

МИКРОФИТОБЕНТОС САПРОПЕЛЯ НА РАЗНЫХ СТАДИЯХ РЕГЕНЕРАЦИИ ЛЕЧЕБНОЙ ГРЯЗИ

Изучены водоросли и цианобактерии микрофитобентоса озера Культюбак (Предуралье, Республика Башкортостан).

Сапропель озера используется в качестве лечебной грязи.

Проанализированы эколого-географические характеристики видов водорослей и цианобактерий.

Описана динамика степени жизнеспособности клеток микрофитобентоса в различные сроки исследования с использованием люминесцентного микрокопирования.

Введение

Лечебные грязи – сложный природный биохимический комплекс, оказывающий разностороннее влияние на организм человека. Пелоидотерапия оказывает положительное влияние на моторно-эвакуаторную функцию органов пищеварения, способствует улучшению трофики, микроциркуляции.

В формировании лечебных грязей большую роль играет микрофитобентос, образованный водорослями и цианобактериями. При отмирании клеток происходит попадание в пелоид различных органических веществ – в воду выделяется 70 % соединений фосфора, 20-30 % соединений азота, переходят в ил белки, углеводы, липиды и другие внутриклеточные биополимеры.

Цель исследования – изучение цианобактерийно-водорослевых ценозов (ЦВЦ) и оценка физиологического состояния микрофитобентоса сапропеля на разных стадиях регенерации лечебной грязи (на примере оз. Культюбак (Предуралье, Республика Башкортостан)).

Материалы и методы исследования

В 2008 г. пробы отбирались из оз. Культюбак, в 2009 г. – из озера, а также в лечебнице санатория «Карагай» до регенерации и после регенерации, в 2010 г. – из озера и лечебницы. Взятые пробы просмо-

тривались в свежем состоянии и после выращивания в чашках Петри.

Методика сбора и обработки материала соответствовала общепринятым подходам в изучении водорослей [1-3]. Все водоросли были расположены по системе, принятой в таксономическом браузере Algaebase [4]. Для выделения экологических групп использовалась методика, описанная в [5].

Для статистической обработки материала использовалась программа STATISTICA 6.0. Применялась описательная статистика и однофакторный дисперсионный анализ.

Определение соотношения живых и мертвых клеток водорослей и цианобактерий осуществлялась нами методом люминесцентного микрокопирования [6].

Результаты и их обсуждение

В период с 2008 по 2010 гг. было выявлено 112 видов и внутривидовых таксонов из 52 родов, 36 семейств, 20 порядков, 8 классов и 6 отделов (табл. 1).

Ведущими по числу видов являются отделы *Bacillariophyta* – 93, *Cyanoprokaryota* – 13 видов и внутривидовых таксонов (ВВТ). Менее существенный вклад во флору водорослей изучаемой лечебной грязи вносили *Xanthophyta* – 3, *Chlorophyta* – 2, *Euglenophyta* – 1 вид и ВВТ.

Ведущую роль в формировании ЦВЦ исследованных лечебных грязей играл *Bacillariophyta*, представленный 3 классами, 12 порядками, 25 семействами и 38 родами. Вклад классов, входящих в отдел, неравнозначен.

Среди классов по числу видов наибольшим разнообразием был представлен *Bacillariophyceae* (73 вида и ВВТ, что составляет 65 % от общего числа обнаруженных видов) и входящие в этот класс 8 порядков, 26 родов

Ф.Б. Шкундина*,
доктор биологических наук, профессор кафедры ботаники, ФБОУ ВПО Башкирский государственный университет

А.Г. Зарипова,
аспирант кафедры ботаники, ФБОУ ВПО Башкирский государственный университет

* Адрес для корреспонденции: shkundinafb@mail.ru

Таблица 1

Систематическая структура ЦВЦ лечебной грязи оз. Культюбак

| Название объекта | Систематическая структура | | | | | |
|-------------------------|---------------------------|---------|----------|----------|-------|------------------|
| | Отделов | Классов | Порядков | Семейств | Родов | Видов и в/в.т. * |
| грязь из озера | 4 | 7 | 17 | 31 | 46 | 100 |
| грязь до регенерации | 5 | 6 | 12 | 19 | 26 | 41 |
| грязь после регенерации | 2 | 5 | 10 | 14 | 22 | 27 |
| грязь из лечебницы | 2 | 2 | 7 | 16 | 18 | 29 |
| Всего | 13 | 20 | 46 | 80 | 112 | 197 |

в/в.т. * – внутривидовых таксонов.

и 73 вида и ВВТ. Среди порядков по видовому разнообразию выделялся *Naviculales* (26 видов и ВВТ) (23,2 %).

Наиболее разнообразно представлены роды *Navicula* (12 видов и ВВТ), *Nitzschia* (9 видов и ВВТ), *Pinnularia* и *Achnanthes* (по 6 видов и ВВТ). Часто встречались виды *Achnanthes minutissima* (Kutz.) Czarn., *Amphora ovalis* (Kutz.) Kutz., *Cocconeis pediculus* Ehr., *Diatoma vulgare* Bory, *Epithemia turgida* (Ehr.) Kutz., *Epithemia sorex* Kutz., *Hantzschia amphioxys* (Ehr.) Grun in Cl. Et Grun., *Navicula viridula* Kutz., *Pinnularia borealis* Her., *Synedra ulna* (Nitzsch) Ehr.

Частая встречаемость видов рода *Nitzschia* является показателем загрязнения. Замечено, что они, являющиеся одними из лучших индикаторов сапробиологических условий, более типичны для водоемов, богатых органикой и биогенными элементами.

Cyanoprokaryota представлены 2 классами – *Chroococcophyceae* и *Hormogoniophyceae*, 3 порядками, 8 родами и 13 видами и ВВТ. Ведущими порядками выступали *Nostocales* (6 видов и ВВТ) и *Oscillatoriales* (5 видов и ВВТ). Часто встречающиеся представители рода *Anabaena* предпочитают воды, загрязненные органическими веществами. Отдел *Euglenophyta* представлен 1 видом – *Trachelo-*

monas volvosina Ehr. Отдел *Xanthophyta* представлен 1 классом, 2 порядками, 3 родами и 3 видами водорослей: *Botryochloris minima* Pasch., *Chloridella simplex* Pasch., *Heterothrix bristoliana* Pasch.

Отдел *Chlorophyta* представлен 1 классом *Chlorophyceae*, 2 порядками 2 родами и 2 видами. Виды *Hydrodictyon reticulatum* (L.) Lagerh., *Chlamydomonas elliptica* Korsch встречались единично в автотрофном бентосе оз. Культюбак.

В процессе использования в качестве лечебной грязи происходит изменение систематической структуры и видового состава ЦВЦ (табл. 1).

В микрофитобентосе сапропеля из озера выявлено 100 видов и ВВТ, относящихся к 4 отделам, 7 классам, 17 порядкам, 31 семейству и 46 родам.

Вклад в формирование видового разнообразия микрофитобентоса составляет 89,3 % от общего числа обнаруженных водорослей и цианопрокариот. Главную роль в формировании видового разнообразия играли отделы *Bacillariophyta* (78) и *Cyanoprokaryota* (12). Менее существенный вклад во флору водорослей и цианопрокариот вносили *Xanthophyta* – 2 и *Chlorophyta* – 1. Наиболее разнообразны были порядки *Naviculales* (24 таксона), *Bacillariales* (12), *Cymbellales* (10), *Fragilariales* (10), составившие 50 % от выявленных ВВТ.

По числу видов лидирует отдел *Bacillariophyta* – 78. Наиболее значимы роды *Navicula* (11), *Nitzschia* (8), *Achnanthes* (7), *Fragilaria* (6), *Pinnularia* (5) и *Cymbella* (5).

В микрофитобентосе лечебной грязи до регенерации было выявлено 41 вид и ВВТ, 36,6 % от общего числа обнаруженных водорослей и цианопрокариот из 5 отделов, 6 классов, 12 порядков, 19 семейств, 26 родов. Отделы *Bacillariophyta* – 32, *Cyanoprokaryota* – 6, *Euglenophyta* – 1, *Xanthophyta* – 1, *Chlorophyta* – 1 вид и ВВТ. Ведущую роль в формировании флоры водорослей и состава цианопрокариот грязи до регенера-



ции играл отдел *Bacillariophyta*, среди классов по числу видов наиболее разнообразным был *Bacillariophyceae* (26), что составляет 23 % от общего числа обнаруженных видов. Среди порядков по видовому разнообразию выделялся *Naviculales* (12). Наиболее разнообразно представлены роды *Navicula* (6), *Pinnularia* (3), *Nitzschia* (3). Класс *Fragilariophyceae* характеризовался присутствием 5 видов и ВВТ. В отделе *Chlorophyta* выявлен всего один вид. Цианопрокариоты представлены 1 классом – *Hormogoniophyceae*, 2 порядками, 3 семействами, 4 родами и 6 видами и ВВТ.

В микрофитобентосе грязи после регенерации было выявлено 27 видов и ВВТ из 22 родов, 14 семейств, 10 порядков, 5 классов и 2 отделов. Доминировали *Bacillariophyta* – 22 и *Cyanoprokaryota* – 5.

В микрофитобентосе грязи из лечебницы было выявлено 29 видов и ВВТ из 18 родов, 16 семейств, 7 порядков, 2 классов и 2 отделов. Ведущим по числу видов является отдел *Bacillariophyta* – 28. Среди классов самым разнообразным был *Bacillariophyceae* (24 вида и ВВТ), среди порядков по видовому разнообразию выделялся *Naviculales* (13 видов и ВВТ) и *Bacillariales* (4). Часто встречались виды *Navicula viridula* Kutz., *Pinnularia borealis* Ehr., *Synedra ulna* (Nitzsch.) Ehr. *Cyanoprokaryota* был представлен *Anabaena spiroides* Kleb.

В целом, структура микрофитобентоса отличалась от альгофлоры большинства водных объектов Башкортостана, с доминированием диатомовых, зеленых водорослей и цианопрокариот [7, 8] и меньшим видовым разнообразием зеленых водорослей. Насыщенность родов видами также наиболее высокая у диатомовых и синезеленых водорослей.

Мы использовали эколого-географическую классификацию для анализа списка водорослей и цианопрокариот [5]. По приуроченности к местообитанию в лечебных грязях санатория «Карагай» преобладали бентосные водоросли, в 3 раза меньше встречались планктонно-бентосные водоросли. Также выявлены планктонные и почвенные водоросли. Анализ результатов показывает доминирование эврисапробов, выявлено также 18 видов сапроксенов и 5 видов сапрофилов. По распределению видов по зонам самоочищения по Пантле-Буку в модификации Сладечека наибольшее число видов относилось к олигосапробионтам. По галобности доминировали олигогалобы-индифференты.

Определение соотношения живых и мертвых клеток водорослей и цианопрокариот осуществлялась нами методом люминесцентного микрокопирования [6].

Полученные результаты обрабатывались с использованием описательной статистики [9] в пакете программ STATISTICA 6.0.

Изменения степени жизнеспособности клеток водорослей и цианопрокариот представлены в табл. 2, 3. Анализ данных по жизнеспособности клеток микрофитобентоса озера (табл. 2) показывает, что пик численности клеток с высокой жизнеспособностью приходится на первую неделю просмотра в 2008 г., что свидетельствует о высокой физиологической активности иловых сапропелевых грязей. На вторую неделю экспозиции

Таблица 2

Изменение степени жизнеспособности клеток водорослей и цианопрокариот в сапропеле из оз. Культюбак

| Даты просмотра | Красные (живые) | Желтые (отмирающие) | Зеленые (мертвые) |
|----------------|-----------------|---------------------|-------------------|
| 9.04.2008 | 5269 | 282 | 790 |
| 16.04.2008 | 688 | 1055 | 339 |
| 27.03.2009 | 449 | 157 | 385 |
| 3.04.2009 | 9695 | 49 | 159 |
| 21.04.2009 | 961 | 339 | 192 |
| 2.07.2009 | 717 | 154 | 491 |
| 28.09.2009 | 517 | 153 | 351 |
| 02.10.2009 | 1300 | 256 | 378 |
| 05.10.2009 | 4465 | 482 | 832 |
| 14.03.2011 | 6481 | 601 | 1154 |
| 24.03.2011 | 5587 | 1494 | 972 |

Таблица 3

Изменение степени жизнеспособности клеток водорослей и цианопрокариот в грязи до регенерации в 2009–2010 гг.

| Грязь до регенерации | | | |
|-------------------------|-----------------|---------------------|-------------------|
| Даты просмотра | Красные (живые) | Желтые (отмирающие) | Зеленые (мертвые) |
| 2.07.2009 | 1881 | 273 | 555 |
| 3.07.2009 | 1812 | 231 | 592 |
| 2.10.2009 | 1877 | 209 | 520 |
| 5.10.2009 | 670 | 728 | 430 |
| 4.03.2010 | 3612 | 513 | 402 |
| Грязь после регенерации | | | |
| Даты просмотра | Красные (живые) | Желтые (отмирающие) | Зеленые (мертвые) |
| 3.07.2009 | 1 | 111 | 530 |
| 16.10.2009 | 16846 | 419 | 1310 |
| 24.03.2011 | 1551 | 880 | 188 |
| Грязь из лечебницы | | | |
| Даты просмотра | Красные (живые) | Желтые (отмирающие) | Зеленые (мертвые) |
| 18.11.2011 | 19140 | 335 | 3030 |
| 24.03.2011 | 7292 | 2303 | 1482 |



наблюдается интенсивное отмирание клеток, причем количество мертвых клеток уменьшается вдвое. В 2009 г. в первую неделю просмотра количество живых и мертвых клеток практически одинаково (449 и 385). Через неделю количество живых клеток достигает пика, и отмечается самое высокое количество живых клеток (9695) за все время просмотра проб пелоида, взятого непосредственно из озера. Изучаемая грязь характеризуется наибольшей физиологической активностью, так как в ней находится большое количество живых клеток, которое уменьшается в процессе эксперимента. Значительное число живых клеток наблюдается в октябре 2009 г. при повторном эксперименте с чашками Петри. В октябре наблюдалось также интенсивное размножение клеток и значительное увеличение жизнеспособности. В 2011 г. в течение двух недель просмотра количество живых клеток примерно одинаково (6481 и 5587), так же как и мертвых (1154 и 972). Количество отмирающих клеток увеличивается вдвое в процессе экспозиции (601 и 1494).

В первые два дня просмотра проб лечебной грязи до регенерации в 2009 г. наблюдается доминирование живых клеток при почти одинаковых значениях показателей количественного развития (табл. 3). Пик жизнеспособности наблюдается в марте 2010 г. (3612). В октябре 2009 г. соотношение живых, отмирающих и мертвых клеток примерно одинаковое.

В грязях после регенерации (табл. 3) наименьшее количество живых клеток наблюдается в первый день просмотра проб, найдена всего одна живая клетка. Пик численности наблюдается в октябре 2009 г., при этом наблюдаются самые большие значения количества живых клеток за весь период исследования. В марте 2011 г. отмечены на порядок меньшие значения числа выявленных клеток. Вероятно, наблюдаемые значительные

изменения численности связаны с отличиями процессов регенерации лечебных грязей в разные биологические сезоны.

Анализ данных о развитии клеток в грязи из лечебницы показал высокую физиологическую активность клеток водорослей и цианопрокариот (табл. 3). Жизнеспособность клеток уменьшается в процессе хранения с октября по март.

При статистической обработке данных нами был использован однофакторный дисперсионный анализ для выявления действия на состояние водорослей фактора времени просмотра проб.

Сравнение вычисленных величин критерия с табличными показывает, что время просмотра проб достоверно влияет на степень жизнеспособности клеток автотрофного бентоса, так для живых клеток $F_1 > F_1^1$, т.е. $3,27 > 3,02$; для отмирающих клеток – $F_1 > F_1^1$, т.е. $3,6 > 3,02$; для мертвых – $F_1 > F_1^1$, т.е. $3,09 > 3,02$. Таким образом, в разные сезоны создаются разные условия для регенерации лечебных грязей.

Заключение

В период с 2008 по 2010 гг. во всех изученных пробах микрофитобентоса было выявлено 112 видов и ВВТ из 52 родов, 36 семейств, 20 порядков, 8 классов и 5 отделов. Ведущими по числу видов являются отделы *Bacillariophyta* (93) и *Cyanoprokaryota* (13 видов и ВВТ). В результате анализа родовой насыщенности внутривидовыми таксонами показано, что первое место занимают *Bacillariophyta* с более высоким значением родового коэффициента (2,45).

В микрофитобентосе пелоида из озера выявлено 100 видов и ВВТ, относящихся к 4 отделам, 7 классам, 17 порядкам, 31 семейству и 46 родам. В формировании видообразия принимали участие отделы *Bacillariophyta* (78) и *Cyanoprokaryota* (12).

В микрофитобентосе лечебной грязи до регенерации был выявлен 41 вид и ВВТ из 5 отделов, 6 классов, 12 порядков, 19 семейств, 26 родов. В лечебной грязи после регенерации было выявлено 27 видов и ВВТ из 22 родов, 14 семейств, 10 порядков, 5 классов и 2 отделов (*Bacillariophyta* – 22, *Cyanoprokaryota* – 5). В лечебнице было выявлено 29 видов и ВВТ из 18 родов, 16 семейств, 7 порядков, 2 классов и 2 отделов (*Bacillariophyta* – 28, *Cyanoprokaryota* – 1).

Анализ данных о жизнеспособности клеток в грязи из лечебницы показал высокую физиологическую активность клеток водорослей и

цианопрокариот. Жизнеспособность клеток уменьшается в процессе хранения с октября по март. До регенерации наблюдалось наибольшее варьирование средних арифметических для живых клеток.

Литература

Водоросли. Справочник / Вассер С.П., Кондратьева Н. В., Масюк Н. П. и др. Киев: Наук. думка, 1989. 608 с.
2. Голлербах М.М. Синезеленые водоросли / М.М. Голлербах, Е.К. Коссинская, В.И. Полянский // Опред. пресновод. водор. СССР. Вып. 2. М.: Советская наука, 1953. 652 с.
3. Мошкова Н.А. Зеленые водоросли. Класс Улотриксковые (1). Порядок Улотриксковые (Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып.10) / Н.А. Мошкова, М.М. Голлербах. Л.: Наука, 1986. 360 с.
4. Guiry M. et al. Algaebase // University College Cork, University of London. Электронный ресурс: <http://www.algaebase.org/browse/taxonomy>

Ключевые слова:

водоросли,
цианопрокариоты,
лечебная грязь,
степень
жизнеспособности

5. Баринаева С.С. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды / С.С. Баринаева, Л.А. Медведева, О.В. Анисимова. Тель-Авив, 2006. 498 с.
6. Joao Serodio. Nondestructive tracing of migratory rhythms of intertidal benthic microalgae using in WO chlorophyll a fluorescence / Joao Serodio, Jorge Marques da Silva, Fernando Catarino // J. Phycol.1997. № 33. P. 542-553.
7. Салимова Г.М. Бентосная альгофлора некоторых водоемов Республики Башкортостан / Автореф. дис....канд. биол. наук. Уфа, 2004. 24 с.
8. Ярушина М.И. Флора водорослей водоемов Челябинской области / М.И. Ярушина, Г.В. Танаева, Т.В. Еремкина. Екатеринбург: УрО РАН, 2004. 307 с.
9. Зайцев Г.Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М.: Наука, 1984. 424 с.



F.B. Shkundina, A.G. Zaripova

MICROPHYTOBENTHOS OF SAPROPEL ON DIFFERENT REGENERATION STAGES OF PELOID

Algae and cyanobacteria of microphytobenthos in lake Kultubak (Republic of Bashkortostan) are investigated. Lake sapropel is used as peloid. Ecological features of species in ecosystem are described. Cell viability assay during different stage of organism growth was carried out using luminescent microscope.

Key words: algae, cyanobacteria, peloid, viability.