

БИОФИЗИКА

УДК 574.5+577.355

ОТБОР ВИДОВ ВОДОРΟΣЛЕЙ В СОСТАВ ЛАБОРАТОРНОГО АЛЬГОЦЕНОЗА ПО ИХ ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИМ И БИОФИЗИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

П.В. Фурсова*, Е.Н. Воронова, А.П. Левич, Д.В. Рисник, С.И. Погосян

Кафедра биофизики, биологический факультет, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова;
Россия, 119234, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12

*e-mail: fursova@biophys.msu.ru

Биоиндикаторами состояния водных систем могут служить различные характеристики сообществ фитопланктона. Для создания модели природной экосистемы, которая позволит проводить многофакторные эксперименты по влиянию физико-химических факторов на биофизические и гидробиологические характеристики фитопланктона, необходим подбор соответствующих видов микроводорослей. Проведенное исследование позволило из имеющихся в музее видов выбрать шесть для создания модельного альгоценоза. Было установлено, что для оптимального роста всех этих видов необходимы схожие условия эксперимента (световой и температурный режимы, содержание элементов питания). В качестве базовой среды предложено использовать среду с пониженным содержанием азота. В таких условиях клетки микроводорослей нормально функционируют и делятся, при этом длительность достижения стационарной стадии роста (10–15 сут), на которой завершают эксперимент, позволяет проводить большое число таких экспериментов с минимальными затратами времени. Клетки отобранных видов обладают морфологическими различиями, достаточными для автоматизированной идентификации их в поликультуре. Получены геометрические характеристики клеток для компьютерного подсчета численности каждого вида сообщества по микрофотографиям.

Ключевые слова: фитопланктон, лабораторный альгоценоз, флуоресценция, безазотная среда, морфология клеток, численность клеток, световая кривая

Состав и функциональное состояние сообществ фитопланктона являются одними из наиболее распространенных биоиндикаторов для оценки благополучия водных экосистем. Это обусловлено тем, что клетки микроводорослей быстро реагируют на изменение качества водной среды. При этом они составляют основу пищевой цепи и, следовательно, оказывают влияние на состояние всех трофических уровней. В качестве биоиндикационных гидробиологических показателей могут выступать численность или биомасса (абсолютные или относительные) индикаторных видов или отделов водорослей; индексы сапробности; показатели разнообразия (в частности, параметры ранговых распределений) и доминирования; размерные характеристики сообщества — средний объем клеток, площадь поверхности клеток, соотношение численности или биомассы клеток в размерных классах [1, 2]. Определение гидробиологических показателей требует длительного времени обработки проб и большого труда высококвалифицированных альгологов. По этой причине более перспективны биофизические индикаторные показатели состояния фитопланктона, характеризующие фундаментальные процессы фотосинтеза [3–6]. Современные приборы способны измерять эти показатели с высокой точностью в режиме реального времени. Такие измерения легко могут быть компьютеризованы.

Кроме того, с помощью специализированного программного обеспечения возможна автоматизация подсчета численности клеток видов. Однако для корректной работы таких программ необходимо подобрать виды, которые хорошо отличаются друг от друга визуально. При этом колониальные формы не должны мешать подсчету численности и определению размеров отдельных клеток. В нашем музее культур по этому критерию наиболее подходящими видами являются *Anabaena variabilis*, *Ankistrodesmus falcatus*, *Scenedesmus quadricauda*, *Chlorella sorokiniana*, *Pleurochloris magna* и *Stichococcus bacillaris*.

Существование многих биоиндикационных показателей создает методическую проблему выбора среди них наиболее адекватных целям оценки состояния экосистем. Вместе с тем, для любого выбранного показателя возникает проблема установления областей значений, соответствующих благополучным и неблагоприятным состояниям биотического компонента экосистемы. Проблема поиска границ области благополучия (границ нормы) имеет два аспекта. Первый — содержательный — выяснение того, “что такое хорошо и что такое плохо” в экосистемах. Второй аспект — методико-вычислительный. Задачу установления границ нормы тем или иным образом решают в однофакторных экспериментах по изучению зависимостей “доза-эффект”, когда на тест-объект влияет единственный фак-

тор, остальные же находятся в оптимальных диапазонах. В природных объектах на биоту одновременно влияет множество факторов среды, каждый из которых, как и их взаимодействие, потенциально способен приводить к экологическому неблагополучию. В силу этого зависимость биоиндикационного показателя от каждого из факторов в отдельности (зависимость “доза-эффект”) приобретает “размытый”, неоднозначный характер. Это обстоятельство обуславливает малую эффективность привычных методов анализа зависимостей между биотическими и физико-химическими характеристиками и вызывает необходимость выработки новых подходов к анализу данных с нефункциональной зависимостью.

Для разработки методов, решающих перечисленные проблемы, необходимо создание лабораторного альгоценоза. Такая модель природного сообщества позволит проводить эксперименты по одновременному влиянию нескольких физико-химических факторов на биофизические и гидробиологические характеристики фитопланктона и определять границы области благополучного состояния экосистемы.

Целью представленного в работе исследования стал подбор видов для модельного альгоценоза, удовлетворяющих следующим критериям: способность к росту в условиях лабораторного термостатированного люминистата на выбранной для эксперимента среде; совместимость видов при культивировании в поликультуре; возможность идентификации клеток разных видов при помощи программы распознавания образов и возможность фиксировать различия клеток разных видов в поликультуре для автоматизации измерений численности и размеров клеток в пробах.

Материалы и методы

Объектами экспериментов стали следующие виды из музея культур, созданного для подбора компонентов альгоценоза:

Зеленые водоросли: *Ankistrodesmus acicularis* (A.Br.) Korsch; *Ankistrodesmus falcatus* (Corda) Ralfs; *Chlorella ellipsoidea* Gern.; *Chlorella sorokiniana* Shihira & R.W.Krauss; *Chlorococcum minutum* Starr; *Coelastrum astroideum* De Notaris; *Coelastrum morus* W. West & G.S. West; *Dictyosphaerium pulchellum* Wood; *Discipora crucigenoides* Printz; *Haematococcus* sp.; *Kirchneriella obesa* (West) Schmidle; *Kirchneriella subsolatoria* G.S. West; *Pediastrum* sp.; *Scenedesmus obliquus* (Turp.) Kutz; *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Breb.; *Scenedesmus* sp.; *Scotiella nivalis* (Schutt.) Fritsch; *Sorastrum* sp.; *Stichococcus bacillaris* Nag; *Tetraedron caudatum* (Corda) Hansgirg; *Tetraedron minimum* (A.C.Broun) Hansgirg; *Trebouxia* sp.

Охрофитовые водоросли: *Botrydium cystosum* Vischer; *Pleurochloris magna* Boye-Pet.

Цианобактерии: *Amorphonostoc* sp.; *Anabaena variabilis*; *Chroococcidiopsis* sp.; *Chroococcus globulus*; *Colo-*

thrix elenkinii Kossinsk; *Synechococcus* sp. PCC 7942; *Synechocystis* sp. PCC 6803 GT.

Культивирование водорослей. В качестве базовой среды для опытов использовали модифицированную для работы с пресноводными видами среду BG11 с добавками микроэлементов [7]. В части опытов варьировали содержание азота: использовали либо безазотную среду, либо среду с 5% или 10% азота от стандартного уровня (1,5 г/л NaNO_3). Одну серию экспериментов проводили на безфосфорной среде. Финальное значение pH приготовленной среды – 7,4. Культивирование происходило на качалке в люминистате при температуре 21°C в режиме непрерывного освещения при интенсивности света 70 мкмоль квантов/м²с. При культивировании поддерживали альгологическую чистоту культур. Культивирование проводили в накопительном режиме, питательные компоненты добавляли только при составлении среды. Стадии роста и достижение стационарной фазы контролировали по содержанию хлорофилла спектрофотометрическим методом. Колбы с культурами располагали на качалках для равномерного перемешивания суспензии. Объем колб – 100 мл (около 45 мл среды). Перед инокуляцией клетки отмывали от питательных веществ. Суспензии каждого вида водорослей разводили до достижения показателя абсорбции на длине волны 678 нм, равного 0,04. Серии проведенных опытов представлены в табл. 1.

Показатели флуоресценции хлорофилла в суспензии водорослей измеряли на флуориметре с амплитудной модуляцией возбуждающего света “Мега 25”, созданном на кафедре биофизики биологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова [8]. Измерения проводили после предварительной 15-минутной темновой адаптации водорослей. Интенсивность флуоресценции измеряли при помощи электронного фотоумножителя через фильтр КС-18, пропускающий излучение с длиной волны более 680 нм. Возбуждение флуоресценции проводили с помощью светодиодов, имеющих максимум излучения на длине волны 455 нм. Интенсивность флуоресценции хлорофилла в условиях открытых реакционных центров фотосистемы 2 (F_0) и максимальную интенсивность флуоресценции хлорофилла в условиях полностью закрытых реакционных центров фотосистемы 2 (F_m) измеряли при интенсивности возбуждающего света с плотностью 0,8 и 6000 мкмоль квантов/м²с, соответственно. Прибор позволяет проводить измерение в двух режимах – без подсветки и с подсветкой. Режим с подсветкой создает дополнительную нагрузку на фотосинтетический аппарат клетки, что позволяет вычислить скорость электронного транспорта. В работе использовали 7 уровней подсветки: 0; 10,3; 20,5; 41,0; 82,0; 164,1; 328,1 мкмоль/м²с. Измерения проведены согласно “Методике измерений обилия и индексации состояния фитопланктона флуоресцентным методом” [3, 9]. Методика аттестована: аттестат № 01.0025/205-66-11, ФР.1.39.2011.11246.

Таблица 1

Серии проведенных экспериментов с монокультурами

Серия №	Виды	N, %	P, %	Длительность эксперимента, сут
1	<i>Chlorella sorokiniana</i> , <i>Scenedesmus quadricauda</i> , <i>Synechococcus</i> sp. 7942, <i>Stichococcus bacillaris</i>	100	100	38
2	<i>Pleurochloris magna</i> , <i>Scenedesmus obliquus</i> , <i>Ankistrodesmus falcatus</i>	100	100	11
3	<i>Pleurochloris magna</i> , <i>Scenedesmus obliquus</i> , <i>Ankistrodesmus falcatus</i>	10	100	11
4	<i>Ankistrodesmus falcatus</i> , <i>Pleurochloris magna</i> , <i>Scotiella nivalis</i> , <i>Stichococcus bacillaris</i>	0	100	12–15
5	<i>Scenedesmus quadricauda</i> , <i>Chlorella sorokiniana</i> , <i>Trebouxia</i> sp., <i>Anabaena variabilis</i>	0	100	8–17
6	<i>Ankistrodesmus falcatus</i> , <i>Pleurochloris magna</i> , <i>Chlorella sorokiniana</i> , <i>Scotiella nivalis</i>	5	100	2–13
7	<i>Scenedesmus quadricauda</i> , <i>Chlorella sorokiniana</i> , <i>Trebouxia</i> sp., <i>Anabaena variabilis</i>	5	100	11–20
8	<i>Ankistrodesmus falcatus</i> , <i>Chlorella sorokiniana</i> , <i>Pleurochloris magna</i> , <i>Scenedesmus quadricauda</i> , <i>Anabaena variabilis</i>	100	0	22–35

Примечание: в столбцах N и P приведены величины начального содержания азота и фосфора в среде в процентах от величин их содержания в полной среде BG11.

Все измерения параметров флуоресценции при росте культур на безазотной и бесфосфорной среде, а также при разных уровнях подсветки проводили в трех повторностях.

Спектральные характеристики. Измерение спектров поглощения суспензий водорослей в диапазоне от 350 нм до 850 нм проводили на однолучевом спектрофотометре с интегрирующей сферой на базе спектрометра USB2000 (Ocean Optics, США). Спектр поглощения вычисляли на основании двух оптических спектров, полученных при установке кюветы с образцом на разных расстояниях от интегрирующей сферы, что позволяло определить рассеяние света на образце [10]. Допустимая погрешность измерения оптической плотности не превышает 0,005 при оптической плотности 1 во всем спектральном диапазоне.

На основе данных флуориметрии и спектрофотометрии для каждого эксперимента получили набор спектрально-оптических показателей состояния фитопланктона: D_{678} (коэффициент поглощения на длине волны 678 нм, пропорциональный плотности пигментов в культуре); R_{750} (коэффициент рассеяния на длине волны 750 нм, пропорциональный плотности клеток в культуре); F_0 ; F_m . Потенциальную эффективность первичных процессов фотосинтеза Y вычисляли по формуле: $Y = (F_m - F_0) / F_m = F_v / F_m$, где $F_v = F_m - F_0$ – переменная флуоресценция. Скорость транспорта электронов через фотосистему 2 (ETR – *electron transport rate*) при облучении объекта светом интенсивностью I_k рассчитывали как $ETR = I_k \cdot Y$.

В результате для методических экспериментов отобрали 10 видов: *Chlorella sorokiniana*, *Scenedesmus quadricauda*, *Synechococcus* sp. 7942, *Pleurochloris magna*, *Scenedesmus obliquus*, *Ankistrodesmus falcatus*, *Scotiella nivalis*, *Trebouxia* sp., *Anabaena variabilis*, *Stichococcus bacillaris*. Для каждой из монокультур проводили измерения индукционных кривых флуоресценции и спектров поглощения света.

Численность клеток определяли прямым подсчетом в камере Горяева. Количество просчитываемых “квадратов” в камере зависело от плотности суспензии. В каждой пробе просчитывали от 100 до 500 клеток. Содержимое камеры Горяева фотографировали при помощи микроскопа Люмам (ЛЮМО, Россия) с камерой DCM310 Microscope CMOS Camera (Китай). Фотографированию предшествовал период оседания клеток в камере (10 мин.), чтобы фокусировка микроскопа охватила слой, в который попали клетки из всего объема камеры. Для каждой пробы было сделано от 10 (на этапах, когда численность была высока) до 20 (на этапах, когда численность была мала) фотографий различных полей зрения. Площади поверхности клеток рассчитаны по средним размерам и геометрическим приближениям форм клеток (эллипсоиды, конусы, круговые цилиндры [11]).

Для автоматического подсчета клеток была выбрана программа Fiji [12], базирующаяся на программном обеспечении ImageJ 1.49f. Фотоснимки поля зрения камеры микроскопа передавались на монитор компьютера. Зеленый канал полученных цветных снимков, как наименее зашумленный и наиболее контрастный, преобразовывался в черно-белые изображения. Анализируя их, программа определяла численность и средние размеры клеток вида в монокультуре, считая, что черные области – это клетки или посторонний мусор, а все белые области – среда. Черные области, отвечающие характеристикам клеток вида, относили к клеткам, остальные области относили к частицам мусора.

Для получения корректных данных была необходима предварительная настройка программы для идентификации клеток различных видов, которую проводили по снимкам монокультур. В частности, применяли фильтры размытия либо увеличения резкости, алгоритмы разбиения колониальных форм на отдельные клетки и заполнения светлых внутри-

клеточных областей черным цветом (для правильного измерения площади, занимаемой клеткой на снимке).

Результаты и обсуждение

Предварительно все виды имеющихся в нашем распоряжении водорослей и цианобактерий были проверены на пригодность к росту в выбранных условиях культивирования и совместимость в поликультуре. Часть видов (виды родов *Coelastrum*, *Dictyosphaerium*, *Pediastrum*, *Sorastrum*, *Amorphonostoc*, *Colothrix*) образуют колонии или являются нитчатыми формами и не подходят для автоматизированного подсчета клеток. Виды родов *Dispora*, *Haematococcus*, *Botrydium* не образуют однородной суспензии при культивировании в жидкой среде, что существенно затрудняет измерения параметров

флуоресценции и спектров поглощения. Клетки части видов (родов *Chlorococcum*, *Kirchneriella*, *Tetraedron*, *Chroococcus*, *Chroococcidiopsis*) при культивировании в поликультуре неудовлетворительно распознаются при автоматическом подсчете с помощью компьютерной программы.

Работа со снимками клеток в монокультурах дала возможность получить значения параметров, которые позволят при дальнейшей работе с альгоценозами распознавать и подсчитывать клетки разных видов (табл. 2).

Виды, отобранные по морфологическим признакам, демонстрируют удовлетворительный рост на базовой среде BG11 (рис. 1).

Измерение параметров флуоресценции в процессе культивирования позволило рассчитать *ETR* при облучении водорослей светом различной интенсивности (рис. 2). В соответствии с получен-

Таблица 2

Параметры работы программы Fiji, необходимые для распознавания клеток различных видов при микроскопическом анализе

Вид	Площадь клетки, мкм ²	“Circularity” – близость формы границы клетки к кругу
<i>Anabaena variabilis</i>	6,5–29	0,60–1,00
<i>Ankistrodesmus falcatus</i>	7,2–110	0,00–0,75
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	21–220	0,10–0,80
<i>Chlorella sorokiniana</i>	0,7–17,9	0,70–1,00
<i>Pleurochloris magna</i>	18–110	0,70–1,00
<i>Stichococcus bacillaris</i>	5–25	0,50–0,90

Примечание: если проекция клетки на фотографии не имеет ничего общего с кругом, например, представляет из себя правильный прямоугольник, – показатель равен 0, если проекция клетки выглядит как правильный круг, показатель равен 1.

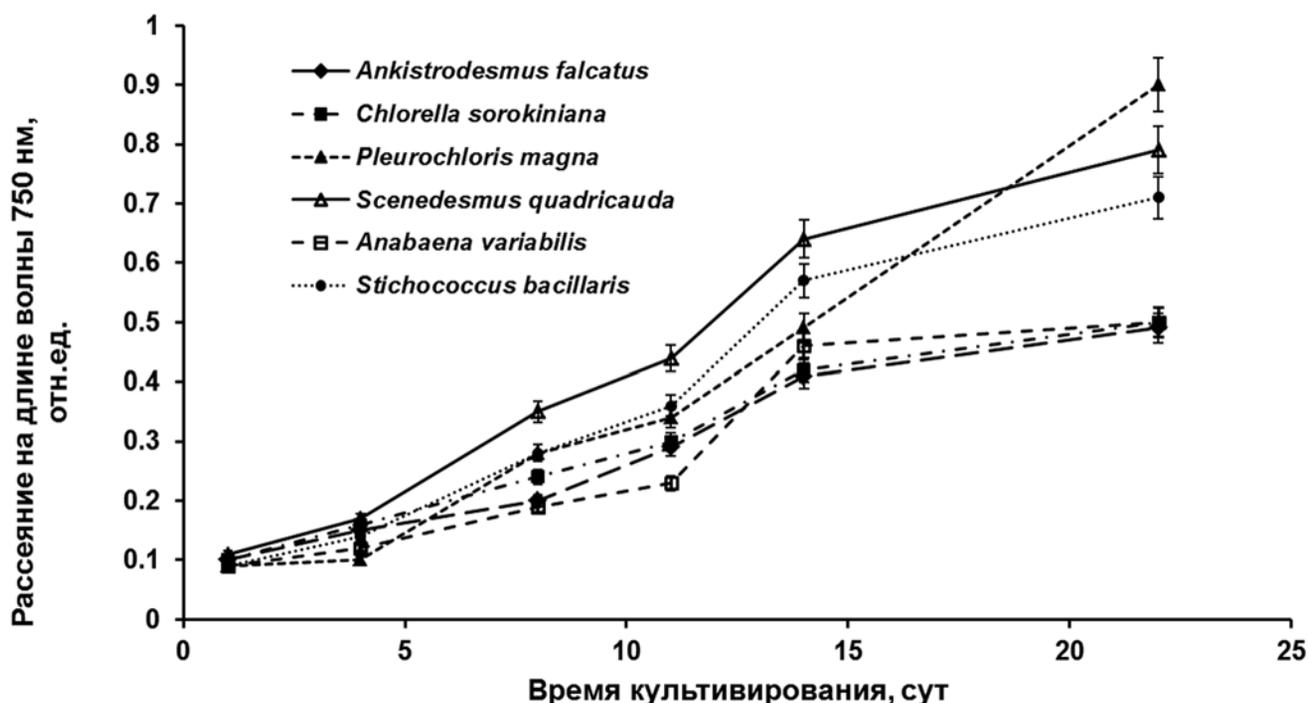


Рис. 1. Изменение значений рассеяния на длине волны 750 нм (R_{750}) в суспензии клеток микроводорослей в процессе роста монокультур на полной среде BG11

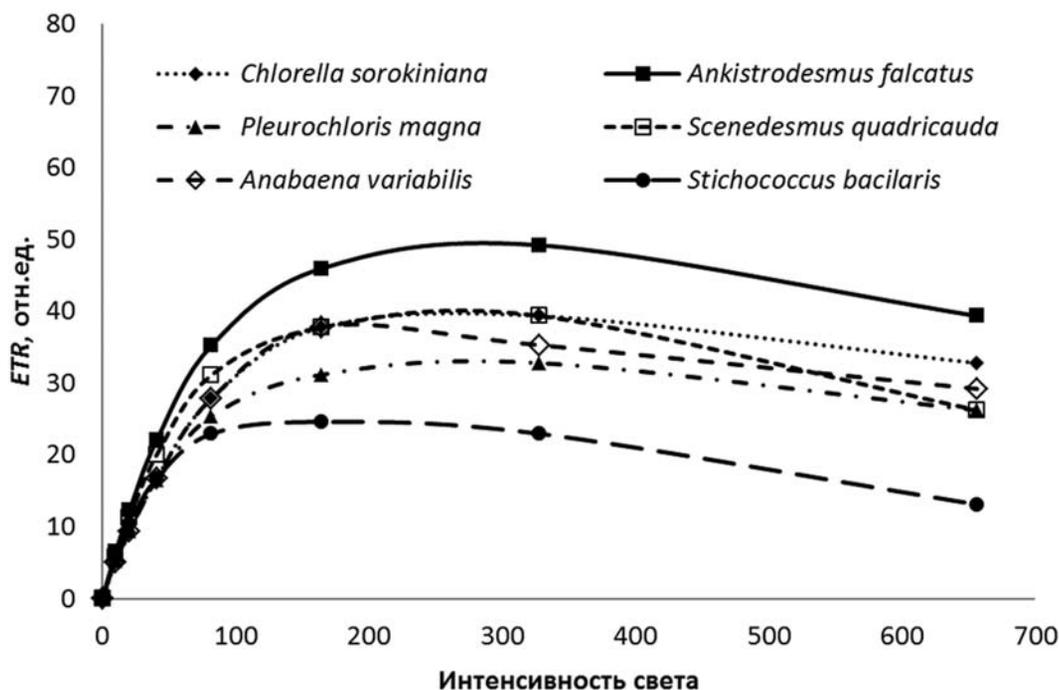


Рис. 2. Зависимость величины скорости электронного транспорта (ETR) от освещенности при культивировании монокультур на полной среде BG11

ными световыми кривыми (зависимостями ETR от интенсивности освещения) представляется целесообразным использовать освещенность в 70 мкмоль квантов/м²с.

Процесс “потребление-рост” у фитопланктона проходит в несколько дискретных стадий [13]:

- потребление питательных веществ без деления клеток, т.е. создание внутриклеточных запасов веществ;
- потребление веществ из среды и деление клеток пропорционально количеству потребленного вещества до истощения вещества в среде;
- деление клеток за счет внутриклеточных запасов, пока их содержание не сократится до некоторой видоспецифической величины минимальной клеточной квоты.

Последняя стадия имеет место в основном за счет внутриклеточных запасов азота и фосфора, которые достаточно существенны: нерастраченных запасов азота хватает на несколько делений клеток без потребления азота из среды, а запасов фосфора — на несколько десятков делений [13]. Указанное обстоятельство приводит к тому, что при накопительном культивировании на полной среде BG11 стационарная стадия бывает достигнута (в первую очередь за счет контактного торможения деления) через много недель после инокуляции клеток. Так, эксперименты по выращиванию монокультур *Chlorella sorokiniana*, *Scenedesmus quadricauda*, *Synechococcus* sp. 7942 на полной среде BG11 длились 38 сут (табл. 1).

Для сокращения сроков эксперимента была применена методика истощения минерального питания при культивировании монокультур и выращивания на обеднённых по питательным веществам

средах. Истощение состоит в выращивании на безфосфорной или безазотной среде до истощения внутриклеточных запасов. Культивирование на обеднённой среде приводит к меньшему (по сравнению с ситуацией на полной среде) сроку достижения стационарной стадии. Например, монокультура *Chlorella sorokiniana* достигает стационарной стадии на безазотной среде за 7 сут, на среде с содержанием азота, уменьшенным в 20 раз по отношению к полному, — в среднем за 13 сут, на безфосфорной — за 28 сут. Сокращение длительности эксперимента в дальнейшем позволит в более короткие сроки проводить серии исследований по изучению негативного воздействия различных факторов на состояние модельного альгоценоза.

Результаты культивирования показали, что отобранные виды можно выращивать как на безазотной (или обеднённой по азоту) среде, так и на безфосфорной. Предварительно истощенные клетки, с поверхности которых были отмыты абсорбированные биогенные элементы, после пересева на такие среды возобновляли рост, культура со временем достигала стационарной стадии. Отметим, что после истощения биогенных элементов в среде число делений клеток на внутриклеточных запасах азота существенно меньше, чем на внутриклеточных запасах фосфора. Так, длительность достижения стационарной стадии роста на безазотной и безфосфорной средах для *Ankistrodesmus falcatus* составила 8 и 22 сут, соответственно, для *Pleurochloris magna* — 10 и 25 сут. Поэтому использование в дальнейших опытах с модельным альгоценозом сред, обеднённых по азоту, а не фосфору, позволит сократить длительность каждого эксперимента.

Таким образом, проведенное исследование позволило из имеющихся в музее видов выбрать шесть

для создания модельного альгоценоза: *Ankistrodesmus falcatus*, *Anabaena variabilis*, *Chlorella sorokiniana*, *Scenedesmus quadricauda*, *Pleurochloris magna*, *Stichococcus bacillaris*. В качестве базовой среды предложено использовать среду BG11 с пониженным содержанием азота.

Морфология клеток видов, отобранных для дальнейших опытов, позволяет автоматизировать идентификацию каждого из них в поликультуре. Для измерения численности и размеров клеток в моно- и поликультурах может быть использована программа распознавания образов Fiji.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Bellinger E.G., Sigeo D.C.* Freshwater algae: Identification and use as bioindicators. Chichester: Wiley-Blackwell, 2010. 284 p.
2. *Dokulil M.T.* Algae as ecological bioindicators // *Bioindicators & biomonitoring: Principles, concepts, and applications* / Eds. B.A. Markert, A.M. Breure, and H.G. Zechmeister. Oxford: Elsevier, 2003. P. 285–329.
3. *Konyukhov I.V., Selina M.S., Morozova T.V., Pogosyan S.I.* Experience of continuous fluorimetric monitoring of phytoplankton at a mooring station // *Oceanology*. 2012. Vol. 52. N 1. P. 130–140.
4. *Falkowski P.G., Kolber Z.* Variations in chlorophyll fluorescence yields in phytoplankton in the world oceans // *Plant Physiol*. 1995. Vol. 22. N 2. P. 341–355.
5. *Buschmann C.* Photochemical and non-photochemical quenching coefficients of the chlorophyll fluorescence: comparison of variation and limits // *Photosynthetica*. 1999. Vol. 37. N 2. P. 217–224.
6. *Beutler M., Wiltshire K.H., Meyer B., Moldaenke C., Luring C., Meyerhofer M., Hansen U.-P., Dau H.* A fluorimetric method for the differentiation of algal populations in vivo and in situ // *Photosynth. Res*. 2002. Vol. 72. N 1. P. 39–53.
7. *Allen M.M.* Simple conditions for growth of unicellular blue-green algae on plates // *J. Phycol.* 1968. Vol. 4. N 1. P. 1–4.
8. *Погосян С.И., Гальчук С.В., Казимирко Ю.В., Конюхов И.В., Рубин А.Б.* Применение флуориметра “МЕГА-25” для определения количества фитопланктона и оценки

Авторы благодарят сотрудников коллекции микроорганизмов лаборатории микробиологии СПбГУ (CALU), Института физиологии растений РАН, Института биологии внутренних вод РАН, а также кафедр биофизики и микробиологии биологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова за любезно предоставленные для музея культуры. Кроме того, авторы признательны Е.С. Кузнецовой и П.А. Бобыреву за помощь в работе.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 15-04-02601).

состояния его фотосинтетического аппарата // *Вода: химия и экология*. 2009. N 6. С. 34–40.

9. *Маторин Д.Н., Осипов В.А., Яковлева О. В., Погосян С.И.* Определение состояния растений и водорослей по флуоресценции хлорофилла. М.: Макс-Пресс, 2010. 116 с.

10. *Merzlyak M.N., Naqvi K.R.* On recording the true absorption and scattering spectrum of a turbid sample: application to cell suspensions of the cyanobacterium *Anabaena variabilis* // *J. Photochem. Photobiol. B Biol*. 2000. Vol. 58. N 2. P. 123–129.

12. *Sun J., Liu D.* Geometric models for calculating cell biovolume and surface area for phytoplankton // *J. Plankton Res*. 2003. Vol. 25. N 11. P. 1331–1346.

13. *Schindelin J., Arganda-Carreras I., Frise E. et al.* Fiji: an open-source platform for biological-image analysis // *Nature Methods*. 2012. Vol. 9. N 7. P. 676–682.

14. *Левич А.П., Ревкова Н.В., Булгаков Н.Г.* Процесс “потребление-рост” в культурах микроводорослей и потребности клеток в компонентах минерального питания // *Экологический прогноз*. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1986. С.132–139.

Поступила в редакцию
04.07.2017 г.

Принята к печати
09.09.2017 г.

BIOPHYSICS

SELECTION OF SPECIES FOR THE LABORATORY ALGAL COMMUNITY BY THEIR HYDROBIOLOGICAL AND BIOPHYSICAL CHARACTERISTICS

P.V. Fursova^{*}, *E.N. Voronova*, *A.P. Levich*, *D.V. Risnik*, *S.I. Pogosyan*

*Department of Biophysics, School of Biology,
Lomonosov Moscow State University, Leninskiye gory 1–12, Moscow, 119234, Russia;
^{*}e-mail: fursova@biophys.msu.ru*

Phytoplankton communities can serve as bioindicators of water system condition. Model of the natural ecosystem can enable multivariate experiments on the effect of physical and chemical factors on biophysical and hydrobiological characteristics of phytoplankton. Creating of such a model requires selecting appropriate species of microalgae. This study has allowed for selecting six types from those available in museum to create a model algal community. We found that similar conditions are required for their optimal growth (light, temperature, medium nutrients supply). As a base medium it is proposed to use a medium with low nitrogen content. Under these conditions, the cells function in a proper way and the cultures show satisfactory growth, while

the duration of reaching the stationary stage of growth (10–15 days) allows to have more experiments for a limited time. Cells of selected species have morphological differences that are sufficient for the automated identification within the polyculture. We have obtained the geometric characteristics of cells for computer counting of each community species on microphotographs.

Keywords: *phytoplankton, algal community, fluorescence, nitrogen-free medium, cell morphology, cell number, light curve*

Сведения об авторах

Фурсова Полина Викторовна – канд. физ-мат. наук, ст. науч. сотр. кафедры биофизики биологического факультета МГУ. Тел.: 8-495-939-02-89; e-mail: fursova@biophys.msu.ru

Воронова Елена Николаевна – канд. биол. наук, ст. науч. сотр. кафедры биофизики биологического факультета МГУ. Тел.: 8-495-939-51-50; e-mail: vlena66@mail.ru

Левич Александр Петрович – докт. биол. наук, вед. науч. сотр. кафедры биофизики биологического факультета МГУ. Тел.: 8-495-939-55-60; e-mail: apl@chronos.ru

Рисник Дмитрий Владимирович – канд. биол. наук, вед. науч. сотр. кафедры биофизики биологического факультета МГУ. Тел.: 8-495-939-55-60; e-mail: biant3@mail.ru

Погосян Сергей Иосифович – докт. биол. наук, проф. кафедры биофизики биологического факультета МГУ. Тел.: 8-495-939-51-50; e-mail: pogosyan@biophys.msu.ru