

ИНСТИТУТ МИКРОБИОЛОГИИ
АКАДЕМИИ НАУК СССР

С. В. ГОРЮНОВА

**РОЛЬ ВОДОРΟΣЛЕЙ
В ОБОГАЩЕНИИ ВОДОЕМОВ
РАСТВОРЕННЫМ ОРГАНИЧЕСКИМ
ВЕЩЕСТВОМ**

АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ,
ПРЕДСТАВЛЕННОЙ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
ДОКТОРА БИОЛОГИЧЕСКИХ НАУК

Защита 27-31 декабря 1987.



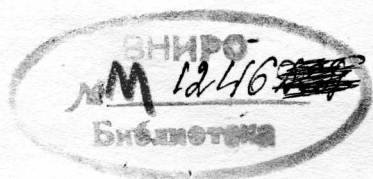
Москва 1951

ИНСТИТУТ МИКРОБИОЛОГИИ
АКАДЕМИИ НАУК СССР

С. В. ГОРЮНОВА

РОЛЬ ВОДОРОСЛЕЙ
В ОБОГАЩЕНИИ ВОДОЕМОВ
РАСТВОРЕННЫМ ОРГАНИЧЕСКИМ
ВЕЩЕСТВОМ

АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ,
ПРЕДСТАВЛЕННОЙ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
ДОКТОРА БИОЛОГИЧЕСКИХ НАУК



Москва 1951

ВВЕДЕНИЕ

Наличие растворенных органических веществ в природной воде установлено многими авторами, но детальный химический состав этих веществ до сих пор почти не изучен. Объясняется это, с одной стороны, большой трудоемкостью подобных исследований, с другой, отсутствием подходящих методов определений, особенно для водоемов с высокой соленостью.

Вместе с тем для изучения полного комплекса биологической жизни в природной воде этот фактор играет огромную роль. С ним связаны вопросы питания простейших форм организмов, характер микробного населения, вопросы самоочистки воды, учет процессов круговорота веществ, характер иловых отложений и много других, необходимых для правильного управления и направленной перестройки режимов естественных водоемов.

Особенно большое значение приобрела эта проблема в настоящий момент, когда, согласно решениям партии и правительства, наши советские ученые должны в наиболее короткие сроки разрешить сложные задачи, связанные с увеличением биологической продуктивности естественных водоемов, с выработкой наиболее правильных режимов санитарного надзора и охраны громадных водохранилищ, снабжающих питьевой водой крупные населенные центры, со строительством новых каналов и всех других грандиозных мероприятий социалистического государства, которые должны в корне изменить природный облик нашей страны.

Существуют три теории, объясняющие это явление.

1. Ряд исследователей утверждает о возможности выделения огромных количеств продуктов ассимиляции живыми клетками водорослей.

Надо признать, что для этих утверждений авторы имеют определенные основания, потому что явления прижизненного выделения растительными клетками органических веществ в окружающую среду довольно хорошо известны биологам; например, процесс выделения пищеварительных соков насекомоядными растениями, гутация высших растений, выделение сладких соков в нектарниках, ароматические вещества эфирносов, корневые выделения и т. п. Особенно хорошо в этом отношении изучены низшие организмы — грибы и бактерии, которые в результате своей жизнедеятельности способны выделять в среду самые разнообразные антибиотические вещества, органические кислоты, продукты распада белков, пигменты и ферменты.

2. Сторонники второй теории склоняются к мысли, что растворенные органические вещества в водоемах являются следствием посмертного автолиза клеток водорослей и воздействия на их останки микроорганизмов.

Надо признать, что и вторая точка зрения имеет под собой реальную почву. В природных условиях, кроме естественного отмирания, связанного с продолжительностью жизни отдельных индивидуумов, сезонными колебаниями количества питательных веществ, существуют еще другие причины, способные вызвать гибель организмов.

Например, Троицкая установила массовое отмирание водорослей в тихую, безветренную погоду. Оказывается, что в этих условиях водоросли, обильно развиваясь на поверхности водоема, склеиваются в сплошную массу и образуют пленки. Последнее обстоятельство вызывает изменение реакции в данном слое воды и создает резкую разницу температур в поверхностных слоях. Вследствие этого же не происходит свежего подтока питательных веществ, увеличивается концентрация продуктов обмена, и клетки подвергаются губительному действию прямых солнечных лучей. Особенно резко это происходит при так называемом «цветении» водоема. При ветре и волнении происходит равномерное распределение планктона.

Противоположный случай описывает Гусева. Согласно ее наблюдениям, цветение Учинского водохранилища могло при волнении прекратиться в 2—3 дня. Причина

этого — перемешивание толщи водоема и поднятие солей марганца из придонных слоев в поверхностные.

Интересны в этом отношении работы Пратта, который установил в фильтрах культуры хлореллы антибиотическое вещество, названное им хлореллином. Вещество это при большой концентрации в старых культурах губительно отзывается и на развитии самой водоросли, вызывая быстрый лизис ее.

Третью точку зрения разделяют немногие авторы.

Основную роль в обогащении водоемов растворенным органическим веществом они приписывают береговым стокам.

Результаты настоящей работы и являются первой попыткой подхода к изучению химической природы растворенных органических веществ в водоемах.

Приступая к решению поставленной задачи, мы подходили к факту наличия растворенных органических веществ в естественных водоемах не как к изолированному явлению, а стремились установить возможные источники происхождения этих веществ, степень использования их и возможность сохранности в иловых отложениях.

Для этого, наряду с непосредственным изучением характера растворенных органических веществ в водоемах, мы в течение ряда лет проводили лабораторные опыты с культурами водорослей, изучая их химический состав, прижизненные выделения и продукты автолиза.

1. УСЛОВИЯ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ ВОДОРосЛЕЙ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

Успешное разрешение поставленной задачи потребовало выполнения, помимо непосредственных химических определений, многих дополнительных исследований, как то: выяснения оптимальных условий культивирования водорослей в лабораторной обстановке (т. е. подбора соответствующих питательных сред, освещения, рН и т. д.) и выяснения наилучших методов распознавания живых и мертвых клеток водорослей под микроскопом.

В основном, конечно, методы культивирования водорослей сходны с методами стерильных культур, но имеют и свои специфические особенности, обусловленные скоростью роста этих организмов и своеобразием их процессов обмена.

Дело в том, что, несмотря на присутствие в клетках водорослей хлорофиллоносного аппарата с примесью других пигментов, обеспечивающих процессы фотосинтеза, столь характерные для всех высших растений, вопрос основной формы питания разных групп водорослей по существу не является ясным и до сих пор.

Опуская в настоящем изложении недостаточно еще убедительные, хотя и имеющие под собой почву, утверждения о том, что все хлорофиллоносные растения в какой-то мере способны к факультативно-сапрофитному питанию, мы можем сказать, что для многих водорослей это бесспорно.

Прямые исследования по использованию органических веществ культурами водорослей, проведенные Артари еще в 1903 г., показали, что виноградный сахар, пептон, аспарагин, лейцин, глицерин, эритрит, маннит, левулеза, тростниковый сахар, мальтоза, инулин и многие соли органических кислот являются превосходным источником

питания для одноклеточных форм зеленых водорослей. Развитие их идет в равной степени хорошо как на свету, так и в темноте. И если в темноте клетки окрашены в более желтый цвет, то на свету они очень быстро зеленеют.

Что касается минерального питания, то в литературе оно представлено в основном рецептами питательных сред, представляющих модификацию питательных растворов, применяемых для водных культур высших растений.

Реакция среды играет большую роль при культивировании водорослей в искусственных условиях. Часто наблюдается различное отношение к рН даже среди представителей одного и того же рода.

Для сине-зеленых водорослей предпочтительней слабощелочная среда, для некоторых диатомей оптимальным рН является 9,0.

Одним из наиболее сложных моментов при выращивании водорослей в искусственных условиях является освещение.

Несмотря на то, что в природе водоросли свободно растут на открытом солнечном свету, всеми исследователями признается вредность его для лабораторных культур, вследствие перегрева в стеклянных сосудах. Только в последнее время стали для этой цели применять прохладные люминесцентные лампы.

В наших исследованиях мы применяли для культивирования водорослей исключительно минеральные среды.

Освещение естественное, так называемый «северный» свет.

Для определения живых и мертвых клеток водорослей как в культурах, так и в водоемах нами был применен метод люминесцентной микроскопии.

Принцип этого метода заключается в том, что молекулы способных к флуоресценции веществ, при облучении их соответствующими лучами, поглощая падающий на них свет, приходят в возбужденное состояние и начинают светиться. При этом длина волн излучаемого света обычно больше длины волн возбуждающих лучей и характерны для люминесцирующего вещества.

Среди бактерий и грибов существуют немногие формы, которые вырабатывают вещества, способные к интенсивному свечению. Большинство же из них обла-

дает очень слабой собственной или, как говорят, первичной флуоресценцией и при работе с ними обычно применяется предварительная обработка (чаще всего фиксированных препаратов) специальными веществами или флуорохромами, которые вызывают резкую вторичную флуоресценцию.

Хорошими флуорохромами являются также некоторые естественные пигменты, такие как хлорофилл, порфирин и др., а также и некоторые алкалоиды, например, хинин и берберин.

Применив метод флуоресцентной микроскопии для определения живых и мертвых клеток у (микроскопических форм) водорослей, мы использовали естественное свечение или первичную флуоресценцию их основного пигмента хлорофилла. Пользуясь этим методом, без каких-либо предварительных обработок, мы проводили наблюдение за процессами роста и распада клеток водорослей как в культурах, так и в водоемах непосредственно.

Согласно этому методу при облучении синим светом все живые клетки водорослей флуоресцируют яркими красными лучами, а мертвые — зеленовато-голубыми.

Применение метода флуоресцентной микроскопии для подсчета живых и мертвых клеток в культурах водорослей и их автолизатах позволило установить специфические различия процессов развития и распада у определенных групп водорослей, что особенно важно для расчетов первичной продукции водоемов.

В этом отношении можно наметить следующие группы:

- а) быстро растущие и быстро автолизирующиеся водоросли (*Synedra*, *Scenedesmus*);
- б) быстро растущие и медленно автолизирующиеся (*Stichococcus*, *Ankistrodesmus*);
- в) медленно растущие и быстро автолизирующиеся (*Dictiosphaerium*);
- г) медленно растущие и медленно автолизирующиеся (*Oscillatoria*).

Применение метода флуоресцентной микроскопии позволяет представить более ясно общую картину распределения живых и мертвых клеток водорослей в водоеме по вертикальному разрезу, что имеет значение для раз-

решения вопроса скорости отмирания отдельных групп водорослей и для определения основных горизонтов распада их трупов в толще различных водоемов.

2. ИЗУЧЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ, ВЫДЕЛЯЕМЫХ ВОДОРОСЛЯМИ В ОКРУЖАЮЩУЮ ВОДНУЮ СРЕДУ

В отличие от всех предыдущих исследователей мы не пользовались косвенными методами определения органических веществ в фильтратах культур водорослей, как то: определение окисляемости, учет выделения углекислоты или поглощения кислорода.

Для своих определений мы использовали большие объемы культуральной жидкости, сконцентрированные в 10—20—30 раз.

Для этих целей обычно культура водоросли, достигшая определенного возраста и содержащая не меньше 98—99% живых клеток, отфильтровывалась от жидкой минеральной среды сначала через простой фильтр, а затем на Нуче через стерильный трепел или через мембранные фильтры № 3. Полученные фильтраты сгущались в вакууме при нейтральной реакции при 32—38°.

Для разделения фильтрата, представляющего смесь неизвестных соединений, мы использовали общую схему, обычно применяемую для фракционирования бродильной жидкости (Белозерский и Проскуряков, 1951), внося в нее соответствующие изменения в зависимости от направления анализов.

На основании проведенных исследований нами было установлено, что:

1. В культуральной жидкости исследуемых видов водорослей (*Oscillatoria*, *Synedra*), как правило, отсутствуют вещества, восстанавливающие жидкость Феллинга как непосредственно, так и после гидролизом с соляной кислотой разной крепости.

2. В культуральной жидкости сине-зеленой водоросли *Oscillatoria* обнаружено наличие коллоидных веществ углеводного характера.

3. В фильтратах культуры *Oscillatoria* присутствуют незначительные количества солей яблочной, щавелевой, винной, янтарной и лимонной кислот.

4. Как сине-зеленой водоросли *Oscillatoria*, так и зеленым водорослям *Stichococcus* и *Ankistrodesmus* присущее выделение в среду летучих кислот.

5. Основная масса органических веществ в культуральной жидкости *Synedra* была представлена высокомолекулярной, предельной одноосновной, жирной кислотой, идентифицированной как лигноцериновая кислота.

3. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ВОДРОСЛЕЙ

Характерной особенностью химического состава данных организмов, согласно исследованиям большинства авторов и наших работ, является отсутствие простых видов сахаров типа глюкозы, фруктозы, мальтозы, тростникового сахара, раффинозы и трегалозы.

Из наиболее простых соединений углеводного типа для некоторых видов водорослей характерно наличие сахарных спиртов. Так, например, маннит был установлен у большинства *Laminaria* и *Fucus*.

У *Pelvetia canaliculata* и *Pelvetia canaliculata* forma libera был обнаружен не только маннит, но и его ангидрид — маннитан.

У некоторых видов красных водорослей, например, у *Bostrychia* и *Iridaea laminariodes* был выделен сахарный спирт дульцит.

Имеются указания на присутствие в клетках некоторых видов водорослей, например, *Protococcus vulgaris* спирта эритрита.

Основную массу тела водорослей составляют своеобразные соединения, резко отличающиеся по своему составу от сложных углеводов высших растений. Полисахариды водорослей в основном можно разделить на 2 группы:

1. Запасные вещества, аналогичные крахмалу у высших растений.

2. Вещества, входящие в состав клеточных стенок водорослей.

Вторую группу по типу соединений можно разделить на две подгруппы:

а) студнеобразующие вещества типа пектинов высших растений, но не идентичные им: альгиновая и фуциновая кислоты;

б) студнеобразующие вещества, представляющие сложные эфиры полисахаридов с солями серной кислоты: фукоидин, карраген, иридофицин, агар-агар, фунорин, агароид.

1. Запасные вещества водорослей типа крахмала высших растений.

Запасным веществом некоторых бурых водорослей является ламинарин. Согласно описаниям Килина (1914)— это декстриноподобный полисахарид, имеющий много модификаций, отличающихся между собой по вращению, молекулярному весу и растворимости в спирте и воде. При гидролизе он дает только глюкозу и меняет в связи с этим первоначальное левое вращение на правое вращение глюкозы.

В течение летнего периода, связанного с усиленной ассимиляционной деятельностью, ламинарин накапливается в клетках водорослей и к осени достигает своего максимума. В зимние месяцы он постепенно расходуется, используясь, очевидно, растением для образования новых листовидных талломов.

Бэрри (1942) предполагает, что ламинарин состоит из цепочки 16 молекул β -глюкопиранозы, соединенных между собой в положении 1,3. Сравнивая же определение удельного вращения целлюлозы, лишенина, крахмала, гликогена, ламинарина и их ацетил- и метилдериватов, автор приходит к выводу, что по своим свойствам ламинарин стоит ближе к лишенину и целлюлозе, чем к крахмалу и гликогену.

2. Вещества, входящие в состав клеточных оболочек водорослей:

а) Студнеобразующие вещества типа пектинов.

Альгиновая кислота. Впервые альгиновая кислота была выделена из морских водорослей Fucales. По своему химическому строению альгиновая кислота представляет полиуронид $(C_6H_8O_6)_n$, основу которого составляют остатки d-маниуроновой кислоты со свободными вторым и третьим углеродными атомами. Гипотетическая связь между ними может осуществляться через первый и четвертый атомы (пиранозная кольцевая структура) или через первый и пятый (фуранозная кольцевая структура).

Фуциновая кислота. Фуциновая кислота входит в состав клеточных оболочек ряда водорослей, например,

Ascophyllum nodosum, *Chorda filum*, *Fucus serratus*, *Fucus vesiculosus*, *Laminaria digitata*, *Laminaria saccharina* и др. У водорослей более нежных и хрупких, как например, *Asperococcus hulosus*, *Ectocarpus siliculosus*, *Elachista fucicola* — он отсутствует.

На основании своих исследований ряд авторов высказывает мысль о сходстве фуциновой и альгиновой кислот как в отношении химического состава, так и в смысле физиологического значения для клетки, аналогичного значению пектиновой кислоты у высших растений.

Более детальный химический состав фуцина пока неизвестен.

б) Студнеобразующие вещества, сложные эфиры полисахаридов с солями серной кислоты, входящие в состав клеточных мембран водорослей.

Фукоидин. Впервые фукоидин был получен из водорослей *Laminaria* и *Fucus*, а затем из *Macrosystis pyrifera*. В химическом отношении фукоидин представляет эфир полисахарида с кальциевой солью серной кислоты.

Основу полисахарида составляет пентоза — фукоза и ее метилдериваты.

Карраген. Карраген может быть получен из клеточных оболочек *Florideae*.

В растениях карраген находится в форме эфира полисахарида с кальциевыми, калиевыми и натриевыми солями серной кислоты. В растворах каррагена, полученных холодной экстракцией, преобладают соли калия и натрия, а при горячей экстракции — соли кальция.

Основной комплекс полисахарида (на 50%) представлен остатками d-галактоз, связанных α -связью.

Юнг и Раис (1942) предполагают также в молекуле каррагена присутствие значительных количеств 2-кетоглюконовой кислоты.

Иридофицин. Иридофицин — полисахарид, выделенный из красной водоросли *Iridophucus flaccidum*. В химическом отношении он представляет эфир галактана и натриевой соли серной кислоты $[(C_6H_7O_4)OSO_2ONa]_n$. Молекулярный вес его равен 264, что соответствует примерно 6 молекулам галактозы. В отличие от каррагена группа сернокислого эфира по ходу анализов присоединена здесь, очевидно, не к четвертому углеродному атому молекулы галактозы, а к шестому.

Агар-агар. Агар-агар представляет собой также, как и два предыдущих полисахарида красных водорослей (иридофин и карраген), эфир серной кислоты и галактана. Котрель и Персиваль (1944) доказали, что в молекулу этого полисахарида d- и l-галактозы входят в форме альдегида в соотношении 15:2, т. е. 15 d-галактоз и 2 l-галактозы.

15 молекул d-галактозы связаны в молекуле агар-агара через 1,3; l-галактоза связана с другими остатками в положении 1,4.

Кроме перечисленных веществ, некоторые представители красных водорослей содержат фунорин, вещество неизвестного химического состава, экстракты которого, получаемые из водоросли *Gloipeltis*, используются в текстильной промышленности Востока уже больше 100 лет.

К типу таких же веществ относится не так давно выделенный из черноморской водоросли *Phyllophora* полисахарид, несколько отличающийся по своим физико-химическим константам от истинного агар-агара и называемый в промышленности агаройдом.

Особняком от вышеперечисленных соединений стоит полисахарид — альгулёза, близкий к клетчатке высших растений, но не идентичный ей. Этот углевод встречается у многих водорослей и в очень небольших количествах.

Определение состава углеводов у сине-зеленой водоросли *Oscillatoria* и у диатомей *Synedra* показали полное отсутствие и у этих водорослей соединений типа глюкозы, фруктозы, мальтозы, тростникового сахара, трегалозы и др., а также сахарных спиртов, пектинов, крахмала и клетчатки.

Основная масса тела *Oscillatoria*, согласно нашим данным, на 60% представлена углеводом, по своим свойствам сходным с полисахаридами красных водорослей и не имеющим в своем составе урсонных кислот. Сложные углеводы диатомовой водоросли являются, очевидно, еще более специфичными, чем упомянутые выше, и требуют дальнейшей разработки.

Вряд ли они относятся к пектиновым веществам.

Общей особенностью полисахаридов водорослей является их чрезвычайная устойчивость к воздействию химических реагентов, значительно большая, чем у клет-

чатки высших растений. Последнее обстоятельство чрезвычайно затрудняет работу с этими веществами по определению их состава и строения.

4. ИЗУЧЕНИЕ РАСТВОРЕННЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В ПРЕСНЫХ ВОДОЕМАХ

В качестве объектов для исследований растворенных органических веществ в водах пресных водоемов нами были выбраны два озера — Глубокое и Белое, оба расположенные в Московской области.

Выбор этих озер обуславливался, с одной стороны, тем, что оба они сравнительно хорошо изучены в отношении общих гидробиологических показателей, с другой, эти водоемы богаты растворенными органическими веществами.

Глубокое озеро принадлежит к водоемам мезотрофного типа. В нем бывает «цветение», но не так постоянно и пышно, как в типичных евтрофных озерах; вода в нем повышенной цветности. Основной характерной чертой Глубокого озера является богатство растворенными органическими веществами при относительно бедном планктоне.

Необходимо отметить, что летний сезон 1949 г., т. е. периода взятия проб для анализов, был резко отличен от предшествующих лет.

Для этого года было характерным обилие сильных дождей в июне и июле, что вызвало высокий подъем уровня воды в озере и большой смыв болотной воды.

Пробы воды для исследований брались батометром Рутнера по трем основным горизонтам (поверхность, слой температурного скачка и придонный слой) в конце июля, в количествах по 100 литров на каждую пробу.

По доставке проб в лабораторию станции они тотчас же пропускались сначала через простые, а затем через мембранные фильтры № 3 и подвергались сгущению в 50 раз в больших фарфоровых чашках на водяных банях при щелочной и при нейтральных реакциях.

На основании проведенных исследований мы вправе сказать, что вода Глубокого озера по всем горизонтам действительно богата содержанием растворенных органи-

ческих веществ. По нашим подсчетам на кубический метр их содержится в среднем 96 грамм. Но по составу основная масса растворенных веществ, особенно в сезон 1949 г., относится к сложным, трудно растворимым коллоидным комплексам и высокомолекулярным жирным кислотам.

Данные по содержанию этих веществ в воде Глубокого озера представлены в таблице 1.

Таблица 1

Содержание коллоидных веществ и лигноцереновой кислоты в воде Глубокого озера (в т)

Горизонты	Коллоидные вещества		Лигноцереновая кислота
	гумины	иные коллоиды	
Поверхностный	124,2	41,5	10,5
Слой температурного скачка	58,3	15,0	5,6
Гиполимнион	159,2	36,0	16,9
Итого	341,7	92,5	33,0

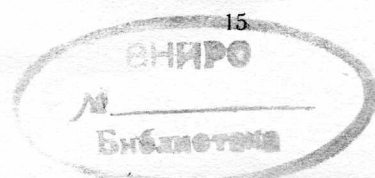
Веществ, легко усвояемых по сравнению с трудно усвояемыми, относительно очень немного.

Таблица 2

Количество легко усвояемых веществ, растворенных в воде Глубокого озера (в т)

Горизонт	Нелетучие кислоты	Вещества, восстанавливающие жидкость Феллинга в пересчете на глюкозу
Поверхностный	6,5	0,0
Слой температурного скачка	2,3	0,0
Гиполимнион	6,7	2,5
Итого	16,0	2,5

Однако, несмотря на эти относительно малые величины легко усвояемых растворенных веществ, количество их все же настолько велико, что могло бы вполне обеспечить нормальный рост микрофлоры. Но в действительности, по подсчетам Кузнецова, развитие микроорганиз-



мов в воде Глубокого озера по сравнению с другими озерами весьма незначительно, особенно в придонных слоях.

Причиной этого, по мнению многих исследователей, является большое обеднение питающих озеро вод минеральными солями. Дело в том, что основным водосбором Глубокого озера служат окружающие его болота, густо покрытые лесом и травами. Вполне естественно, что корни растений максимально используют растворенные в болотной воде минеральные соли. Возможно, что для повышения первичной продукции водоемов подобного типа необходимо применение удобрений. Последний вопрос разрабатывается Кузнецовым в виде специальной инструкции.

Белое озеро представляет типичный евтрофный водоем, на который прилегающее с одной стороны болото не оказывает сколько-нибудь заметного влияния. Кругом по береговой линии озера расположено большое селение Косино. Есть несколько лодочных станций. Летом озеро используется для купания не только местными жителями, но и приезжими москвичами. Все изложенное, естественно, сильно отражается на биологическом режиме водоема.

Белое озеро, так же как и Глубокое, очень богато растворенными органическими веществами, но если в Глубоком они образуются в основном за счет подтока гуминовых веществ из окружающих болот, то в Белом — исключительно обусловлены деятельностью планктона.

Для Белого озера характерно в летние месяцы обильное развитие фитопланктона.

В отличие от Глубокого, в Белом озере очень богато представлена бактериальная жизнь, которая тесно связана с газовым режимом водоема. В период летней стагнации в гипolimнионе Белого озера происходит быстрое исчезновение кислорода.

Основную роль в поглощении кислорода в данном водоеме, как и в других заморных озерах, играют метановые и водородные бактерии (Кузнецов, 1934).

Определение растворенных органических веществ в воде Белого озера мы проводили по той же схеме, как и для Глубокого озера, увеличив только количество проб. Мы брали воду при весенней и осенней циркуляции и во время летней стагнации.

Результаты проведенных анализов показали, что в воде Белого озера, так же как и Глубокого, полностью отсутствуют вещества, восстанавливающие жидкость Феллинга, как непосредственно, так и после гидролиз с соляной кислотой. Отсутствие простых углеводов в толще воды Белого озера — водоема с большим количеством легко усвояемых органических веществ, объясняется, очевидно, тем, что при сильном «цветении» водоема и пышном развитии бактерий в придонных слоях происходит очень быстрое поглощение этих веществ.

В Белом озере, так же как и в Глубоком, в толще воды доминирует только одна высокомолекулярная предельная, жирная кислота, а именно пальмитиновая.

На один литр озерной воды ее приходится в мг:

Поверхностный слой (пробы взяты 8.V.1951) 12,6

Поверхностный слой (пробы взяты 26.VII.1951) 7,9

Придонный слой (пробы взяты 26.VII.1951) 8,2

Поверхностный слой (пробы взяты 5.X.1951) 13,7

В отличие от Глубокого озера, основная масса коллоидных веществ Белого озера представлена соединениями углеводного типа.

Общий вес препаратов коллоидных веществ представлен в таблице 3.

Т а б л и ц а 3

Чистый вес абс. сухих беззольных препаратов коллоидных веществ

Горизонт	Количество коллоидов в мг/л	Азот в %
Поверхностный, пробы от 8 мая . .	74,4	0,84
» » от 26 июля . .	97,6	1,10
Придонный, пробы от 26 июля . . .	49,0	0,71
» » от 5 октября . .	77,6	0,74

В полученных препаратах мы определяли содержание крахмала, целлюлозы и уроновых кислот (последние по реакции Дише с карбазолом).

Определения показали, что крахмал отсутствует в толще воды Белого озера по всем горизонтам в периоды осенней и весенней циркуляции и летней стагнации.

Данные анализов по определению клетчатки мы приводим в таблице 4.

Таблица 4

Количество клетчатки в % от веса абс. сух. из препаратов
коллоидных веществ из воды Белого озера

№ осадка	Пробы, взятые от:			
	8 мая, поверхность	20 июля, поверхность	26 июля, придонный слой	5 октября, поверхность
1	4,20	5,1	0,0	6,0
2	0,22	3,0	0,0	8,7
3	5,4	—	0,0	5,2
4	5,5	—	0,0	—

Как можно видеть из представленных цифр, наличие клетчатки установлено нами в поверхностных слоях воды в течение всего летнего периода, тогда как в придонной воде в момент цветения озера она уже полностью отсутствует. Нам этот факт не кажется случайностью. Дело в том, что еще в 1937 г. Кузнецовым было установлено, что илы Белого озера не сбразиваются бактериями, разлагающими целлюлозу, если в среду не будет добавлена клетчатка; из наших данных получается, что не только илы, но и придонный слой данного водоема в своем составе не содержат клетчатки.

Однако, согласно реакции Дише, в коллоидных веществах, выделенных из толщи воды Белого озера, отсутствуют уроновые кислоты. Фиолетовая окраска усиливается после добавления воды, что говорит за присутствие полисахаридов. Последнее после проведенных анализов дает нам право утверждать, что эти полисахариды — специфические углеводы водорослей.

ВЫВОДЫ

1. Полученные результаты исследований по изучению растворенных органических веществ в пресных водоемах свидетельствуют о тесной взаимной связи количества и состава этих веществ в водоеме со всем комплексом природных условий (с развитием биологической жизни в водоеме, с сезонными климатическими изменениями и т. д.). Поэтому будет неправильным для объяснения наличия растворенных органических веществ в водоеме во всех случаях придерживаться какой-

либо одной из изложенных выше теорий (см. «Введение»).

2. Белое озеро, так же как и Глубокое, довольно богато растворенными органическими веществами, но природа этих веществ резко различна. Так, если для Глубокого озера характерно обилие гуминовых веществ, поступающих в озеро из окружающих его болот, то в Белом обилие их объясняется деятельностью планктона.

3. Проведенные нами исследования не выявляют всей суммы растворенных органических веществ в водоеме. При настоящих определениях были упущены вещества, растворимые в спирте, типа липойдов, пигментов и, очевидно, многие другие, представленные в очень малых количествах.

4. Как для Глубокого озера, так и для Белого характерно отсутствие простых углеводов типа глюкозы, фруктозы, тростникового сахара, мальтозы. Вполне вероятно предположить в данном случае, что это явление (особенно для Белого озера, в котором есть большие возможности для образования подобных соединений) связано с их очень быстрым использованием различными видами микроорганизмов (как наиболее легко усвояемых питательных веществ).

5. То же самое для Белого озера можно отметить и в отношении крахмала.

6. Особенный интерес при определении этой группы веществ представляют исследования, посвященные содержанию клетчатки в толще воды Белого озера. Как можно было видеть из представленных цифр, наличие клетчатки установлено нами в поверхностных слоях воды в течение всего летнего периода, вместе с тем как в придонной воде в момент «цветения» озера она уже отсутствует полностью.

7. Наличие высокомолекулярных предельных жирных кислот в водах озер дает возможность предполагать, что они являются следствием как прижизненных выделений многих водорослей, так и результатом их посмертного автолиза.

8. Основная масса коллоидных веществ в водоемах представлена трудно гидролизуемыми высокомолекуляр-

ными соединениями — гуминовыми веществами или полисахаридами водорослей.

9. На основании литературных источников и наших собственных экспериментальных работ известно, что основная масса клеточных мембран водорослей представлена, в той или другой степени, студне- или слизеобразующими веществами.

Особенностью этих веществ (за исключением альгиновой и фуциновой кислот, основных веществ бурых водорослей) является наличие эфирной связи между сложной молекулой полисахарида и солями серной кислоты. Состав самого полисахарида варьирует в зависимости от вида водорослей.

Обычно, в сложной молекуле такого полисахарида, присущего определенному виду водорослей, встречается только один вид сахара.

10. Специфические углеводы водорослей являются чрезвычайно устойчивыми соединениями, почти не поддающимися воздействию сильнейших химических реагентов. Прочность их по отношению к кислотному и щелочному гидролизам значительно превышает устойчивость целлюлозы.

Установлено также, что соединения эти совершенно не усваиваются животным организмом. Степень воздействия на них грибов и бактерий пока не ясна.

В чрезвычайной химической прочности студней убеждают и факты сохранности их в древних породах (Виноградов и Бойченко, 1947), так же как и сохранность высокомолекулярных предельных, одноосновных жирных кислот (Стадников, 1935).

11. Все эти факты дают повод считать, что сравнительно большая часть из общей продукции фитопланктона, созданных в процессе фотосинтеза, ежегодно выходит из общего круговорота веществ.

12. Особые свойства этих веществ, как прочность и сильная вязкость, вполне допускают возможность участия их в формировании горных пород, гуминовых комплексов почв, сапропелей и грязей. Иными словами: эти коллоиды, как и слизи многих бактерий (Исаченко, 1951), играли и играют огромную роль в геологических процессах земли. Исключительный интерес с этой точки зрения представляет также изучение химического

состава сапропелей, для которых характерно отсутствие интенсивных микробиологических процессов на определенных глубинах.

13. Из всего изложенного совершенно понятно огромное значение водорослей и других групп микроорганизмов, которое они имеют в общем круговороте веществ в природе и геологических процессах изменения земли.

Т-09320. Издат. № 74. Тип. заказ № 240. Подп. к печ. 29/XI 1951 г.
Формат бум. $84 \times 108^{1/32}$. Бум. лист. 0,31. Печ. лист. 1,03. Учетн. л. 1. Тираж 180 экз.
Типография Издательства АН СССР