

Отзыв официального оппонента
на диссертацию Шоман Натальи Юрьевны на тему «Совместное действие
света, температуры и обеспеченности азотом на скорость роста и содержание
хлорофилла у морских диатомовых водорослей», представленную на
соискание ученой степени кандидата биологических наук
по специальности «03.02.10 – гидробиология».

Актуальность исследования. Фототрофные микроорганизмы, осуществляющие кислородный фотосинтез в составе фитопланктона мирового океана, — важный компонент биосферы Земли, осуществляющий, по разным оценкам, от половины до двух третей первичной продукции органического вещества на планете. Это ключевые продуценты, «запускающие» основные биогеохимические циклы и формирующие основу пищевой сети морских экосистем. Значительную (а в отдельных ситуациях и доминирующую) часть фитопланктона составляют представители диатомовых водорослей. Таким образом, для точной оценки и прогнозирования продуктивности морских экосистем необходимо знать количественные параметры роста (накопления биомассы) и продукционного процесса фитопланктона. В большинстве случаев продуктивность микроводорослей ограничена доступностью макроэлементов минерального питания (азота, фосфора, в случае диатомей — кремния). Лимитировать продуктивность также могут неблагоприятные абиотические факторы, такие как экстремальные температуры и потоки световой энергии. Как правило, эти факторы взаимодействуют друг с другом, обнаруживая аддитивные и (или) синергические эффекты. Так, температура выше либо ниже оптимальной делает клетки микроводорослей более чувствительной к действию света высокой интенсивности. В целом случаи взаимодействующих стрессоров представляют собой наибольшую сложность для исследователя, но вместе с тем и наибольший интерес и сильнее всего приближают нас к пониманию процессов переноса материи и трансформации

энергии, происходящих в реальных экосистемах. Глубокое понимание этих процессов на уровне ограниченных клеточных популяций (лабораторных культур) является залогом понимания этих процессов на глобальном уровне (на уровне макроэкосистем и, в пределе, на уровне биосферы). Диссертационное исследование Н.Ю. Шоман преследует именно эту цель — понять закономерности взаимодействия ключевых детерминант продуктивности фитопланктона с использованием репрезентативных моделей (культур диатомовых водорослей) в контролируемых условиях. В связи с вышесказанным работу диссертанта необходимо признать крайне актуальной.

Научная новизна исследования. Автором получен обширный массив данных, иллюстрирующих закономерности изменения скорости накопления биомассы и содержания хлорофилла в клетках водорослей при действии различных комбинаций интенсивности света, температуры и доступности азота, выявлен ряд синергических и аддитивных эффектов данных стрессоров. Исследована функциональная пластичность диатомовых водорослей в плане акклимации к действию света высокой интенсивности. Разработана модель для оценки отношения С/Хл в клетках черноморского фитопланктона в зимне-весенний период.

Общая оценка работы. Диссертация Н.Ю. Шоман изложена на 149 страницах машинописного текста и построена по традиционному плану: состоит из введения, 6 разделов, выводов, списка литературы, включающего 186 источников (в том числе иностранных - 133). Работа иллюстрирована 8 таблицами и 28 рисунками.

В главе 1 приводится обзор литературы по теме диссертационного исследования. Следует отметить фундаментальный характер обзора, содержащего большой объём структурированной информации, полезной для гидробиологов и специалистов в области фотофизиологии.

Глава 2 содержит описание объектов и методов исследования с обоснованием их выбора, а также подробное описание постановки выполненных автором экспериментов.

Глава 3 посвящена анализу взаимодействия света и температуры и их совместного действия на удельную скорость роста исследованных культур. Среди прочих закономерностей, описанных автором, чётко прослеживается лимитирование эффективности использования световой энергии микроводорослями температурами, выходящими за пределы оптимума: чем больше температура отклонялась от оптимальных значений, тем скорее наступало насыщение фотосинтетического аппарата световой энергией и раньше начинало проявляться фотоингибирование. Также выявлен синергический эффект действия данных стрессоров (высокой интенсивности света и экстремальных температур).

В главе 4 рассматривается действие вышеописанных стрессоров на отношение содержания углерода и хлорофилла *a* в биомассе микроводорослей. Описана универсальная закономерность, согласно которой воздействие неблагоприятных факторов приводит к снижению содержания фотосинтетических пигментов в биомассе и, как следствие, к росту содержания углерода по отношению к содержанию азота. Интересное наблюдение автора связано с отсутствием заметного влияния температуры в диапазоне 10–20 °С на содержание хлорофилла *a* в клетках диатомовых микроводорослей. Не менее важные результаты характеризуют широкую физиологическую пластичность исследованных культур в плане адаптации к свету высокой интенсивности.

Глава 5 содержит анализ совместного влияния интенсивности света и дефицита азота на скорость роста исследованных диатомей. И в этом случае выявлен синергический характер действия данных стрессоров: при голодании по азоту наблюдали нелинейное повышение соотношения С/Хл и более выраженное замедление роста, чем при действии каждого из этих

факторов по отдельности. При этом минимальное содержание азота (минимальная клеточная квота для азота) не зависела от вариации параметров культивирования, а определялась видовыми (генетическими) особенностями микроводоросли. Напротив, взаимодействие дефицита азота и температуры на ростовые параметры культуры и состав клеток носило аддитивный характер. Азотное голодание, подобно другим изученными стрессорам, приводило к сужению диапазона оптимальных интенсивностей света.

Глава 6 посвящена разработке модели, связывающей действие абиотических факторов с кинетикой роста культур и соотношением органического углерода и хлорофилла в их клетках в зимне-весенний период. Предложенная модель позволяет с высокой точностью предсказывать значения $C/Xл$ в широком диапазоне интенсивностей света (14–430 мкмоль квантов ФАР/м²/с) и температур (5–20 °С). Данная модель изящно связывает эффекты стрессов, вызванных интенсивным светом, недостатком азота и субоптимальными температурами. Очевидно, что высокая предсказательная сила модели обусловлена универсальным характером реакций фотосинтетического аппарата и метаболизма фототрофных микроорганизмов на действие лимитирующих факторов, имеющим место и у изученных культур диатомовых водорослей.

При ознакомлении с диссертацией также возник ряд вопросов и рекомендаций. Прежде всего, автором исследована только динамика главного фотосинтетического пигмента — хлорофилла *a*. При этом известно, что фотосинтетический аппарат диатомовых водорослей содержит и вспомогательные пигменты, такие как хлорофиллы *c* и каротиноиды, прежде всего, фукоксантин. По какой причине было решено оставить динамику этих пигментов без рассмотрения? Следовало бы также конкретизировать описание новизны исследования. Как отмечено автором диссертации, за последние полвека накоплен значительный материал по действию стрессоров

на микроводоросли, и тезис о том, что действие стрессоров приводит к снижению содержания хлорофилла в клетках микроводорослей нельзя признать новым (при этом положение об аддитивности действия температуры и обеспеченности клеток азотом представляется новым и весьма важным для понимания продукционного процесса в водных экосистемах). Рекомендуется использовать единицы системы СИ для обозначения плотности потока светового излучения (мкМоль квантов ФАР вместо мкЭ). Странно, что авторы использовали заимствованные микрофотографии экспериментальных объектов, при том, что среди использованных ими методов присутствует оптическая микроскопия. В описание методов имело бы смысл указать число биологических повторностей, марку и производителя светодиодов, элементного анализатора и датчика светового потока. Интерпретация результатов эксперимента № 5 затруднена отсутствием данных о содержании других элементов в среде культивирования. Так, не возникала ли при разбавлении вероятность дефицита фосфора? При указании размеров либо объема спектрофотометрической кюветы допущена ошибка (объем стандартной 1-см кюветы явно был больше 10 мм^3). График на рис. 2.2В: график не соответствует уравнению – он пересекает начало координат, тогда как в уравнении присутствует большая по величине константа.

Однако перечисленные выше недостатки не снижают ценности исследования и не ставят под сомнение достоверность выводов, сделанных автором. Личный вклад диссертанта не вызывает сомнений. Диссертация написана хорошим литературным языком, облегчающим восприятие результатов. Этому также способствует обилие графических иллюстраций. Содержание диссертации отражено в автореферате, а основные результаты исследований — в научных публикациях диссертанта.

Ознакомившись с диссертацией и авторефератом диссертации, считаем, что работа Натальи Юрьевны Шоман соответствует требованиям к

кандидатским диссертациям, изложенным в пп. 9-14 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденном постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (с изменениями на 2 августа 2016 г.), а автор диссертационного исследования заслуживает присуждения учёной степени кандидата биологических наук по специальности «03.02.10 – гидробиология».

Официальный оппонент:

Доктор биологических наук,
профессор кафедры биоинженерии
Биологического факультета
Федерального государственного
бюджетного учреждения высшего
образования «Московский
государственный университет
имени М.В. Ломоносова»

Соловченко Алексей Евгеньевич

10 марта 2020 г.

Контактные данные официального оппонента

Почтовый адрес: 119234, Российская Федерация, Москва, Ленинские горы, д. 1, с. 12. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», биологический факультет.

Телефон/факс: +7(495) 939-25-87; +7(495) 939-43-09

Адрес электронной почты: solovchenko@mail.bio.msu.ru

Подпись д.б.н., проф. кафедры биоинженерии
биологического факультета МГУ
Соловченко А.Е. заверяю

Декан биологического
факультета МГУ, академик РАН
Кирпичников Михаил Петрович

