

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

ОЦЕНКА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ РАСТЕНИЙ ПРИ ХИМИЧЕСКОМ ЗАГРЯЗНЕНИИ СРЕДЫ

С.В. Горюнова

Московский городской педагогический университет
2-й Сельскохозяйственный проезд, 4, Москва, Россия, 129226

Рассмотрены результаты оценки функционального состояния зеленых водорослей при воздействии на них тяжелых металлов. Показано, что метод определения фотосинтетической активности водорослей по изменению рН среды позволяет достаточно просто оценивать и сравнивать интенсивность фотосинтетических процессов в токсикологическом эксперименте.

Ключевые слова: функциональное состояние водных растений, активная реакция среды (рН), токсиканты, биотестирование.

В зависимости от масштабов производственной деятельности, уровня технологической и экологической культуры разных стран и многих других причин акватории нашей планеты характеризуются разным уровнем деградации водной среды и ее живой составляющей, обусловленной антропогенными воздействиями. Значительная часть пресноводных экосистем под влиянием этих воздействий функционирует в режиме высоких нагрузок химических, радиоактивных и иных поллютантов, теплового перегрева, избыточного насыщения биогенными веществами и т.п. Как показали наши исследования, на первых фазах процесса деградации изменения, наблюдающиеся в водных объектах, малозаметны [1]. Обычно диагностирование этих явлений происходит на основе достаточно длительных комплексных исследований, поводом для начала которых служит значительное ухудшение качества водной среды, затрудняющее или делающее невозможным использование водных объектов в тех или иных целях. Вместе с тем именно на начальных фазах затраты на мероприятия по экологической реабилитации минимальны. Поэтому параллельно с исследованием процесса антропогенной деградации водных объектов нами проводились исследования по разработке новых экспресс-методов оценки состояния водной среды.

В ходе изучения экологического состояния водных объектов широко применяется метод биотестирования с использованием лабораторной культуры дафний. Однако наиболее перспективным для выполнения данной задачи представляется использование методов биотестирования, основанных на оценке функционального состояния тест-объектов ботанического плана — водорослей и макрофитов.

Возрастание масштабов загрязнения водных экологических систем токсикантами различной природы и накопление их во внешней среде обуславливают необходимость разработки новых чувствительных и доступных методов оценки функционального состояния фотосинтезирующих организмов как первого звена трофической цепи.

При работе с микроорганизмами существенное значение имеет не только определение темпов их роста и размножения, но и умение диагностировать состояние и степень жизнеспособности. Одним из важнейших элементов этой диагностики может быть определение соотношения живых и мертвых клеток, поскольку в культурах водорослей, находящихся даже на стадиях активного роста и размножения, всегда имеется определенный процент мертвых клеток. Численность последних особенно увеличивается при попадании водорослей в экстремальные условия [2].

Не менее интересную информацию о состоянии жизнеспособности культуры может дать изменение рН среды: чем выше жизнеспособность водорослей, тем значительно больше изменяется на свету реакция среды — происходит ее подщелачивание в результате фотосинтетической ассимиляции карбонатов. При применении токсических веществ, ослабляющих интенсивно протекающий процесс фотосинтеза или влияющих на количественное содержание хлорофиллов в клетках водорослей, происходит снижение потребления углекислоты и подкисление питательного раствора [3].

Многообразие причин изменения рН в культурах и суспензиях целых клеток позволяет говорить о величине рН как об универсальном физиологическом показателе. Интенсивность фотосинтеза является одним из главных интегральных показателей состояния микроводорослей, так как отражает наиболее важную сторону метаболизма — способность клеток к генерации энергии, синтезу АТФ. Кроме того, нарушение фотосинтетической активности является более чувствительной реакцией одноклеточных водорослей на токсические воздействия, чем снижение скорости роста численности клеток или изменение содержания пигментов [4—6].

По изменению рН среды можно не только качественно охарактеризовать интенсивность фотосинтеза водных растений. Зная изменения активной реакции воды, можно рассчитать эквивалентные им количества ассимилированной углекислоты. Основанный на этом принципе вариант метода склянок с 1951 г. применялся в США на оз. Эри. Изменения рН среды определяют либо колориметрическим методом, либо с помощью стеклянного электрода. Еще в 1938 г. Блинкс и Скау использовали стеклянный электрод, находящийся в непосредственном контакте с фотосинтезирующим листом водяной лилии *Castalia* и с клетками водорослей,

осажденными из суспензии. Им удалось также зарегистрировать у морской водоросли *Stephanoptera* быстрые изменения рН, возникающие при вспышках продолжительностью всего 0,02 сек. Наименьший воспроизводимый ответ соответствовал изменению рН на 0,001 единицы. Взаимосвязи между рН и CO_2 были использованы во многих работах, однако часто не учитывались некоторые стороны этих взаимодействий: зависимость рН среды от содержания CO_2 в ней не линейна, а степень изменения рН за единицу времени изменения CO_2 зависит от буферной емкости воды. Метод определения интенсивности фотосинтеза по количеству CO_2 в среде, найденному по значению рН, применялся для изучения чистого фотосинтеза и ночного дыхания в лабораторных микроэкосистемах. В токсикологических исследованиях использовался метод титрации культуральной среды для определения меры воздействия альгицидных препаратов на планктонные водоросли [7].

Следует отметить, что метод определения функционального состояния водных растений по изменению рН среды не нашел широкого применения в лабораторных исследованиях, хотя ценность данного физиологического показателя в связи с присущим ему сохранением интактности делает его использование необходимым дополнением при проведении любых токсикологических экспериментов.

Анализ данных литературы показывает, что при изучении токсичности металлов (как одного из наиболее опасных классов загрязнителей) для оценки реакции водорослей и высших водных растений на их воздействие чаще всего используются такие показатели, как рост численности клеток, интенсивность фотосинтеза, количественный и качественный состав пигментов и др. Большинство исследователей для определения одного из важнейших показателей — интенсивности фотосинтеза — используют радиоуглеродный и кислородный методы [8—10].

Однако при проведении экспериментов часто необходимо производить непрерывную запись показателей, что можно сделать, например, определяя фотосинтетическую активность по изменению активной реакции водной среды. К сожалению, данный способ не практикуется в токсикологических опытах, хотя доказано, что в определенных условиях изменения рН среды инкубации могут служить показателями энергетических реакций дыхания и фотосинтеза [11]. По-видимому, исследователи не пользуются этим методом из-за его неразработанности для токсикологических экспериментов. На наш взгляд, такой метод мог бы широко использоваться для экспресс-анализа функционального состояния фотосинтезирующих организмов в условиях действия повреждающих факторов, конечно, в виде модифицированного по отношению к описанным ранее способам определения первичной продукции. Это и побудило нас подробно исследовать закономерности изменения рН среды в культуре микроводорослей в норме и при воздействии токсикантов.

Объектом исследования служила альгологически и бактериально чистая культура зеленых водорослей *Chlorella pyrenoidosa*, широко распространенная в фитопланктоне пресных вод.

Подсчет общего количества клеток водорослей производили нефелометрически и путем прямого счета в камере Горяева. Соотношение живых и мертвых клеток в культуре определяли прямым счетом с помощью люминесцентного микроскопа МЛ-2А. Показатель рН среды измерялся электрометрическим методом, запись производили с помощью самопишущего потенциометра КСП-4. Скорость фотосинтеза оценивалась по количеству меченого минерального углерода, включенного в растительную клетку в процессе фотосинтеза. Изотоп C^{14} добавляли в склянки в виде раствора карбоната натрия $NaH^{14}CO_3$. После окончания экспозиции содержимое склянок отфильтровывалось через мембранные фильтры «Синпор» N5 с диаметром пор 0,6 мкм. Дальнейшая обработка фильтров проводилась стандартным способом. Фильтры промывались фильтрованной водой (20—25 мл), 1%-ным раствором соляной кислоты, и, повторно, фильтрованной водой (2 раза по 25 мл), затем высушивались и хранились в эксикаторах с силикагелем. Определение активности фильтров проводилось методом жидкостной сцинтилляции.

При культивировании водорослей в отсутствие продува и протока, в частности, при длительном стерильном ведении культуры, рН среды быстро и заметно сдвигается в щелочную зону, достигая за несколько дней некоторого стационарного значения. В первые дни развития культуры, до выхода величины рН на плато, интенсивность фотосинтеза водорослей, по-видимому, может быть оценена по скорости сдвига рН среды. При установлении стационарного уровня, который, как показали опыты, например, в культуре *Chl. pyrenoidosa*, достигает 9,0—10,0 единиц рН и поддерживается более двух недель, значение рН среды становится основным фактором, регулирующим уровень фотосинтеза: в щелочной зоне клетки переходят на бикарбонатное питание, которое энергетически менее выгодно, поскольку в цикле Кальвина фиксируется лишь CO_2 , а ион OH^- должен быть выведен из клетки. Подсчитано, что в среде с величиной рН, равной 11,0 единицам, для выведения 1 моль OH^- расходуется 1 моль АТФ [11]. Поэтому после установления стационарного уровня рН увеличение числа фотосинтезирующих клеток возможно только за счет снижения интенсивности фотосинтеза каждой клетки, то есть интенсивность фотосинтеза каждой клетки становится обратно пропорциональной плотности культуры. Снижение интенсивности фотосинтеза связано не только с увеличением рН, но и с ухудшением состояния культуры, ее старением, однако потенциальные возможности клетки к фотосинтезу могут оставаться достаточно высокими и могут быть использованы как показатели функционального состояния культуры [12].

В работе приведены результаты определения относительного фотосинтеза в контрольных и опытных (с добавлением ионов тяжелых металлов) культурах *Chl. pyrenoidosa* по интенсивности скорости сдвига рН среды в первые дни роста водорослей, а также при двухчасовой экспозиции небольших проб культуры, предварительно адаптированной к темноте, на всех стадиях ее развития.

Многочисленные измерения рН среды культивирования водорослей с различными интервалами времени показали, что в течение первых нескольких дней про-

исходит быстрое постоянное увеличение рН, достигающее уровня рН, равного 9—10 единицам. На рис. 1 представлена динамика рН среды в культуре *Chl. pyrenoidosa*. На пятый день культивирования указанный показатель в контроле достигает значения рН ~10 и удерживается в течение двух недель, затем среда начинает подкисляться, что, по-видимому, связано со старением культуры. При добавлении к культуре CdCl_2 в концентрации 100,0 мг/л, вызывающей гибель культуры, рН среды изменяется мало. При воздействии менее токсичной концентрации (10,0 мг/л) происходит рост значений рН, однако в меньшей степени, чем в контроле и при действии более слабых растворов токсикантов.

В экспериментах с ZnCl_2 , где первоначальная плотность посева составляла 20,0 млн кл/мл, т.е. в 10 раз больше, чем с кадмием, величина рН уже на второй день роста культуры достигает максимального значения (9,3—9,5) в контроле и опыте (концентрация 0,1; 1,0 и 10,0 мг/л) и держится на этом уровне в течение двух недель. При воздействии 100 мг/л ZnCl_2 рН среды не изменяется вообще, культура погибает.

При сравнении кривых роста рН и плотности культуры (рис. 1 и рис. 2) обращает на себя внимание тот факт, что рН среды сильно изменяется в первые два дня, когда плотность культуры еще низка.

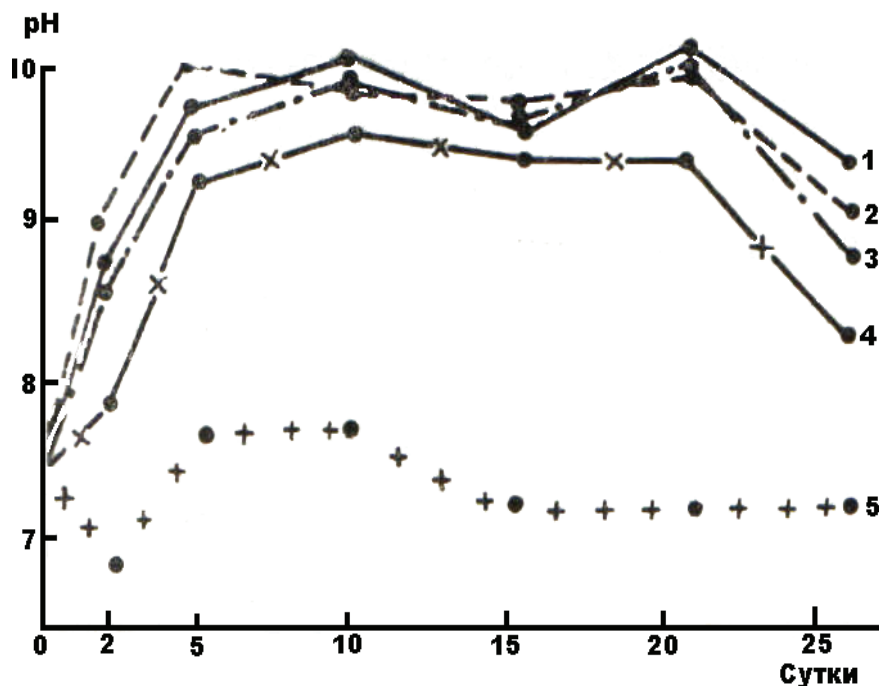


Рис. 1. Изменение рН культуральной среды *Chl. pyrenoidosa* в норме и при действии CdCl_2
 1 — контроль; 2—5 — концентрации CdCl_2 (0,1; 1,0; 10,0 и 100,0 мг/л соответственно)

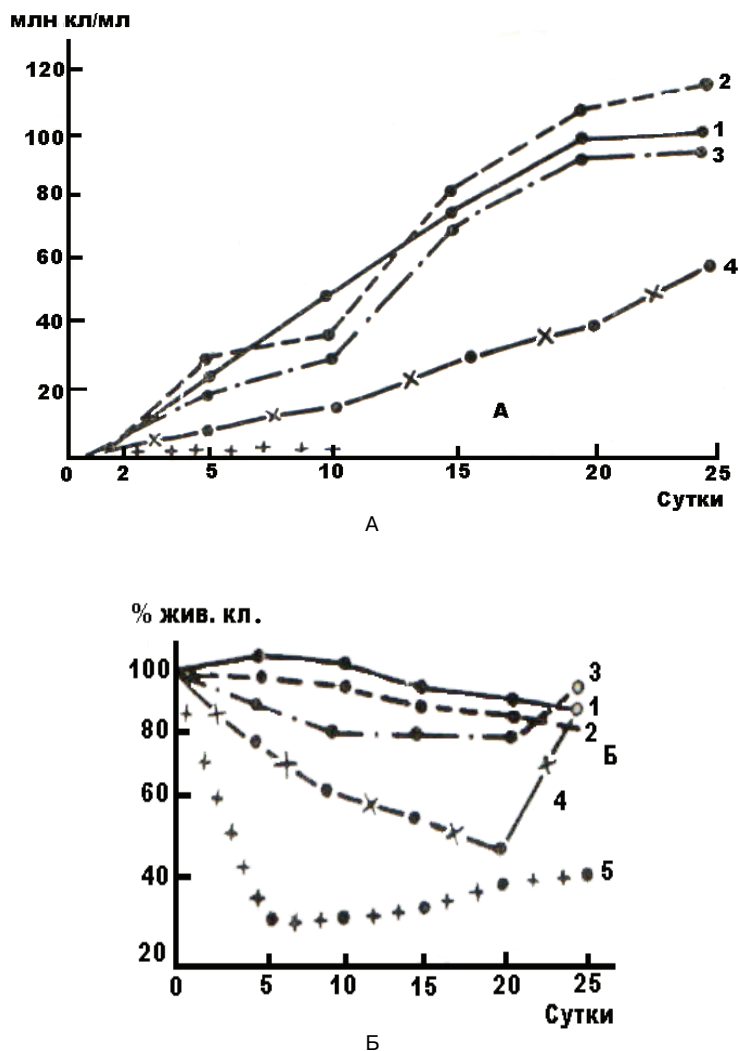


Рис. 2. Кривые роста *Chl. pyrenoidosa* в норме и при действии CdCl_2 (А); процент живых клеток (Б):
 N — численность клеток (млн/мл);
 2—5 — концентрации CdCl_2 (0,1; 1,0; 10,0 и 100,0 мг/л соответственно)

Подсчитана скорость изменения рН в первые пять дней культивирования водорослей и отнесена к плотности культуры (рис. 3).

Из приведенных данных следует, что, во-первых, скорость сдвига рН среды велика в первые дни роста культуры и снижается к пятому дню; во-вторых, наблюдается различие между контролем и опытом — на второй день в культурах с 0,1 и 1,0 мг/л CdCl_2 эти процессы идут более интенсивно, а в культуре с 10,0 мг/л — менее интенсивно, чем в контроле. К пятому дню культивирования, когда рН среды достигает максимального значения и, по-видимому, становится лимитирующим уровень фотосинтеза фактором, скорость изменения рН снижается как в контроле, так и при действии малых концентраций токсиканта (0,1 и 1,0 мг/л).

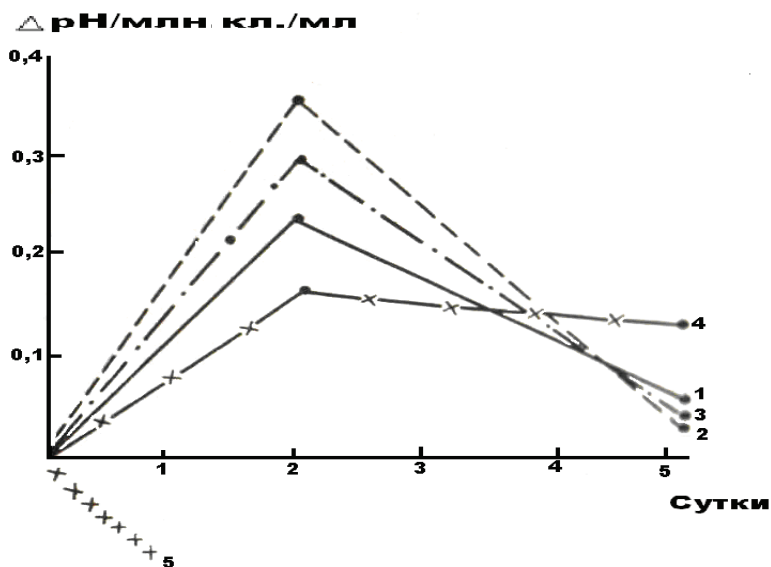


Рис. 3. Изменение отношения pH/млн. кл./мл в культуре *Chl. pyrenoidosa* в норме и при добавлении $CdCl_2$ в первые дни опыта:

1 — контроль; 2—5 — концентрации $CdCl_2$ (0,1; 1,0; 10,0 и 100,0 мг/л соответственно)

Во второй серии экспериментов культуры на разных этапах роста сравнивали по изменению pH среды при двухчасовой световой экспозиции отобранных проб. Поскольку культуральные среды имели разные значения pH, особенно на разных этапах культивирования водорослей, то в отобранных пробах (30 мл) после полуторачасовой темновой адаптации искусственно устанавливали исходный уровень pH, равный 7,5. При освещении среды (3000 люкс) происходит быстрый рост pH, в отдельных опытах превышающий 1 единицу pH в час. На рис. 4 приведена запись изменения pH в контрольной пробе *Chl. pyrenoidosa*. Разницу между конечным значением pH в пробах и исходным значением pH (ΔpH) условно назвали «световой реакцией».

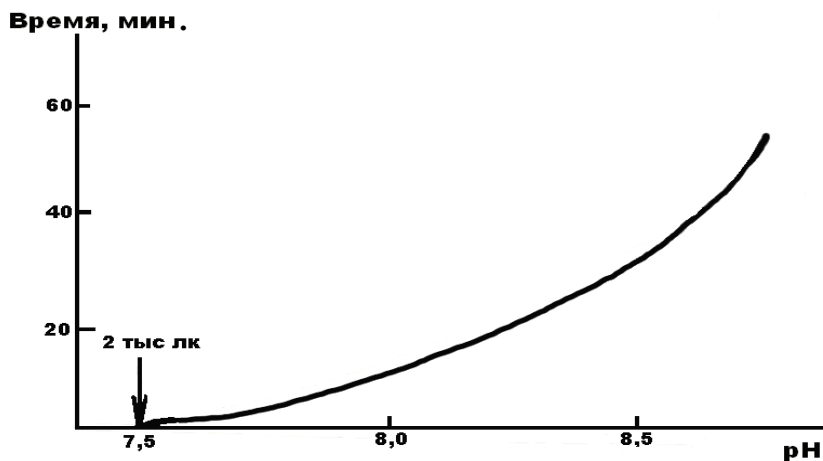


Рис. 4. Запись динамики pH в культуре *Chl. Pyrenoidosa* при освещении («световая реакция»)

Рассчитанное отношение величины изменения рН к плотности культуры (рис. 5) показывает, что по мере роста культуры изменение рН в расчете на единицу плотности в контроле падает (эти результаты сходны с данными по измерению включения метки ^{14}C , показывающими падение интенсивности включения ^{14}C по мере роста культуры).

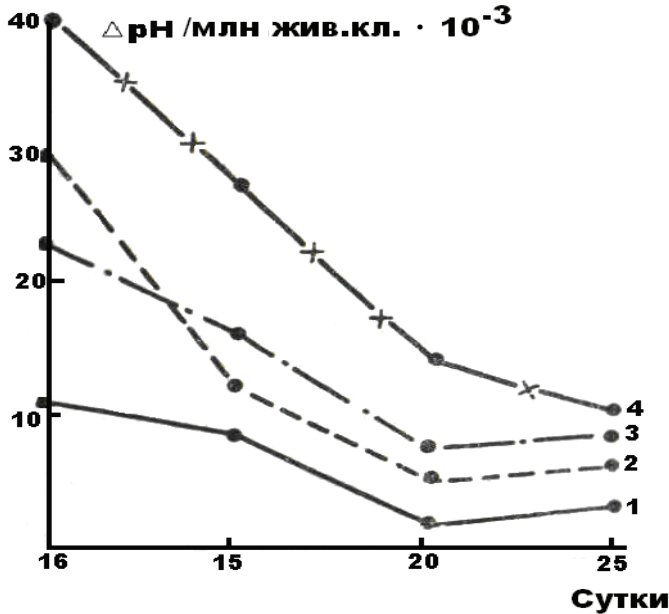


Рис. 5. «Световая реакция» в контрольных и опытных образцах *Chl. pyrenoidosa*:
1 — контроль; 2—4 — концентрации CdCl_2
(0, 1; 1,0 и 10,0 мг/л соответственно)

При искусственном подкислении культуральной среды возможности фотосинтеза на единицу плотности культуры выше в пробах с токсикантами, чем в контрольных. Так, на десятый день эксперимента в культуре, выращиваемой с добавкой 10,0 мг/л CdCl_2 , «световая реакция» более чем в 4 раза, а при 0,1 и 1,0 мг/л — более чем вдвое превышает таковую в контроле. По мере роста культуры различие между контролем и опытом постепенно уменьшается, что соответствует увеличению плотности культуры.

Сравнение величин «световой реакции» и плотности культуры указывает на зависимость между ними, близкую обратно пропорциональной: на десятый день эксперимента численность клеток в контроле почти в 5 раз больше, чем в опыте с 10,0 мг/л CdCl_2 , а «световая реакция» в 4 с лишним раза слабее.

Таким образом, можно предположить, что наблюдаемая стимуляция «световой реакции», непосредственно связанной с фотосинтезом клеток, подверженных воздействию токсикантов, обусловлена в основном вторичными причинами — влиянием ядов на плотность культуры, а не их прямым действием на фотосинтез [13].

Приведенные данные свидетельствуют о том, что по мере развития культуры микроводорослей рН среды сдвигается в щелочную сторону, при этом наступает ограничение фотосинтетической активности клеток и роста культуры, возможно, из-за защелачивания среды, вызывающей дефицит энергии в клетках. Для проверки этого предположения были поставлены две серии экспериментов с *Chl. pyrenoidosa* с добавлением ядов в тех же концентрациях, что и в предыдущих опытах, но в одной из серий рН среды ежедневно искусственно доводили до исходного уровня, равного значению 7,5 с помощью 0,01 Н соляной кислоты. Из результатов экспериментов следует, что при выращивании культуры в условиях оптимального значения рН ее плотность становится вдвое выше, а ход кривой роста культуры, представленной на рис. 6 (Б), имеет четкую S-образную форму. Сама же культура становится намного более чувствительной к действию ядов. Все три кривые, характеризующие рост культур с добавлением токсикантов в концентрациях от 10,0 до 0,1 мг/л, расположены значительно ниже контроля, хотя, согласно данным рис. 6 (А), токсичной можно было бы считать лишь концентрацию 10,0 мг/л.

Приведенный экспериментальный материал свидетельствует о том, что в первые дни роста культуры происходит быстрое увеличение рН среды, связанное с фотосинтезом клеток, причем наиболее интенсивно этот процесс происходит в начальную фазу роста, когда плотность культуры еще мала. Сравнение этих результатов с данными по включению ^{14}C показало сходную картину: включение метки ^{14}C происходит более интенсивно на вторые сутки роста культуры, чем, например, на пятые. В последующий период роста культуры рН достигает некоторого высокого значения, сохраняющегося длительное время. Известно, что в щелочной зоне рН резко снижается включение ^{14}C , т.е. подавляются реакции фотосинтеза [11]. Как следует из полученных данных, способность культуры увеличивать рН среды также снижается при достижении высоких его значений (см. рис. 3). Уменьшение продукции из расчета на одну клетку, как это наблюдается в культуре микроводорослей после нескольких дней ее культивирования, по-видимому, связано с моментом установления максимального значения рН. Наши данные с меткой ^{14}C подтверждают такое предположение, а это означает, что измеренные в подобных культурах величины продукции заведомо будут заниженными. Таким образом, при культивировании водорослей без продува возрастает роль рН и его ингибирующее действие на физиологическое состояние культуры. Одним из способов улучшения состояния культуры и увеличения ее чувствительности к повреждающим агентам (что необходимо при проведении токсикологических экспериментов) является периодическое подкисление среды.

Наличие обратной зависимости между плотностью культуры и способностью каждой отдельной клетки влиять на рН среды дает основание предположить, что уменьшение плотности культуры при отравлении позволяет усилить интенсивность фотосинтеза каждой клетки водорослей и выжить в стрессовых условиях, что может рассматриваться как адаптивная реакция микроводорослей на воздействии токсикантов.

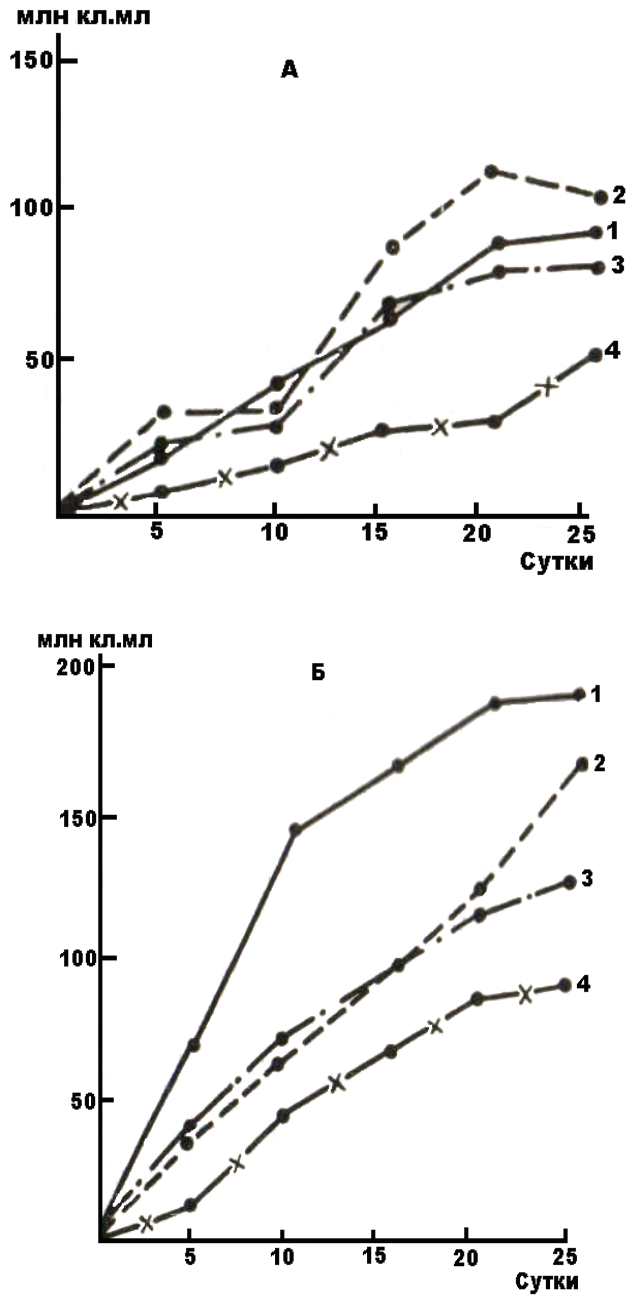


Рис. 6. Рост *Chl. pyrenoidosa*:

А — при стандартном культивировании; Б — при ежедневном подкислении среды до исходного значения рН = 7,5; N — численность клеток (млн/мл); 1 — контроль; 2—4 — концентрации CdCl₂ (0,1; 1,0 и 10,0 мг/л соответственно)

Определение фотосинтеза по изменению рН культуральной среды достаточно хорошо характеризует направленность изменений фотосинтетических процессов в культуре микроводорослей.

Таким образом, на основании полученных результатов установлено следующее:

— в непроточной культуре *Chl. pyrenoidosa* в фазе экспоненциального роста происходит быстрое увеличение рН среды, связанное с активацией процесса фотосинтеза в клетках;

— по достижении стационарного уровня рН высокая щелочность среды становится одним из важных факторов, угнетающих реакции фотосинтеза и ухудшающих состояние культуры в целом;

— интенсивность фотосинтеза в расчете на единицу плотности падает с увеличением плотности культуры и ее старением;

— возможно, что стимулирующее реакции фотосинтеза действие солей кадмия и цинка в определенных концентрациях является в основном вторичным процессом, связанным с уменьшением плотности культуры, а не их непосредственным влиянием на фотосинтез;

— при ежедневном искусственном доведении рН культуральной среды до нормы чувствительность культуры к ядам увеличивается;

— метод определения фотосинтетической активности водорослей по изменению рН среды позволяет достаточно просто оценивать и сравнивать интенсивность фотосинтетических процессов в токсикологическом эксперименте и производить непрерывную запись показателей.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Горюнова С.В. Закономерности процесса антропогенной деградации водных объектов: Автореф. дисс. ... докт. биол. наук. — М.: МГУ, 2006.
- [2] Сиренко Л.А. Влияние антропогенных воздействий на состояние водных экосистем // 2 Всесоюзная школа по экологической химии водной среды. — М.: Изд-во Ин-та хим. физ. АН СССР, 1988. — С. 79—95.
- [3] Горюнова С.В., Пономаренко С.Ф. Использование зеленых водорослей для индикации токсического действия тяжелых металлов // Тезисы докл. конф. «Актуальные проблемы комплексного изучения природы и хозяйств южных районов Узбекистана». — Карши УзССР, 1991. — С. 7.
- [4] Абакумов В.А., Калабеков А.Л. Планетарная экологическая система. — М.: Типография Россельхозакадемии, 2002.
- [5] Горюнова С.В. Фотоиндуцированное изменение рН среды как интегральный метод контроля природных и сточных вод: Материалы международной конф. «Новые технологии в защите биоразнообразия в водных экосистемах». — М.: МГУ, 27—29 мая 2002. — С. 97.
- [6] Плеханов С.Е., Пиментел Ф.Х., Горюнова С.В., Чемерис Ю.К. Ранняя диагностика токсического действия тяжелых металлов на зеленые микроводоросли по их фотосинтетическим характеристикам // «Водные экосистемы и организмы-6»: Матер. междунауч. конф. МГУ. — М.: МАКС Пресс, 2004. — С. 87—88.
- [7] Полищук Р.А. К вопросу о выборе тестов для оценки альгицидности ядов (фотосинтез, дыхание и фотосинтетические пигменты) // Биология моря. — Киев, 1975. Вып. 35. — С. 58.
- [8] Wong R.T.S., Chan J.K., Zuxon P.L. Toxicity of a mixture of metals on freshwater algae // J. Fish. Res. Board. Can. 1998. V. 35. N 4. P. 479—481.

- [9] Федоров В.Д., Капков В.И. Гидробиологический практикум. Ч. 2. Методы определения биологической продуктивности. — М.: Христианское изд-во, 1999.
- [10] Семин В.А. Основы рационального водопользования и охраны водной среды: учеб. пособие для студентов вузов. — М.: Высшая школа, 2001.
- [11] Скулачев В.П. Трансформация энергии в биомембранах. — М.: Наука, 1972.
- [12] Горюнова С.В., Воробьева И.А. Применение метода рН-метрии для определения физиологического состояния культуры *Chlorella pyrenoidosa* // Тез. докл. МОИП: зоология и ботаника (I полугодие 1979 г.). Изд. МГУ, 1979. — С. 33—34.
- [13] Горюнова С.В. Методы биотестирования в охране природных вод // Материалы научн. конф. Аграрного ф-та «Аграрный сектор и его современное состояние». — М.: Изд. РУДН, 2002. — С. 87—89.

LITERATURA

- [1] Gorjunova S.V. Zakonomernosti processa antropogennoj degradacii vodnyh ob#ektov: Avto-ref. diss. ... dokt. biol. nauk. — M.; MGU, 2006.
- [2] Sirenko L.A. Vlijanie antropogennyh vozdejstvij na sostojanie vodnyh jekosistem // 2 Vsesojuznaja shkola po jekologicheskoj himii vodnoj sredy. — M.: Izd-vo In-ta him. fiz. AN SSSR, 1988. S. 79—95.
- [3] Gorjunova S.V., Ponomarenko S.F. Ispol'zovanie zelenyh vodoroslej dlja indikacii toksicheskogo dejstvija tjazhelyh metallov // Tezisy dokl. konf. «Aktual'nye problemy kompleksnogo izuchenija prirody i hozjajstv juzhnyh rajonov Uzbekistana». — Karshi UzSSR, 1991. — S. 7.
- [4] Abakumov V.A., Kalabekov A.L. Planetarnaja jekologicheskaja sistema. — M.: Tipografija Rossel'hozakademii, 2002.
- [5] Gorjunova S.V. Fotoinducirovannoe izmenenie rN sredy kak integral'nyj metod kontrolja prirodnyh i stochnyh vod // Materialy mezhdunarodnoj konf. «Novye tehnologii v zashhite bioraznoobrazija v vodnyh jekosistemah». — M.: MGU, 27—29 maja 2002. — S. 97.
- [6] Plehanov S.E., Pimentel F.H., Gorjunova S.V., Chemeris Ju.K. Rannaja diagnostika toksicheskogo dejstvija tjazhelyh metallov na zelenye mikrovodorosli po ih fotosinteticheskim harakteristikam // «Vodnye jekosistemy i organizmy-6» Mater. mezhdun. nauch. konf. MGU. — M.: MAKS Press, 2004. — S. 87—88.
- [7] Polishhuk R.A. K voprosu o vybore testov dlja ocenki al'gicidnosti jadov (fotosintez, dyhanie i fotosinteticheskie pigmenty) // Biologija morja. — Kiev, 1975. Vyp. 35. — S. 58.
- [8] Wong R.T.S. Chan J.K., Zuxon P.L. Toxicity of a mixture of metals on freshwater algae // J. Fish. Res. Board. Can. 1998. V. 35. N 4. P. 479—481.
- [9] Fedorov V.D., Kapkov V.I. Gidrobiologicheskij praktikum. Ch. 2. Metody opredelenija biologicheskoy produktivnosti. — M.: Hristianskoe izd-vo, 1999.
- [10] Semin V.A. Osnovy racional'nogo vodopol'zovanija i ohrany vodnoj sredy: ucheb. posobie dlja studentov vuzov. — M.: Vysshaja shkola, 2001.
- [11] Skulachev V.P. Transformacija jenerгии v biomembranah. — M.: Nauka, 1972.
- [12] Gorjunova S.V., Vorob'eva I.A. Primenenie metoda rN-metrii dlja opredelenija fiziologicheskogo sostojanija kul'tury *Chlorella pyrenoidosa* // Tez. dokl. MOIP: zoologija i botanika (I polugodie 1979 g.). Izd. MGU, 1979. — S. 33—34.
- [13] Gorjunova S.V. Metody biotestirovanija v ohrane prirodnyh vod // Materialy nauchn. konf. Agramogo f-ta «Agramnyj sektor i ego sovremennoe sostojanie». — M.: Izd. RUDN, 2002. — S. 87—89.

ASSESSMENT OF THE FUNCTIONAL CONDITION OF WATER PLANTS AT CHEMICAL POLLUTION OF THE ENVIRONMENT

S.V. Goryunova

Moscow City Teachers' Training University
2nd Sel'skokhozyaystvenny Proezd, 4, Moscow, Russia, 129226

Research results of functional condition assessment of green algas with heavy metals impact on them are analyzed. It is shown that method of photosynthetic activity determination of algas by pH environment change allows to estimate and compare intensity of photosynthetic processes in toxicological experiments rather easily.

Key words: functional condition of water plants, active reaction of the cultural environment (pH), toksikant, biotesting.