

*На правах рукописи*

Цыренов Баир Солбонович

**Сезонные изменения физико-химических условий и  
активности микробного сообщества в содовом озере Белое  
(Западное Забайкалье)**

03.00.16 - экология  
03.00.07 - микробиология

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

Улан-Удэ  
2010

Работа выполнена в Институте общей и экспериментальной биологии СО РАН

Научный руководитель: кандидат биологических наук  
Абидуева Елена Юрьевна

Научный консультант: кандидат биологических наук  
Бурюхаев Савелий Петрович

Официальные оппоненты: доктор биологических наук  
Зякун Анатолий Маркович

кандидат биологических наук  
Ли Цырегма Дармаевна

Ведущая организация: Байкальский институт  
природопользования СО РАН

Защита диссертации состоится «23» апреля 2010 г. в 11 часов на заседании диссертационного совета Д.212.022.03 при Бурятском государственном университете по адресу: 670000, г. Улан-Удэ, ул. Смолина, 24а, биолого-географический факультет, конференц-зал.

Факс: (3012)210588

Е-mail: [d21202203@mail.ru](mailto:d21202203@mail.ru)  
[taceshi.47@mail.ru](mailto:taceshi.47@mail.ru)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Бурятского государственного университета и Бурятского научного центра СО РАН

Автореферат разослан «23» марта 2010 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
кандидат биологических наук

Шорноева Н.А.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Сезонные изменения условий среды обитания оказывают глубокое влияние на состояние микробных сообществ и распределение потоков углерода в природных экосистемах. Глобальный характер этих изменений диктует необходимость их подробного изучения в течение всего года и является одной из приоритетных задач научных исследований в настоящее время (Заварзин, 2003).

Однако на данный момент количество работ по этой проблеме крайне не достаточно. Это связано с тем, что, во-первых, большая часть природных экосистем недоступна для систематических исследований в течение года. Во-вторых, проследить все пути продукции и деструкции органического вещества (ОВ) даже в одном отдельно взятом биотопе технически сложно. Микробная деструкция ОВ отличается исключительным разнообразием процессов, их разветвленностью и наличием множества обратных связей, которые зависят от физико-химических условий среды (Кузнецов, 1970, Горленко и др., 1977, Заварзин, 1984, Намсараев, 1992).

Настоящая работа посвящена исследованию влияния сезонных изменений условий среды на процессы разложения ОВ микробным сообществом мелководного озера в Забайкалье. Известно, что мелководные озера характеризуются ярко выраженными сезонными колебаниями условий среды. Непостоянный водный режим, значительные перепады температуры и минерализации воды в течение года существенно влияют на деятельность микроорганизмов и их разнообразие (Намсараев, Намсараев, 2007).

Для исследования было выбрано содовое озеро Белое (Западное Забайкалье), водная толща и донные осадки которого являются местом активной деятельности алкалофильных микроорганизмов. Микробиологические исследования в данном водоеме позволили охарактеризовать сезонную динамику функциональной активности алкалофильного микробного сообщества.

Цель исследования: изучить влияние физико-химических условий среды на активность бактерий - деструкторов ОВ в донных осадках содового озера Белое.

Основные задачи исследования:

1. Изучить сезонные колебания основных физико-химических показателей воды и донных осадков озера Белое (температура, pH, Eh, минерализация, ионный состав воды).
2. Определить численность различных физиологических групп бактерий-деструкторов в осадках озера в разные сезоны года.
3. Определить сезонную динамику скорости микробных процессов деструкции ОВ: разложения целлюлозы и белка, темновой ассимиляции

CO<sub>2</sub> в донных отложениях озера Белое.

4. Оценить значение метаногенеза и сульфатредукции, как терминальных процессов минерализации ОВ в литоральных осадках по сезонам.

Научная новизна. В содовом озере Белое впервые определены в разные сезоны макро - и микроэлементный состав воды и ила. Впервые по единой схеме количественно исследована деятельность алкалофильных микроорганизмов, принимающих участие в деструкции органического вещества, в аэробных и анаэробных зонах водной толщи и донных осадков. Их максимальная численность, равная 10<sup>4</sup> и 10<sup>7</sup> кл/мл, выявлена в донных осадках. Численность алкалофильных микроорганизмов снижается в толще осадков к нижним горизонтам.

Основными регулирующими факторами активности алкалофильных аэробных и анаэробных микробных сообществ содового озера являются температура, содержание и состав органического вещества, концентрация кислорода и минерализация. Установлено, что в донных осадках исследованного озера скорость микробных процессов имеет два пика активности: весной и конец лета – начало осени. Количественная оценка деятельности микроорганизмов показывает, большая часть органического вещества на терминальных этапах используется для бактериального восстановления сульфатов.

Практическая ценность. Полученные количественные данные о распространении микроорганизмов разных физиологических групп и об их активности в водной толще и донных осадках могут использоваться в качестве индикаторов трофического уровня и их антропогенного загрязнения.

Результаты физико-химических анализов и геохимической деятельности алкалофильных микроорганизмов могут быть использованы для бальнеологических оценок воды и донных осадков озер. Алкалофильные бактерии различных физиологических групп представляют интерес для биотехнологий, связанных с применением устойчивых к высоким значениям рН микробных культур и ферментов.

Апробация работы. Основные результаты работы доложены: на Всероссийской конференции молодых ученых «Экология в современном мире: взгляд научной молодежи» (Улан-Удэ, 2007), 2-м Байкальском Микробиологическом Симпозиуме с международным участием «Микроорганизмы в экосистемах озер, рек, водохранилищ» (Иркутск, 2007), Научная сессия молодых ученых, посвященная 50-летию БНЦ СО РАН (Улан-Удэ, 2008), V Международной конференции по криопедологии «Разнообразию мерзлотных и сезонно-промерзающих почв и их роль в экосистемах» (Улан-Удэ, 2009).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 12 работ.

Объем и структура диссертации. Материалы диссертации изложены на \_\_\_ страницах, включая \_\_\_ таблиц и \_\_\_ рисунков. Диссертация состоит из разделов: Введение, Обзор литературы, Экспериментальная

часть (включающая главы: Объект и методы исследований, Результаты исследований и Обсуждение результатов), Выводы и Список литературы.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов Президиума СО РАН №38 и 95, МО РФ РНП.2.1.1./2165, НОЦ «Байкал».

## **ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Объектом исследований было содовое озеро Белое, расположенное в Оронгойской впадине в долине реки Селенги в 47 км на юго-восток от г. Улан-Удэ. Озеро находится в замкнутой котловине округлой формы, наибольшая площадь озера 0,63 км<sup>2</sup>, максимальная глубина 2,10 м. Глубина и площадь озера меняются в зависимости от метеорологических условий. Дно озера ровное и покрыто вязким илом. Верхние горизонты осадков представлены черным илом маслянистой консистенции с запахом сероводорода, на горизонте 10-15 см и ниже илы имеют серый цвет и без растительных остатков. Вода в озере прозрачная, солоноватая. Водно-солевое питание озера происходит за счет близко залегающих грунтовых минерализованных вод и атмосферных осадков. Берега озера пологие со всех сторон. Растительность вокруг озера характерна для степной зоны.

Исследования проводили с 2006 по 2009 гг. В местах отбора проб температуру воды измеряли сенсорным электротермометром Prima (Португалия), кислотность среды (рН) - портативным рН-метром рНer2 (Португалия), значения общей минерализации - портативным тестер-кондуктометром TDS - 4 (Сингапур), Eh – измерителем редокс-потенциала ORP (Португалия). Концентрацию основных ионов определяли общепринятыми методами (Ананьевская, Щекатурина, 1960; Алекин и др., 1973). Концентрацию катионов натрия и калия - пламенно-фотометрическим методом на атомно-адсорбционном спектрофотометре AAC SOLAAR MG в Байкальском институте природопользования СО РАН (Методы гидрохимических исследований, 1988).

Учет численности аэробных и анаэробных бактерий-деструкторов проводили методом предельных разведений на элективные среды. Среда предварительно стерилизовали при 120<sup>0</sup>С в течение 20 минут.

Численность протеолитических и целлюлозоразлагающих бактерий определяли на среде Пфеннига (Pfennig, 1965) с добавлением 1,5 % пептона и 2 % целлюлозы (в виде полоски фильтровальной бумаги) соответственно. Посевы инкубировали в термостате при 30<sup>0</sup>С.

Для выявления СРБ применяли жидкую среду Видделя (Widdel, 1963) Морфотипы бактерий, размеры, подвижность изучали микроскопированием образцов с помощью светового микроскопа PZO SK 14 (Польша) и “Биолам-70” в фазовом контрасте при 100-кратном увеличении объектива (общее увеличение 1250) (Романенко, Кузнецов, 1974).

Методом стекол обрастания по Холодному было изучено

естественное распределение и разнообразие микроценозов в донных осадках (Методы изучения почвенных микроорганизмов, 1966).

Скорость разложения белка и целлюлозы изучали аппликационным методом *in situ* с помощью белкового субстрата желатины фотобумаги, целлюлозы - фильтровальной бумаги (метод Мишустина и Петровой) (Носова, Гельцер, 1984; Теппер и др., 1987). Органический углерод в донных отложениях определяли методом мокрого сжигания по Тюрину (Аринушкина, 1970);

Скорость микробиологического процесса сульфатредукции, метаногенеза и темновой ассимиляции  $\text{CO}_2$  определяли при помощи радиоизотопного метода (Иванов, 1956; Сорокин, 1975; Беляев, Иванов, 1975).

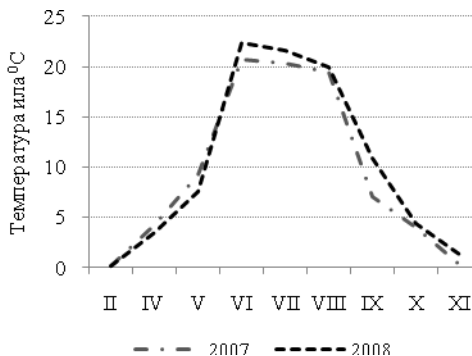
## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

### 1. Сезонные изменения физико-химических показателей среды

#### 1.1 Температура.

Основным фактором, контролирующим сезонные процессы перемешивания воды в озере, является температура. Ее значения в литоральных осадках на протяжении года варьируют от 0 до  $23^\circ\text{C}$  (рис.1).

Рис. 1. Сезонная динамика изменений температуры в литоральных осадках озера Белое.



Зимой нижняя граница льда вплотную подходит к поверхности осадков и в течение нескольких месяцев их температура держится на уровне  $0,2-1,6^\circ\text{C}$ . В период весеннего прогрева озера неустойчивость погоды вызывает колебания температуры осадков. В отдельные годы проведенных нами исследований амплитуда колебаний достигает  $5^\circ\text{C}$  в литоральных осадках, а межгодовые различия в воде составляют  $7^\circ\text{C}$ .

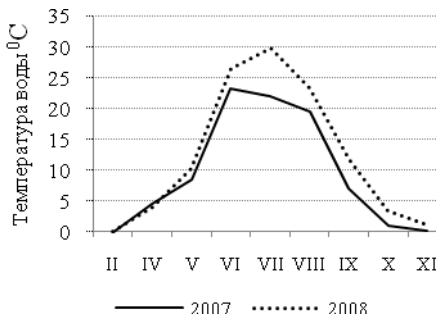


Рис. 2. Сезонная динамика изменений температуры прибрежной воды озера Белое.

Во время летней стратификации воды температура осадков держится на уровне 19-25°C, а осенью происходит их новое охлаждение. В период исследований температура воздуха варьировала от -21,7 (зимой) до +31,3°C (летом). Температура воды и ила в озере Белое в разные сезоны года следовала изменениям температуры воздуха и колебалась в пределах от 0°C до +29,7°C (рис.1,2).

Осенью Забайкалье характеризуется сухой ветреной погодой. В начале ноября 2006 г. озеро Белое покрылось полностью льдом. Толщина льда в 10 метрах от береговой линии составляла 21 см, глубина воды 35 см. Температура воды подо льдом была равна +0,3°C, ила +2,1°C. На протяжении всего зимнего периода 2006 - 2008 годов в озере подо льдом сохранялась вода. При понижении температуры объем не замерзшей воды уменьшился, а концентрация солей в ней возросла. В декабре месяце толщина льда увеличилась до 26 см, глубина водной толщи составляла 25 см, температура воды подо льдом была равна +1,6°C, температура ила +2,4°C. В феврале 2007 года толщина льда в середине озера составляла 43 см. Температура воды при этом была равна 0°C. Ранней весной с увеличением солнечной активности, повышалась дневная температура воздуха до невысоких плюсовых значений, ночью по-прежнему сохранялась низкая температура. В этот период - со второй половины марта по апрель, до начала вскрытия озера ото льда, начинался подледный прогрев воды. Проникновение солнечных лучей через ледовый покров вызывало повышение температуры поверхностных слоев воды и в середине апреля 2007 и 2008 гг. ее значения составляли +4,6°C, и +0,5°C, соответственно.

Первые месяцы лета (июнь-июль) характеризуются высокой сухостью воздуха и малым количеством осадков, что влияет на физико-химические показатели воды. В 2007 - 2008 гг. вода и ил озера равномерно прогреваются до максимальных значений +23,2°C; +29,7°C и +20,7°C; +23,4°C, соответственно.

## 1.2 Минерализация.

Концентрация солей в период исследований варьировала от 0,3 г/дм<sup>3</sup> до 3,4 г/дм<sup>3</sup> (рис. 3). Повышенное содержание солей в озере обусловлено характером его водно-солевого питания и климатическими условиями Забайкалья, которые определяют его территориальным местоположением. В начале исследований в ноябре 2006 г. минерализация воды составляла 1,8 г/дм<sup>3</sup>. Растворимая часть солей из донных осадков переходит в водную толщу, что приводит к увеличению минерализации, значения которой в конце ноября 2006 г. достигает 2 г/дм<sup>3</sup>. Минерализация в период ледового покрытия продолжала повышаться и в феврале 2007 года достигла максимального для зимнего периода значения, равного 2,2 г/дм<sup>3</sup>. С началом подледного прогрева воды отмечено снижение общей

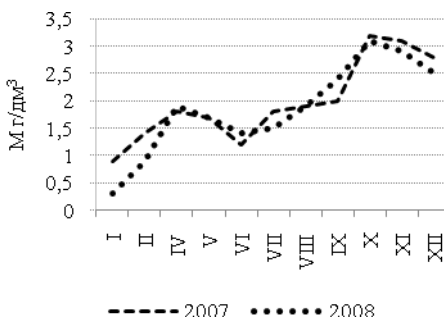


Рис. 3. Сезонная динамика изменений минерализации воды озера Белое

минерализации. Минимальное значение минерализации воды за период исследований зафиксировано в январе 2008 года и составляло 0,3 г/дм<sup>3</sup>. Значения минерализации воды в июне 2007-2008 гг. были равны 1,2 г/дм<sup>3</sup> и 1,4 г/дм<sup>3</sup> соответственно. В июле месяце 2007 отмечалось повышение минерализации воды до 1,8 г/дм<sup>3</sup>, а в июле 2008 года наблюдалось ее незначительное снижение до 1,3 г/дм<sup>3</sup>. Несмотря на частые кратковременные дожди в августе 2007 г., минерализация не снизилась и была равна 1,9 г/л, что обусловлено смывом сохранившихся с весны солей с прибрежных участков. Осенью минерализация воды в озере продолжала повышаться и в ноябре 2007 и 2008 гг. были зафиксированы их максимальные значения 3,4 г/дм<sup>3</sup> и 3,1 г/дм<sup>3</sup>, соответственно.

## 1.3 Величина рН.

Из других факторов, формирующих условия среды в осадках, следует отметить величину рН. Минимальное значение рН прибрежной воды в исследованном озере отмечено в апреле 2007 года и составляло 8,30 (рис. 4). Максимальные значения рН отмечены в 2007 г сентябре и в



2008 году в октябре и было равно 9,2.

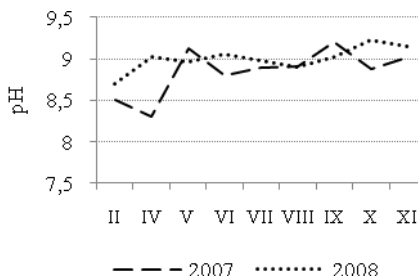


Рис. 4. Сезонная динамика изменений рН воды озера Белое.

#### 1.4 Окислительно-восстановительный потенциал.

Важным параметром, влияющим на структуру микробного сообщества, является окислительно-восстановительный потенциал (Eh). В водоеме были проведены измерения значений Eh в воде. Минимальное значение Eh воды было отмечено в апреле месяце 2007 года и равнялось +129 (рис. 5). Максимальное значение Eh прибрежной воды было отмечено в октябре месяце и достигало +314.

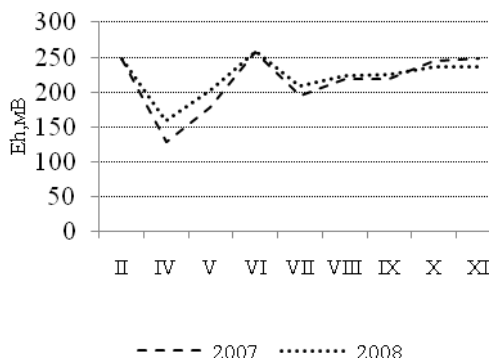


Рис. 5. Сезонная динамика изменений величины Eh в воде озера Белое.

#### 1.5 Химический состав воды.

Значимым экологическим фактором является ионно-солевой состав воды. В период проведения исследований в воде озера Белое отмечалось высокое содержание ионов  $Mg^{2+}$ ,  $Cl^-$ ,  $HCO_3^-$ . Концентрация ионов  $HCO_3^-$ , варьировала от 7,2 до 713,8 мг/дм<sup>3</sup>. Доминирующим катионом являлся  $Mg^{2+}$ -ион. Его концентрация в период исследований варьировала от 116,7 до 1500,0 мг/дм<sup>3</sup>. Высокие концентрации этого иона в воде озера

объясняются высокой растворимостью  $Mg(HCO_3)_2$ , что способствует концентрированию  $Mg^{2+}$  в природных водах (Замана, 2009).  $Mg^{2+}$  поступает преимущественно при растворении доломитов, мергелей и других пород. Содержание остальных катионов было значительно ниже содержания ионов магния.

Доминирующим анионом являлся  $Cl^-$ -ион. Его концентрация в период исследований варьировала от 19,2 до 978,0 мг/дм<sup>3</sup>. Высокие концентрации этого иона в воде озера объясняются высокой миграционной способностью  $Cl^-$ -иона, определяемой отсутствием биохимического барьера и барьера растворимости (Самарина, 1977; Питьева, 1978). Вследствие указанных причин  $Cl^-$  ионы беспрепятственно мигрируют с водами. Основными источниками поступления  $Cl^-$ -иона являются хлористые минералы горных пород, почв и скоплений солей (галит, сильвин и др.). Содержание других анионов было значительно ниже, чем ионов хлора и магния. В зимний период 2006 – 2007 гг. наблюдалось повышение концентрации всех исследуемых ионов, за исключением  $Cl^-$ -иона.

Весной в связи с подледным прогревом воды отмечалось снижение концентрации почти всех исследуемых ионов до минимальных значений, которые были зафиксированы в апреле, за исключением  $CO_3^{2-}$  и  $HCO_3^-$  ионов, минимальные значения которых были зафиксированы в летнее время. В летний период происходило повышение концентрации ионов  $K^+$  и  $Mg^{2+}$ .

В осенний период концентрации катионов  $K^+$ ,  $Na^+$  и  $Mg^{2+}$  достигали максимальных значений до 13,02 мг/дм<sup>3</sup>, 140 мг/дм<sup>3</sup> и 1500,0 мг/дм<sup>3</sup>, соответственно. Также отмечены наибольшие концентрации анионов  $CO_3^{2-}$ ,  $HCO_3^-$  и  $Cl^-$  до 158,0 мг/дм<sup>3</sup>, 713,8 мг/дм<sup>3</sup> и 978,0 мг/дм<sup>3</sup>, соответственно. Снижение концентраций  $K^+$  и  $Na^+$  в начале ноября объясняется их взаимодействием с карбонат - и сульфат-ионами и образованием солей  $KCl$ ,  $Na_2SO_4$ .

Сезонные изменения концентрации иона  $Na^+$  в воде исследованного озера варьировали от 24,66 до 40,4 мг/дм<sup>3</sup>. Минимальное содержание зафиксировано в апреле, максимальное – в конце ноября 2007 г. Высокая подвижность рассматриваемого иона обусловлена теми же факторами, что и у  $Cl^-$ -иона (Самарина, 1977). В отношении подвижности  $Na^+$ -ион уступает  $Cl^-$ -иону, т.к. может вступать в обменные реакции с поглощенным комплексом и, следовательно, выводится из раствора. В крепких рассолах ион  $Na^+$  уступает  $Ca^{2+}$ , поскольку растворимость  $CaCl_2$  выше, чем  $NaCl$ . Источником иона  $Na^+$  в водах являются продукты выветривания изверженных пород (гранит и др.), залежи солей (каменная соль, галит, мирабилит). Другим источником данного иона может быть вытеснение  $Na^+$  как одновалентного иона из поглощенного комплекса пород и почв 2-х валентными ионами  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$ , что способствует

накоплению его в природных водах.

В воде исследованного озера отмечалось низкое содержание ионов  $K^+$ , его концентрация варьировала от 1,048 мг/дм<sup>3</sup> до 13,02 мг/дм<sup>3</sup>. Низкие концентрации данного иона вероятно обусловлены его участием в процессе фотосинтеза, водном, углеводном, азотном и фосфорном обменах. У иона  $K^+$  хорошо выражен сорбционный барьер.  $K^+$  легко переходит в адсорбированное состояние, за счет высокой энергии поглощения, а затем и в кристаллическую решетку глин, в которой прочно связывается.

Содержание ионов  $Ca^{2+}$  в воде озера Белое варьировало от 32,0 мг/дм<sup>3</sup> до 132,3 мг/дм<sup>3</sup>. Достаточно низкие значения иона  $Ca^{2+}$  обусловлены ограниченной растворимостью сернокислых и низкой растворимостью углекислых солей  $Ca^{2+}$ , вследствие чего при испарительном концентрировании природных вод, имеющих место в аридных условиях, непрерывно выводятся из раствора ионы  $Ca^{2+}$  в виде солей  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$  и  $CaCO_3$  (Самарина, 1977). Источниками ионов  $Ca^{2+}$  являются кальций содержащие силикаты, из которых ион  $Ca^{2+}$  высвобождается в процессе химического выветривания. В воде исследованного озера отмечалось низкое содержание  $SO_4^{2-}$ -ионов, его концентрация в период исследования варьировала от 0,67 мг/дм<sup>3</sup> до 1,82 мг/дм<sup>3</sup>. Основными источниками поступления  $SO_4^{2-}$ -ионов являются различные осадочные породы, в состав которых входят гипс и ангидрит, а также процесс выщелачивания солончаков, содержащих мирабилит.

## 1.6 Органическое вещество донных осадков.

Важным параметром, влияющим на активность микробного сообщества, является концентрация органического углерода (Сорг), который служит субстратом для гетеротрофных микроорганизмов. Концентрация Сорг в осадках исследуемого озера в 2006 - 2007 гг. варьировала от 0,87 % до 1,3 % (рис. 6).

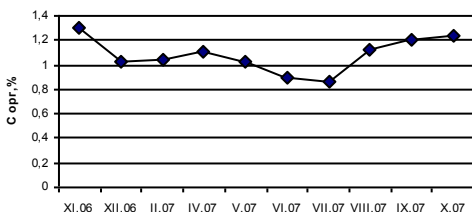


Рис. 6. Содержание органического вещества в донных осадках озера Белое

Динамика содержания органического вещества в донных осадках оз. Белое по сезонам и годам имеет неравномерный характер. Так, максимальные значения Сорг наблюдаются в конце осени 2006 и 2007 гг., Высокое содержание Сорг в этот период обусловлено поступлением в

донные осадки озера автохтонного и аллохтонного органического вещества, образовавшегося за вегетационный период. Минимальное количество Сорг (0,87%), отмеченное в июле 2007 г., связано с потреблением органического вещества бактериями-деструкторами весной – начале лета.

## 2. Микробное сообщество озера

### 2.1 Микробное сообщество водной толщи.

Стекла обрастания, закладываемые в водную толщу озера, позволили исследовать вертикальную стратификацию микробных сообществ. В водной толще обнаружено большое количество фототрофных организмов, среди которых морфологически различимые диатомовые, зеленые водоросли.

Цианобактерии развиваются в толще воды и на поверхности осадков исследуемого озера. В период исследований в озере Белое были выявлены 4 вида цианобактерий: *Anabaena variabilis* f. *tenuis* Popova, *Jaaginema woronichinii* (Anissimova in Elenkin) Anagnostidis et Komárek, *Leptolyngbya fovelarium* (Rabenhorst et Gomont) Anagnostidis et Komárek, *L. komarovii* (Anossimova) Anagnostidis et Komárek. С глубиной плотность фототрофных организмов снижается, также были обнаружены бактериальные клетки, гифы и споры микромицетов, актиномицеты.

### 2.2 Микробное сообщество донных отложений.

Высокие значения pH и минерализации ограничивают развитие высших форм растений и животных. Вследствие чего, основной живой компонентой в экстремальных условиях содового оз. Белое является алкалофильное микробное сообщество. В содовых водоемах не происходит накопления органического вещества и, следовательно, сообщество должно обладать всеми основными функциональными группами организмов, основными функциональными группами организмов, обеспечивая замкнутый цикл веществ. Наличие органических и минеральных веществ в донных отложениях озера Белое благоприятствует широкому распространению различных физиологических групп микроорганизмов.

Биомасса микроорганизмов в пробах осадков составляла 37,5 тыс. кл./см<sup>3</sup>. Преобладающими формами были палочковидные и кокковидные бактерии, распределенные более равномерно и гифы грибов и актиномицетов, максимум которых обнаружен на стеклах обрастания на поверхности донных осадков. Выделение микромицетов при pH 8,5 из проб береговой зоны и донных осадков оз. Белое выявило разнообразие микроскопических грибов представленных 11 родами. Наиболее распространенными в пробах береговой зоны были представители рода *Penicillium* sp. до 80,6%, значительно реже встречались представители родов *Paecylomyces lilacines* (8,5%), *Mucor* sp. 1 (4,7%), *Mucor* sp. 2 (3,0%),

а также *Aspergillus harus*, *Mucor* sp. 3, *Gliocladium* sp. по 0,8%. Роды *Trichoderma* sp., *Paecylomyces variety*, *Cladosperium* sp., *Fusarium* sp., в пробах береговой зоны отсутствовали.

В донных осадках выявлены роды *Mucor* sp. до 72,8 % и *Penicillium* sp. (13,6%), реже встречались *Aspergillus harus* (1,55%), *Trichoderma* sp. (2,3%), а также *Paecylomyces variety*, *Cladosperium* sp., *Fusarium* sp., до 1,1%. Представители р. *Gliocladium* sp. отсутствовали. Состав микробных сообществ и интенсивность развития микроорганизмов зависят от ряда условий в донных осадках, именно от наличия определенных питательных веществ, температуры и прочих факторов. Такой характер распределения микроорганизмов связан, по-видимому, с присутствием в воде и донных осадках легкоусвояемых органических соединений.

### 2.3 Сезонная численность микроорганизмов.

Среди исследуемых групп бактерий-деструкторов наиболее многочисленными были сапрофиты. В период исследований численность сапрофитных бактерий в воде и донных осадках была на 1-2 порядка выше, чем целлюлолитиков. Преобладание данной группы бактерий, скорее всего, связано с широким распространением легкогидролизуемого

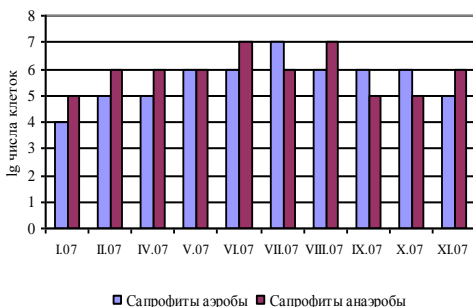


Рис. 7. Динамика численности сапрофитных бактерий в донных осадках озера Белое за 2007 год.

субстрата. Численность сапрофитов в водной толще и донных осадках изучаемого озера на протяжении двух лет варьировала – от 10 тыс. кл/мл до 10 млн. кл/мл (рис 7,8). Численность аэробных сапрофитов в 2007 году была на 1-2 порядка больше, чем в 2008 г.

В воде и донных осадках определена численность различных физиологических групп бактерий-деструкторов, участвующих в разложении органического вещества. В период исследований в 2007-2008 гг. количество целлюлозоразлагающих бактерий (ЦРБ) в воде и донных осадках варьировало от 10 тыс. кл/мл до 1 млн. кл/мл (рис. 9,10).

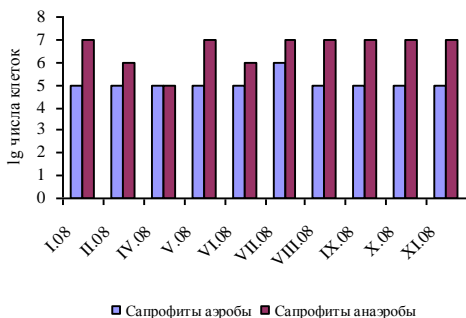


Рис. 8. Динамика численности сапрофитных бактерий в донных осадках озера Белое за 2008 год.

Зимой численность последних понижается до 1000 кл/мл, весной повышается на 1-2 порядка и в летних пробах достигает максимальных значений до 1 млн. кл/мл. Анализ результатов в течение двух лет исследований показал, что целлюлозоразлагающий биоценоз представлен в основном анаэробами, в 2008 году численность ЦРБ была выше на 1-2 порядка, чем в 2007 году.

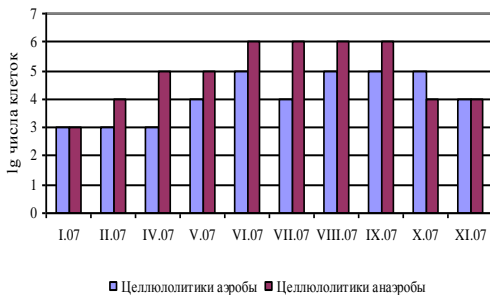


Рис. 9. Сезонная динамика численности целлюлозоразлагающих бактерий в донных осадках озера Белое за 2007 год.

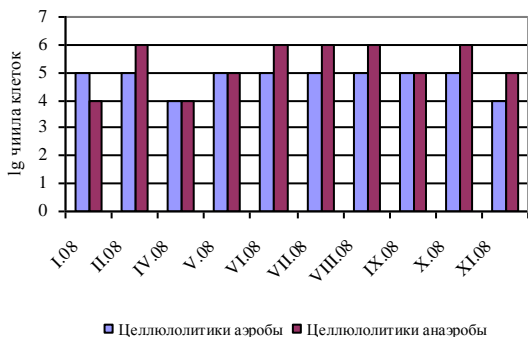


Рис. 10. Сезонная динамика численности целлюлозоразлагающих бактерий в донных осадках озера Белое за 2008 год.

Сульфатредуцирующие бактерии участвуют в деструкции ОВ на терминальных его этапах. В исследуемом озере численность

сульфатредуцирующих бактерий варьировала от 100 до 10 тыс. кл/мл. Максимальное количество сульфатредукторов до 10 тыс. кл/мл было отмечено в июле 2007 года (рис 11).

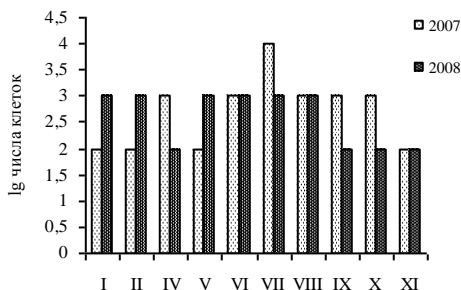


Рис. 11. Динамика численности сульфатредуцирующих бактерий озера Белое.

### 3. Интенсивность микробных процессов деструкции органического вещества

#### 3.1 Скорость разложения белка и целлюлозы.

В донных осадках исследуемого озера была определена скорость разложения целлюлозы и белка в различные сезоны года. Максимальные скорости разложения целлюлозы и белка были отмечены в сентябре и составляли 0,47 % и 3,2 % в сутки, соответственно. Минимальные скорости разложения целлюлозы и белка отмечены в ноябре – 0,23 % и 2,3 % в сутки, соответственно (рис. 12).

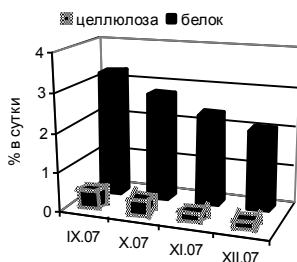


Рис. 12. Скорость разложения белка и целлюлозы в донных осадках озера Белое.

#### 3.2 Темновая фиксация CO<sub>2</sub>.

Одним из показателей активности микробного сообщества является темновая ассимиляция CO<sub>2</sub>. В процессе темновой фиксации CO<sub>2</sub> микробное сообщество, состоящее из хемолитотрофных и гетеротрофных бактерий, улавливают CO<sub>2</sub> из внешней среды и используют в

конструктивном обмене. В донных отложениях озера была изучена сезонная динамика процесса темновой фиксации  $\text{CO}_2$ . В процессе темновой фиксации микробное сообщество донных осадков содовых озер способно фиксировать от 0,06 мг С/кг в сут до 0,43 мг С/кг в сут. Наиболее интенсивно процесс протекал в августе.

### 3.3 Сульфатредукция.

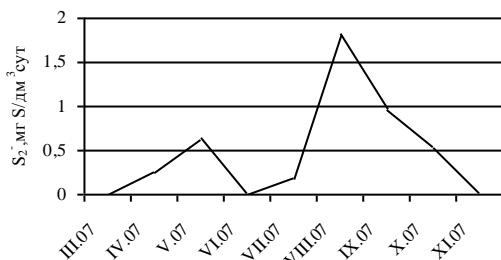


Рис. 13. Скорость сульфатредукции в донных осадках озера Белое.

Продукты разложения органического вещества, в том числе целлюлозы и белка, служат субстратом для сульфатредукторов и метаногенов. В донных отложениях содового озера Белое была определена скорость бактериальной сульфатредукции в разные сезоны года.

Наиболее интенсивно процесс бактериального восстановления сульфатов протекал в августе (1,82 мг S/ дм<sup>3</sup> в сут). Минимальное значение скорости сульфатредукции (0,0001 мг S/дм<sup>3</sup> в сут) было выявлено в ноябре (рис. 13). Интенсивность восстановления сульфатов зависит от ряда экологических факторов, от количества в среде сульфат-ионов, окислительно-восстановительного потенциала, содержания в среде органического вещества и количества сульфатредуцирующих бактерий. Сравнение значений сульфатредукции показывает, что в августе наблюдается более активная деятельность сульфатредуцирующих бактерий.

### 3.4 Образование метана.

Метаногенез так же, как и сульфатредукция является заключительным процессом терминального этапа деструкции органического вещества. В озере была определена интенсивность образования метана из  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2$  в разные сезоны года. Скорость метаногенеза была максимальной в донных отложениях озера Белое – 0,96 мкл  $\text{CH}_4$ /л в сут. Наиболее интенсивно процесс протекал в августе месяца. Минимальные значения наблюдались в марте - 0,001 мкл  $\text{CH}_4$ /л в сут (рис. 14).



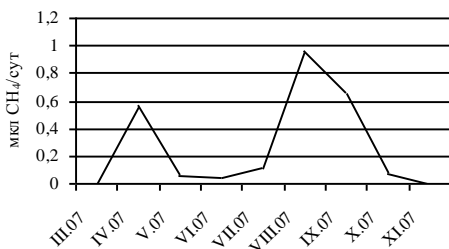


Рис. 14. Скорость метаногенеза в донных осадках озера Белое.

### 3.5 Расход органического вещества на терминальных этапах деструкции.

Балансовые уравнения и значения интенсивностей сульфатредукции и метаногенеза позволили рассчитать количество органического вещества потребляемого бактериями на терминальных этапах деструкции. Результаты определения расхода органического углерода показывают, что в донных осадках содового озера Белое на терминальном этапе деструкции большая часть органического углерода потребляется на восстановление сульфатов (от 75 нг С/дм<sup>3</sup> в сут до 1,365 мг С/дм<sup>3</sup> в сут). Скорость деструкции ОВ в процессе метаногенеза в донных осадках была низкой и варьировала от 0,0021 мкг С/дм<sup>3</sup> в сут до 2,064 мкг С/дм<sup>3</sup> в сут.

Таким образом, основным процессом разложения органического вещества на терминальном этапе в донных отложениях озера является сульфатредукция.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Озеро Белое, как и многие содовые озера Забайкалья, является мелководным, неглубоким и имеет относительно малую площадь. Годовой цикл озера состоит из 4-х периодов, сменяющих друг друга в одни и те же сроки. На химический состав озера влияет усиленное испарение вод, что связано с высокой солнечной инсоляцией в этих широтах, процесс вымораживания вод в зимнее время и принос химических элементов с атмосферными осадками.

Литоральные осадки озера Белое представляют собой экосистему с резко выраженными сезонными колебаниями условий среды. Микробное сообщество осадков реагирует на эти колебания изменением численности бактерий и образования различных метаболитов.

Комплексные исследования экологических условий среды и деятельности микроорганизмов в озере Белое были проведены в разные сезоны. Для исследованной экосистемы характерна сезонная зависимость между колебаниями значений отдельных параметров среды и активностью микробного сообщества. Это связано с тем, что, во-первых, в каждый момент времени бактериальные процессы в осадках ограничиваются сразу несколькими физико-химическими параметрами, из которых основными

являются температура, величина Eh и наличие легкодоступного ОВ. Во-вторых, большое значение имеет способность микробного сообщества реагировать на изменения условий среды через изменение численности бактерий и скорости процессов. В-третьих, существенное значение имеет не только абсолютные величины этих параметров, но и то, с какой скоростью и в каком направлении происходят их взаимные изменения. Таким образом, в каждый момент времени состояние процессов бактериального разложения ОВ в осадках определяется целым комплексом динамично изменяющихся параметров различной природы.

Приведенные результаты показывают, что, несмотря на некоторые межгодовые различия, последовательность изменений условий среды в осадках озера ежегодно повторяется. В соответствии с ней происходит последовательная смена бактериальных процессов разложения ОВ. Каждый исследованный процесс имеет свою сезонную кривую изменения интенсивности, которая также, несмотря на некоторые межгодовые различия, сохраняет устойчивый характер. Анализ этих кривых позволяет установить причины увеличения или снижения интенсивности отдельных процессов в разное время года. Наиболее интенсивно микробные процессы протекают в середине-конце весны и конце лета – начале осени, когда условия окружающей среды являются наиболее благоприятными для развития и деятельности микробного сообщества.

Имеющиеся на сегодняшний день данные позволяют предположить, что выявленные в осадках озера Белое закономерности сезонного взаимодействия между изменениями условий среды и бактериальными процессами деструкции ОВ не являются только индивидуальными свойствами исследованной экосистемы, но они могут быть в той или иной степени экстраполированы на ряд других сходных экосистем.

## **ВЫВОДЫ**

1. Основными физико-химическими параметрами, контролирующими, бактериальные процессы разложения ОВ в донных осадках озера Белое являются температура, рН, Eh и поступление ОВ. Сезонные изменения этих параметров носят характер колебаний, что приводит к изменениям интенсивности бактериальных процессов.
2. Сезонная динамика содержания органического вещества в донных осадках оз. Белое по сезонам года имеет неравномерный характер. Максимальное содержание Сорг выявлено в конце осени, которое обусловлено поступлением отмершего автохтонного и аллохтонного органического вещества, образовавшегося за вегетационный период. Минимальное количество Сорг (0,87%), отмеченное в июле 2007 г., связано с потреблением органического вещества бактериями-деструкторами весной – начале лета.
3. Максимум численности бактерий-деструкторов обнаруживается в

летнее и осеннее время. Зимой численность снижается на 1-2 порядка, ранней весной численность бактерий повышается в сотни раз. Среди исследуемых групп бактерий-деструкторов наиболее многочисленными были сапрофитные бактерии, их численность варьировала от 10 тыс. кл/мл до 10 млн. кл/мл.

4. На первых этапах деструкции органического вещества протеолитики и целлюлолитики разлагают за сутки 2,3-3,2% белка и 0,23-0,47 % целлюлозы соответственно. Максимальная активность бактерий-деструкторов I-го порядка выявлена в сентябре.
5. Интенсивность терминальных процессов сульфатредукции и метаногенеза в донных осадках озера Белое в течение года имеет два характерных пика. Первый пик активности сульфатредукторов и метаногенов в апреле-мае связан с весенним повышением температуры. Максимальные значения терминальных процессов деструкции в августе обусловлены поступлением в донные осадки озера автохтонного и аллохтонного органического вещества.
6. Количественная оценка деятельности микроорганизмов показывает, что большая часть органического вещества донных осадков озера на терминальных этапах деструкции используется на бактериальное восстановление сульфатов (до 1,365 мг С/дм<sup>3</sup> в сут). В то время, как в процессе образования метана расходуется лишь до 2,064 мкг С/дм<sup>3</sup> в сут.

### **Список работ, опубликованных по материалам диссертации**

Статьи, опубликованные в журналах, рекомендованных ВАК:

1. Цыренов Б.С. Сезонные изменения гидрохимических и микробиологических показателей содового озера Белое (Западное Забайкалье) / Б.С. Цыренов, Е.Ю. Абидаева, В.Б. Дамбаев, Д.Д. Цыренова, Б.Б. Намсараев // География и природные ресурсы, Иркутск, 2010. – № 1- С.54-59.
2. Абидаева Е.Ю. Условия среды обитания и численности алкалофильных бактерий-деструкторов в содово-соленых озерах Баргузинской долины (Забайкалье) / Е.Ю. Абидаева А.С. Сыренжапова, Б.С. Цыренов // Вестник БГСХА, Улан-Удэ, 2009. № 2 (15) - С. 95 - 97.

Статьи в других изданиях:

3. Цыренов Б.С. Функционирование микробных сообществ в содовых озерах Забайкалья. / Б.С. Цыренов, В.Б. Дамбаев // Экология Южной Сибири и сопредельных территорий. – Абакан, 2006. Вып. 10. Т. 2 С. 159.
4. Цыренов Б.С. Условия среды обитания и численности бактерий-деструкторов в содовом оз. Белое (Западное Забайкалье) / Б.С.

- Цыренов, Е.Ю. Абидуева, В.Б. Дамбаев / Тез. III Межд. Молодежная щколы-конференции. «Актуальные аспекты современной микробиологии», МАКС Пресс.- Москва, 2007. С. 127-128.
5. Цыренов Б.С. Численность отдельных групп микроорганизмов в оз. Белое (Иволгинский район, Республика Бурятия). / Б.С. Цыренов, Е.Ю. Абидуева, В.Б. Дамбаев // Экология в современном мире: взгляд научной молодежи: тез. Всерос. конф. молодых ученых. - Улан-Удэ, 2007. С. 229-230.
  6. Цыренов Б.С. Сезонная динамика гидрохимических показателей оз. Белое (Оронгойское). / Б.С. Цыренов, Е.Ю. Абидуева, В.Б. Дамбаев // Вестник БГУ. Сер. Химия. Физика. Улан-Удэ, 2008. Вып. 3. С. 40 - 42.
  7. Цыренов Б.С. Гидрохимические и микробиологические показатели малых озер Гусино-Убукунской группы. / Б.С. Цыренов, Е.Ю. Абидуева., О.М. Калашникова // Вестник БГУ. Сер. Химия. Физика. Улан-Удэ, 2008 Вып.3. С. 36 - 38.
  8. Цыренов Б.С. Условия среды обитания и численности алкалофильных бактерий-деструкторов в содово-соленых озерах Баргузинской долины (Забайкалье) / Б.С. Цыренов, Е.Ю. Абидуева. // Известия ИГУ. Сер. Биология. Экология. Иркутск, 2008. Т.1. С. 26-28.
  9. Цыренов Б.С. Сезонные изменения гидрохимических и микробиологических показателей оз. Белое (Западное Забайкалье) / Б.С. Цыренов, Е.Ю. Абидуева, В.Б. Дамбаев // Тез. V Межд. конф. по криопедологии «Разнообразие мерзлотных и сезонно-промерзающих почв и их роль в экосистемах» Улан-Удэ, 2009. С.103-104.
  10. Дамбаев В.Б. Микробные процессы цикла углерода в холодных соровых солончаках Западного Забайкалья / В.Б. Дамбаев, Б.С. Цыренов, Г.Г. Гончиков, Б.Б. Намсараев // Тез. V Межд. конф. по криопедологии «Разнообразие мерзлотных и сезонно-промерзающих почв и их роль в экосистемах» - Улан-Удэ, 2009. С.119-120.
  11. Цыренов Б.С.. Сезонная динамика гидрохимических показателей оз. Белое (Оронгойское) (Западное Забайкалье) / Б.С. Цыренов, Е.Ю. Абидуева, В.В. Хахинов // Вестник БГУ. Сер. Химия. Физика. Улан-Удэ, 2009. Вып.3. С. 31 - 33.
  12. Цыренов Б.С. Изотопные вариации углерода карбонатов и органического вещества минеральных озер Забайкалья / Б.С. Цыренов, В.Б. Дамбаев, Г.Г. Гончиков, Б.Б. Намсараев // Вестник БГУ. Сер. Химия. Физика. Улан-Удэ, 2009. Вып 3. С. 22-25.