

Повышенная мутность воды, а также бедность почв и исходных сулакских вод биогенными веществами препятствуют более интенсивному развитию фитопланктона в рассматриваемых водоемах. Однако лимитирующее значение обоих факторов в разных прудах неодинаково. Очевидно, в мектебских и некоторых обильно заросших прудах рыбопитомника «Уйташ» в условиях высокой прозрачности основное значение имело небольшое содержание в них биогенных веществ, тем более, что мектебские пруды не удобрялись. В водоемах же с низкой прозрачностью несмотря на внесение удобрений развитие фитопланктона ограничивалось обоими этими факторами, однако решающее значение имела повышенная мутность воды.

Для более интенсивного количественного развития фитопланктона в исследованных водоемах необходимо наряду с удобрением проводить борьбу с зарастанием их высшей водной растительностью и создавать отстойники, где вода освобождалась бы от механических взвесей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абаев Ю. И., Крылова А. Г. 1970. Пути рыбохозяйственного использования Шапсугского и Шендтийского водохранилищ. Мат-лы к науч. конф. по интенс. рыбохоз. освоен. вод. Сев. Кавказа, Краснодар.
2. Винберг Г. Г., Ляхнович В. П. 1965. Удобрение прудов. Изд-во «Пищепром.», М.
3. Жалнина А. И. 1970. Условия и результаты выращивания рыбопосадочного материала в прудовых хозяйствах лиманского типа. Мат-лы к науч. конф. по интенс. рыбохоз. освоен. вод. Сев. Кавказа, Краснодар.
4. Корниенко Г. С. 1971. Особенности развития фитопланктона на рисовых чеках и питание белого толстолобика. Вopr. пруд. рыб-ва. Тр. ВНИИПРХ, 8.
5. Трифонова И. С. 1969. Исследование фитопланктона водоемов бассейна р. Сулак и прогноз его развития в Чиркейском водохранилище. «Мат-лы к совещ. по прогноз. содерж. биог. элем. и орг. в-ва в водоохр.», Рыбинск.
6. Шаларь В. М. 1971. Фитопланктон водохранилищ Молдавии. Изд-во «Штинца», Кишинев.

Поступила 20. III 1972 г.

УДК 582.232—11

ОБ ЭЛЕКТРОКИНЕТИЧЕСКИХ СВОЙСТВАХ *MICROCYSTIS AERUGINOSA*

В. И. ЖУРАВЛЕВА, Е. С. МАЦКЕВИЧ

(Институт коллоидной химии и химии воды АН УССР, Киев)

Согласно литературным данным [4], при воздействии постоянного электрического тока на культуры *Microcystis* происходит направленное перемещение клеток к положительно заряженному электроду. Несмотря на то, что в указанной работе затронут весьма широкий круг вопросов, относящихся к рассматриваемому явлению, она все же не содержит сведений, характеризующих процесс переноса клеток в электрическом поле с количественной стороны.

В своей работе мы поставили целью восполнить этот пробел и изучить электрокинетические свойства водорослей*.

Для культивирования водорослей использовали среду Фитцджеральда № 11 в модификации Цандера и Горэма [3]. Водоросли выращивали в конических колбах при температуре 24—25° С в специальном термостатируемом боксе с люминесцентным освещением. Возраст культуры 25—30 суток со дня посева. Содержание клеток в среднем составляло 900 тыс./л.

* Альгологически чистая культура любезно предоставлена нам Л. А. Сиренко (Институт гидробиологии АН УССР), за что мы выражаем свою признательность.

Кинетику переноса водорослей в электрическом поле и накопление их в анодном пространстве исследовали в прямоугольных электрохимических ячейках простого типа, то есть в таких условиях, какие могли быть реализованы на очистных сооружениях водопроводов либо в других местах массового сбора водорослей. Ячейки представляли собой прозрачные кюветы, склеенные из тонкого листового оргстекла. Электроды плоские и расположены вплотную к боковым стенкам кюветы по всей внутренней поверхности. Катод из нержавеющей стали. В качестве анода использовали железо, медь и графит.

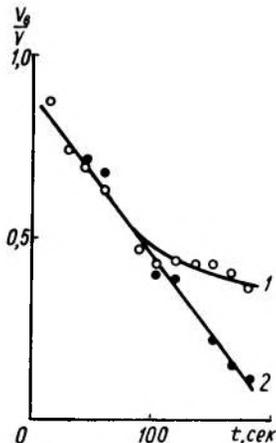
Скорость перемещения водорослей контролировали путем фотографирования кюветы вместе с секундомером (для фиксации времени выдержки под током) каждые 15 секунд на протяжении опыта. По изменению расположения границы между осветленной водой и сконцентрированной водно-водорослевой суспензией на отпечатанном позитивном изображении кюветы рассчитывали скорость переноса водорослей и накопления их на аноде. Применен один из вариантов метода обработки опытных данных — графическое интегрирование, которое в данном случае сводилось к определению площади изображения, соответствующей объему воды с водорослями в кювете. Для расчета использован так называемый весовой метод. Необходимую часть отпечатка вырезали и взвешивали на аналитических весах после высушивания в строго определенных условиях.

Установлено, что общая картина воздействия постоянного тока на водоросли существенно зависит как от материала используемого анода, так и от величины прикладываемого напряжения.

При использовании анодов, которые дают переходящие в воду продукты, в переносе водорослей к аноду можно условно выделить четыре этапа: начальный период воздействия тока на водоросли, за который культура, судя по визуальным наблюдениям, изменений не претерпевает; оформление более или менее четкой границы между осветленной в прикатодной части кюветы водой и водно-водорослевой суспензией клеток, переносимых к аноду; перемещение границы к аноду с выделением на нем водорослей или скоплением их в прианодном пространстве; агрегирование клеток водорослей в анодной части электрохимической ячейки.

Динамика переноса клеток водорослей в постоянном электрическом поле:

1 — опыты с железным анодом, 2 — с медным анодом. (Обозначения — см. в тексте.)



Если приложенное напряжение мало, то первый этап весьма растянут во времени и четкой границы между водорослями и осветленной водой не возникает. Не происходит при этом и агрегирование водорослей в прианодном объеме воды. Если приложенное напряжение достаточно для создания градиента 20—30 в/см, то первый этап практически отсутствует, граница между водорослями и осветленной водой возникает почти сразу же после включения тока и водоросли довольно быстро движутся к аноду. Спустя некоторое время скорость перемещения водорослей начинает падать, и вскоре уже визуально можно наблюдать, что биомасса водорослей неподвижна. При высоком градиенте напряжения в ячейке агрегирование биомассы водорослей происходит очень интенсивно.

Сказанное иллюстрирует рисунок, на котором в качестве примера показана динамика переноса водорослей при градиенте напряжения 33 в/см и расстоянии между электродами 4,8 см. По этим данным не трудно рассчитать электрокинетические характеристики клеток водорослей.

Поскольку клетки водорослей имеют обычно сферическую форму со средним диаметром частиц порядка 10^{-3} — 10^{-4} см [1], то перемеще-

ние клетки в воде под действием электрического поля можно уподобить движению твердого заряженного шарика в вязкой среде. Скорость этого движения будет постоянной, когда действующая на клетку сила электрического поля уравнивается силой трения. Между электрическими и электрокинетическими характеристиками клетки водоросли и скоростью ее перемещения в электрическом поле заданной напряженности существуют зависимости, которые передаются такими формулами (см., например, [2]):

$$ze\Sigma = 6\pi\eta ru \quad (1)$$

$$\sigma = ez/4\pi r^2 \quad (2)$$

$$\zeta = k\pi\eta U_e \quad (3)$$

В приведенных уравнениях и в тексте приняты такие условные обозначения: z — величина заряда клетки (число элементарных электрических зарядов на клетке); e — элементарный электрический заряд ($e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ кулон $= 4,8 \cdot 10^{-10}$ эл.-ст. ед.); Σ — напряженность электрического поля (v/cm); η — коэффициент вязкости среды ($n \cdot сек/м^2$); для воды при 20° $\eta = 1,005 \cdot 10^{-3}$; r — радиус клетки ($мк$; в использованной нами для опытов культуре одноклеточных водорослей средний радиус клетки был равен $2 мк$); σ — плотность поверхностного заряда (эл.-ст. ед./ $см^2$); u — наблюдаемая на опыте скорость переноса клеток ($см/сек$); U — абсолютная скорость движения клетки ($см^2/v \cdot сек$); ϵ — диэлектрическая постоянная может быть принята равной для чистой воды 81; k — коэффициент, учитывающий форму частицы для сферы, равный 6; ζ — электрокинетический потенциал ($мв$).

Скорость переноса клеток вычисляли из опытных данных по уравнению:

$$u = V_b \cdot l / V \cdot t = S_b \cdot l / S \cdot t, \quad (4)$$

в котором l — расстояние между электродами; V и V_b — общий объем воды в кювете и часть его, заполненная водорослями к моменту воздействия тока t ; S и S_b — соответствующие этим объемам площади изображений на фотоотпечатке; t — время воздействия тока на культуру водорослей.

Величину $V_b/V \cdot t$ находили из угла наклона прямолинейного участка кривой, изображенной на рисунке. Прямолинейность участков кривых $V_b/V \cdot t$ при малых значениях t и наложение их друг на друга в случае использования различных анодов говорит о том, что влияние продуктов анодного растворения электрохимически активных электродов на скорость переноса клеток водорослей сказывается только на заключительном этапе опыта. Наблюдаемые различия в ходе кривых при $t > 100$ сек обусловлены тем, что медный анод сильнее обрастает водорослями, тогда как при использовании железного анода основная часть водорослей находится в объеме обработанной воды.

Определив экспериментальным путем величину u , остальные интересующие нас величины находили по уравнениям (1) и (3), а также путем совместного решения уравнений (1) и (2). Ниже приводим результаты этих вычислений.

Электрокинетические характеристики клеток водорослей

Абсолютная скорость движения клетки pH 8,7	pH 10,0
$(U \cdot 10^3)$, $см^2/v \cdot сек$	0,63 0,85
Величина заряда клетки ($z \cdot 10^4$)	14,8 20,0
Плотность поверхностного заряда (σ), эл.-ст. ед./ $см^2$	14,2 19,2
Электрокинетический потенциал (ζ), $мв$	132 177

Как видим, с повышением рН электрокинетический потенциал и плотность поверхностного заряда возрастают. Сопоставление полученных данных с имеющимися в литературе [5, 6] указывает на то, что электрокинетический потенциал клеток ζ действительно зависит от реакции среды и увеличивается с ростом рН, однако в случае исследованной нами культуры водорослей его значения более высоки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кондратьева Н. В. 1968. Вопросы морфологии и систематики *Microcystis aeruginosa* Kütz. emend. Elenk. и близких к нему видов. В сб.: «Цвет.» воды», изд-во «Наукова думка», К.
2. Пасынский А. Г. 1968. Коллоидная химия. «Высш. шк.», М.
3. Сиренко Л. А. 1968. К методике культивирования синезеленых водорослей — возбудителей «цветения» воды. В сб.: «Цвет.» воды», изд-во «Наукова думка», К.
4. Сиренко Л. А., Волков И. В., Музыченко А. Д., Арендарчук В. В. 1965. Воздействие электрического тока на массовые виды синезеленых водорослей в условиях культуры. «Гидробиол. ж.», 1, 4.
5. Ives K. J. 1956. Electrokinetic phenomena of planktonic algae. «Proc. Soc. Wat. Treat. Exam.», 5.
6. Ives K. J. 1959. The Significance of Surface Electric Charge on Algae in Water Purification. «J. Biochem. Microbiol. Techn. Eng.», 1, 1.

Поступила 25. II 1972 г.

УДК 582.252:628.3

ПИРОФИТОВЫЕ ВОДОРΟΣЛИ СТОЧНЫХ ВОД

Т. В. ДОГАДИНА

(Харьковский госуниверситет)

Изучение альгофлоры сточных вод в течение ряда лет показало, что наряду с ведущими группами водорослей — эвгленовыми, протоккокковыми и др. [2—4] — в водоемах очистных сооружений довольно часто встречаются и пирофитовые водоросли [7].

В немногочисленных литературных источниках, посвященных водорослям сточных вод [5, 6, 8], из пирофитовых упоминаются лишь виды *Cryptomonas* — *C. erosa* Ehr., *C. ovata* Ehr., *C. ovata* var. *curvata* Lemm., *C. compressa* Pasch., *C. reflexa* (Marsson) Skuja, а также *Glenodinium* sp. В списке сапробных организмов [1] указаны *Cryptomonas nordstedtii* для α -мезосапробной, *C. erosa* var. *reflexa*, *C. ovata*, *C. erosa* для β -мезосапробной и *Gymnodinium palustre*, *C. aeruginosum*, *Ceratium hirundinella* — для олигосапробной зон. В более поздних списках индикаторов сапробности [9] названо всего лишь четыре вида пирофитовых.

В исследованных нами водоемах из пирофитовых водорослей встречались представители криптонад и перидиней (см. таблицу). Приведенные данные свидетельствуют, что, хотя пирофитовые водоросли не играют большой роли в альгофлоре сточных вод, отдельные виды их обитают здесь, выдерживая значительные колебания химического состава воды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вислоух С. М. 1916. Биологический анализ воды. В кн.: С. И. Златогоров. «Учение о микроорганизмах», II. Птг.
2. Догадина Т. В. 1970. Альгофлора водоемов очистных сооружений и ее роль в очистке стоков. Автореф. дисс. К.