помощью прибора «Li-COR», которые и позволили рассчитать сходимость фактических и модельных значений

подводной поступающей солнечной радиации. Диссертанткой получено, что граница фотической зоны для исследованных озер располагается в среднем на глубине равной 1,5 глубинам прозрачности.

Разработка моделей скоростей массообмена включала в себя создание модели скорости продуцирования *ОВ* в водоеме и модели скорости деструкции *ОВ* фито- зоо- и бактериопланктоном. Основным методом создания модели была селекция алгоритмов расчета частных функций отклика. При оценке составляющих деструкционного процесса автором разработан метод оценки трат на обмен фитопланктона.

В третьей главе описана разработка модели продукционно-деструкционных отношений в водной экосистеме. Представлены основные допущения, которые использовались при построении модели. Основной задачей автора было построить модель временных изменений интенсивности первичного продуцирования органического вещества в зависимости от совместного воздействия внешних факторов. Была использована гипотеза Митчерлиха об одновременном влиянии факторов на скорость массообмена.

При этом весь набор факторов делится на две категории: ресурсные – свет, биогенные элементы и физиологические – температура, тяжелые металлы и *pH*. Принималось, что законы толерантности относятся, в первую очередь, к физиологическим факторам, а законы лимитирования – исключительно к ресурсным.

Основное предположение состояло в том, что при отсутствии лимитации первичной продукции внешними факторами (оптимальные условия среды) интенсивность первичного продуцирования *ОВ* достигает своего максимума.

Последовательно были заданы функции для всех факторов воздействия. Некоторые из них были взяты из литературных источников, некоторые выведены эмпирически, а для такого параметра как *pH* автор самостоятельно предложил формулу зависимости. Так зависимость от температуры была описана с помощью правила сумм температур, три

ресурсных фактора были заданы уравнением гиперболы – уравнение Моно, формулы зависимости от тяжелых металлов и активной реакции среды были получены эмпирически.

Следующим этапом был расчет скоростей деструкции органического вещества фито-, зоо- и бактериопланктона. Просуммировав их, автор нашла общую скорость деструкции органического вещества в модельной экосистеме.

В четвертой главе автором представлены процедуры идентификации и верификации разработанной модели по данным, собранным на озерах Карельского перешейка. Автор посчитала достаточной проверку сходимости рассчитанных и фактических данных по таким критериям, как критерий случайности, критерий 0.674σ и коэффициент корреляции.

Анализ временной изменчивости продукционно-деструкционных отношений в водных экосистемах по результатам моделирования внутри года показал, что характер этих кривых достаточно разнообразен.

Межгодовые изменения продукционно-деструкционных отношений имеют ярко выраженную тенденцию на увеличение.

В диссертации рассматривались два эксперимента, проведенных с полученной моделью. В первом эксперименте для двух гипотетических водоемов олиготрофного и эвтрофного типов было рассчитано по пять вариантов изменения ключевых параметров для каждого из четырех гипотетических сценариев.

Как оказалось из первого эксперимента, не все экологические нарушения приводят к увеличению продукционных свойств водоема. Есть и такие, которые снижают продуктивность экосистемы. Например, ухудшение прозрачности воды или увеличение ее температуры.

В эвтрофном водоеме показан более резкий характер снижения P/D -отношения по сравнению с олиготрофным водоемом при ухудшении оптических свойств воды.

Рассмотрен наиболее распространенный сценарий развития событий – поступление в водоем большого количества биогенных элементов. Как и в случае с прозрачностью, сделан вывод о том, что недостаток или избыток биогенных элементов оказывает более сильное влияние на продукционно-деструкционный баланс в олиготрофном озере, чем в эвтрофном.

Получено, что в каждом из рассмотренных озер факторы, оказывающие наибольшее влияние различны. Так в олиготрофном озере это содержание биогенных элементов, а в эвтрофном озере это доступность солнечной радиации. Это не противоречит широко известному принципу Либиха о том, что фактор, находящийся в дефиците, становится лимитирующим.

Во втором эксперименте для оценки гипотетической внутригодовой изменчивости таких параметров как скорость продуцирования органического вещества P и P/D -отношение, автор произвела их расчет для периода открытой воды в озерах олиго-, мезо- и эвтрофного типа.

Получено, что скорость продуцирования представляет собой во всех трех случаях, с водоемами различной трофности, одновершинную кривую с пиком в июле. По всей видимости, решающую роль для скорости продуцирования здесь играет температура воды, ведь в июле она обычно максимальна в каждом озере. Конечно, в естественных условиях нет такой прямой зависимости от температуры воды, иногда встречаются двухвершинные или чашеобразные кривые изменений PPP . В мезотрофном и эвтрофном водоемах в течение года P/D -баланс может быть как положительным, так и отрицательным. Отмечены диапазоны изменения этого параметра. Для олиготрофного озера они гораздо уже и составляют 0.4, тогда как в мезотрофном и эвтрофном озерах они составляют примерно 1.2.

В общем виде изменения P/D -отношений представляют собой куполообразную одну либо двухвершинную кривую с минимумами в конце вегетационного периода.

С помощью разработанной модели Г.Ф. Шарафутдиновой разработаны и рассчитаны дополнительные динамические и показательные критерии.

Автором получена оценочная шкала способности водоемов к самоочищению, рассчитанная с помощью интегральных P/D -отношений, с поправкой на степень гумозности водоема. Точным маркером антропогенного воздействия на озеро предложено считать трехкратное превышение скорости продуцирования органического вещества над скоростью его утилизации планктонным сообществом.

В заключении подводятся итоги исследований автора.

Обобщая сказанное можно сделать вывод о том, что выполненное Г.Ф. Шарафутдиновой научное исследование является актуальной, многоплановой, современной, законченной научно-квалификационной работой, позволившей автору обобщить и систематизировать отечественные и зарубежные данные о подходах к оценке продукционно-деструкционных процессов в малых озерах на основе анализа многолетних и сезонных изменений компонентов биоты и абиотической среды и моделирования этих процессов. Автором разработаны новые подходы к мониторингу экологически значимых процессов и получены практически значимые выводы по изменению состава, свойств, режимов водных экосистем, их способности (или их утраты) создавать и перерабатывать созданную первичную продукцию.

Эти результаты важны для охраны, рационального использования и контроля состояния озерных экосистем с целью сохранения для нынешних и будущих поколений людей ее продуктивной природной среды, которые можно трактовать, как решение важной научной и прикладной народно-хозяйственной задачи.

Высказанные недостатки, представленной к защите работы, и поставленные вопросы свидетельствуют скорее о многоплановости возможного продолжения исследований автора и не ставят под сомнение его научную и профессиональную подготовку для решения поставленных научных проблем. Подтверждением этого является перечень авторских

публикаций, приведенный в диссертации и автореферате. Выполненный автором труд, имеет, несомненно, высокое научное и практическое значение, и соответствует уровню диссертационной работы на соискание ученой степени кандидата наук.

К замечаниям и вопросам по работе можно отнести следующие:

1) Цель работы, сформулированная автором, не отражает ее названия, хотя далее Шарафутдинова Г.Ф. справляется со всеми поставленными перед ней задачами. Возникает также несоответствие и с обозначенной главной проблемой работы.

2) Обобщения данных по первичной продукции и деструкции, сделанные по литературным источникам, включают 40 озер, но остается открытым вопрос относительно сравнимости данных, т.к., видимо, для всех озер за период с 1958 по 2012 г. применялись различные приборы и методы. Автором сделана попытка решить эту проблему на исследованных более детально в работе 4-х озерах. Однако они не охватывают всех типов рассмотренных выше озер, не были сделаны измерения в зимние месяцы, да и период наблюдений с 2009-по 2012 год также является недостаточным, т.к. не может охватить весь период водности.

3) В работе полностью отсутствует описание гидрологических особенностей водоемов, указание на элементы водного баланса, которые несут первостепенную роль в формировании гидрохимического состава вод озер и P/D баланса. Так, одним из достоинств работы является рассмотрение отдельных факторов среды (рН, мутности, содержания в воде биогенных элементов, температуры и освещенности) на P/D – отношение, но автор не использует такие значимые гидрологические параметры для формирования озер, как коэффициент водообмена или морфометрические параметры водоема.

4) Автором не очень четко сформулированы определения «P/D – отношение», «P/D - баланс» и «P/D - режим». Если говорить о «балансе», то

это система показателей, которые характеризуют соотношение или равновесие в каком-либо постоянно изменяющемся явлении, а у автора «P/D баланс - это результат анализа P/D – отношения» без указания на его проведение. Автором указано, что разработана методика оценки P/D - баланса, однако в работе недостаточно полно описано наличие предложенной Шарафутдиновой шкалы способности водоемов к самоочищению. Введение автором понятия «P/D - режим» имеет свои основания, однако в данной работе его использование неправомерно в связи с отсутствием зимних наблюдений.

5) В продолжение предыдущего вопроса хочется пожелать автору более четко сформулировать новые понятия и определения, не использовать синонимы, которые хотя и являются близкими по значению, но все-таки отличаются по сути. Так, например, Гульнара Феметдиновна применяет как взаимозаменяемые определения «P/D-отношение» и «самоочищение». Однако P/D-отношение является лишь одним из вариантов оценки самоочищения водоема.

6) В четвертой главе работы приведены графики внутригодовых изменений различных показателей озер. Здесь значения для разных озер объединены в единую кривую, несмотря на то, что эти озера абсолютно различны. Автору следовало применить другие виды графиков для более наглядного отображения информации. Также неточно указана направленность изменения параметров мутности и прозрачности в сценариях в таблице 4.2 работы – «Сводная таблица изменений входящих в модель параметров в олиго- и эвтрофном озерах при развитии описанных сценариев, по пять ступеней интенсивности в каждом – ситуации». В данной таблице вызывают также удивление и увеличение самих этих параметров для рассмотрения разных сценариев. Например, предполагается увеличение температуры воды на 8 градусов, а увеличение мутности в 17 раз. Трудно представить себе подобную ситуацию в природе, для которой можно было бы проводить такие оценки, т.к. даже прогнозы IPCC

(Межправительственная группа экспертов по изменению климата) рассматривают потепление на 1-2 градуса на ближайшие десятилетия.

7) Допускает ли автор продолжение дискуссии о том, как моделировать деструкцию ОВ в экосистеме или сумма трат на обмен живых компонентов – устоявшаяся основа ее модельного представления. Возможен ли при этом одновременный учет скорости внешнего бактериального гидролиза (деструкции) детрита бактериями, скоростей минерализации РОВ, скорости нитрификации первого и второго порядка и др. Как во всех этих случаях учесть в модели вклад каждого компонента биоты в суммарную деструкцию.

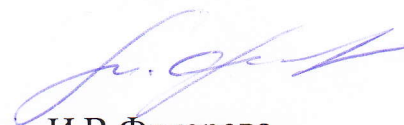
8) Модель, вероятно, может использоваться для борьбы с антропогенным эвтрофированием озер, водохранилищ, прудов. Как использовать модель для обоснования деэвтрофикации водной экосистемы. Выполнялись ли такие расчеты. В чем Вы видите последующее развитие модели.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней.

Диссертация Г.Ф.Шарафутдиновой представляет собой завершенную научно-квалификационную работу на актуальную тему, которая соответствует критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 30 января 2002 г. №74 (в редакции постановления Правительства Российской Федерации от 20 июня 2011 г. №475). Выводы по работе обоснованы. Работа отвечает требованиям и критериям Положения о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Шарафутдинова Гульнара Феметдиновна заслуживает присуждения ей ученой степени

кандидата географических наук по специальности 25.00.36 – Геоэкология (Науки о Земле).

Официальный оппонент, к.г.н., доц.,
Руководитель российско-германской
лаборатории полярных и морских
исследований им. Отто Шмидта
ФГБУ «Арктический и антарктический
научно-исследовательский институт»


И.В.Федорова

