



КАФЕДРА ОБЩЕЙ ФИЗИКИ НА БЕЛОМОРСКОЙ БИОСТАНЦИИ

В начале сентября 2019 года вместе с несколькими студентами кафедры общей физики научным руководителем Пацаевой Светланой Викторовной мы отправились в поездку за полярный круг на Беломорскую биологическую станцию МГУ, или кратко ББС. Станция находится на южном берегу Кандалакшского залива Белого моря и за десятилетия своего существования принимала ученых и студентов самых разных специальностей: биологов, геологов, зоологов, математиков и не только. Какой же интерес для нас, физиков, в экспедиции на ББС? Чем мы занимались за время нашего пребывания на Белом море, кроме того, что хорошо проводили время, и каких результатов добились?

Уже несколько лет подряд научная группа лаборатории молекулярной спектроскопии отправляется вместе с коллегами (химиками, биологами, микробиологами) в экспедицию на берега Кандалакшского залива Белого моря. Не только красоты севера влекут нас в эти места, но и находящиеся здесь уникальные объекты природы — реликтовые меромиктические водоемы (рис. 1). Они образовались много лет назад из-за поднятия берега, которое в некоторых местах отделило прибрежную часть моря от его основного объема, тем самым создав новую группу акваторий, так называемые «отшнуровывающиеся» озера. Их еще называют «водоемы-изгои», поскольку от моря они уже отделились, а к стадии пресноводного озера еще не пришли. Отличительной чертой меромиктических водоемов является их слоистая гидрологическая структура: богатый кислородом пресный поверхностный слой воды на глубине сменяется соленой морской водой, лишенной кислорода. Перемешивание слоев в таких водоемах отсутствует, что приводит к возникновению застойных явлений в придонной зоне, а именно активизации процесса бактериальной сульфатредукции — восстановления бактериями серы, содержа-



Рис. 1. Меромиктическое озеро Еловое и отобранные с разных глубин образцы воды



щейся в сульфатах морской воды, до сероводорода. В зависимости от условий, в каждом из слоев озера присутствуют свои микроорганизмы, однако особенное внимание исследователи отводят слою воды на границе кислородной и бескислородной зон, где часто наблюдается массовое развитие фототрофных бактерий с особым типом фотосинтеза — аноксигенным (без выработки кислорода).

Интерес физиков к аноксигенным фототрофным микроорганизмам — зеленым серным и пурпурным бактериям — обусловлен в первую оче-

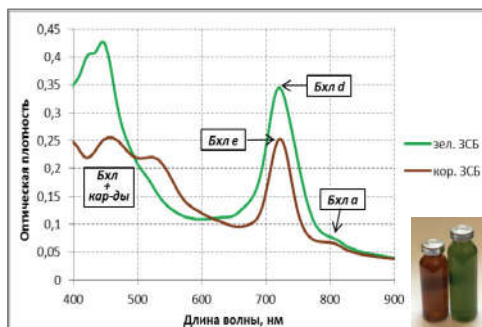


Рис. 2. Спектры поглощения двух типов фототрофных бактерий: зеленоокрашенных (содержащих Бхл d) и коричневоокрашенных (содержащих Бхл e).

редь их способностью к фотосинтезу в условиях очень низкой интенсивности света, который происходит посредством поглощения энергии солнечного излучения специальными светособирающими пигментами — бактериохлорофиллами (Бхл). Различают несколько типов Бхл, различия в структуре соединений которых приводят к разному виду их спектров поглощения (рис. 2) и разной окраске клеток бактерий. Спектральные особенности фотосинте-

тических пигментов делают их перспективными соединениями в области наномедицины. Известно, что в последние годы на основе производных Бхл a и наночастиц золота происходит разработка наноструктурированных ИК-фотосенсибилизаторов для фотодинамической терапии рака. Маленькие размеры клеток бактерий (от 10 до 200 нм), высокая самоорганизация пигментов, возможностью передавать энергию внутрь клетки с минимальными потерями и на очень больших скоростях (20–50 пс) и наличие системы защиты клеток от химически активного кислорода делают микроорганизмы крайне интересным объектом для изучения как в области фундаментальной, так и прикладной науки.

Прошлой осенью наша небольшая группа прибыла на биостанцию после изнурительной поездки: двадцати восьми часов в вагоне поезда, двух часов езды на машине и двадцати минут на борту катера. И вот вдалеке показался знакомый ветряк, а рядом с ним скопление невысоких зданий. Маленькие ухоженные домики, флотилия маломерных судов, названия которых помнишь наизусть, замечательные люди и завораживающие красоты русского севера — вот что открывается каждому прибывшему.



Едва распаковав вещи, мы решили отправиться в Бухту Биофильтров, которую так прозвали из-за мидий и морских желудей, фильтрующих в этом месте воду. Разрезая водную гладь на моторной лодке, мы приближались к бухте, как вдруг увидели медвежонка, испуганно убежавшего от рева мотора нашей лодки. Оставшись одни в этом заливе, с одной стороны которого возвышается крутой скалистый берег, усыпанный небольшими соснами, мы начали измерения в надежде найти пурпурные серные бактерии, ранее обнаруженные нашими коллегами и друзьями-биологами Дмитрием Анатольевичем Вороновым и Еленой Дмитриевной Красновой. Неожиданно, на полпути ко дну, мы заметили в воде маленьких существ, внешне похожих на рачков. Оказалось, что в этом слое живут личинки полихет. Под микроскопом они выглядят как маленькие забавные водные черви с черными глазками и множеством щетинок, с помощью которых они передвигаются в воде. То, зачем мы приехали, ждало нас глубже: на глубине 9 метров вода внезапно приобрела розовый цвет. Цвет был обусловлен пурпурными серными бактериями. Довольные полученными образцами, мы поехали обратно на станцию.

Следующим водоемом в программе экспедиции была лагуна Зеленого мыса. Разместившись на борту «Стрижа» вместе с нашим оборудованием, мы отправились в плавание. Когда корабль встал на якорь, мы пересели на надувные лодки и поплыли к берегу. Там нам предстояло перетаскать наши резиновые суда через узкий перешеек, и вот — мы на месте. Перед нами было небольшое озеро, скрытое от взгляда и окруженное типичным северным лесом, в котором, к сожалению, совсем не было ни грибов, ни ягод в этом году. Разделившись на две маленькие команды (каждая на своей лодке), мы начали делать измерения. В этот день мы обнаружили уникальных для местных меромиктических водоемов криптофитовых жгутиконосцев *Rhodomonas*, которые на данный момент обнаружены лишь в этой лагуне.

Через день в том же составе и с тем же оборудованием мы отправились на озеро Еловое. Измеряя характеристики воды на разных глубинах, мы снова наткнулись на нестандартно окрашенную воду: сначала желтоватую, чуть глубже — коричневатую, затем внезапно цвет сменился, и после небольшого обсуждения мы решили назвать его темно-оливковым. Ответственной за столь насыщенный цвет была смесь коричнево-окрашенных и зелено-окрашенных зеленых серных бактерий. Эти одноклеточные организмы обитают в тонком слое воды, называемом хемоклином, который находится на границе раздела между аэробной зоной, где есть кислород, и анаэробной с сероводородом. Неприятным моментом было лишь то, что все эти изменения сопровождались запахом сероводорода, который в огромном количестве содержится ниже уровня хемокли-



на и является продуктом жизнедеятельности сульфатредуцирующих бактерий.

Также за время пребывания на биостанции мы традиционно исследовали озеро Трехцветное и совершили экспедицию на озеро Большие Хрусломены. Озеро Малые Хрусломены, или озеро Банное, которое нам пришлось пересечь по дороге к Большим, встретило нас очень интенсивным «цветением» воды, вызванным, вероятно, стоками от поселка Лесозаводского и особенно местной бани, расположенными на его берегу. Само же исследуемое озеро отметилось неожиданным обилием метана в придонных слоях. В остальном эти два выезда прошли без каких-либо ярких открытий или, наоборот, неприятностей, если не считать неприятностями полторы пары мокрых сапог.

Еще одно из ярких впечатлений за эту поездку нам приподнес последний вечер на биостанции, когда мы смогли вдоволь налюбоваться светящимися гребневиками, которых, правда, мы тревожили достаточно долго, перемешивая воду у причала руками, в столь немилостивой форме упрямивая их светиться еще. Маленькие люминесцирующие существа, похожие на медуз, светились в ту лунную ночь подобно капризным мерцающим звездам, так и норовящих потухнуть и скрыться с глаз человеческих.

На этом наша экспедиция подошла к концу. Было много работы на озерах, было много лабораторных измерений, анализ данных в Москве и написание статей. Но намного больше осталось впечатлений, которые сотрутся из памяти еще очень нескоро. Да и зачем им стираться? Это не первая наша поездка на ББС и, надеемся, далеко не последняя. Этот крошечный участок нашей планеты на берегу Кандалакшского залива Белого моря навсегда останется в сердце каждого, кому выпала возможность тут работать и жить.



*Павел Емельянов,
студент магистратуры*



*Анна Жильцова,
аспирантка*