



АКАДЕМИЯ НАУК УЗБЕКСКОЙ ССР
ИНСТИТУТ МИКРОБИОЛОГИИ

А. М. МУЗАФАРОВ, Т. Т. ТАУБАЕВ

КУЛЬТИВИРОВАНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ

ТАШКЕНТ . ИЗДАТЕЛЬСТВО «ФАН» УЗБЕКСКОЙ ССР . 1984

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|-----|
| Введение | 3 |
| Виды и штаммы микроводорослей, перспективные для массового культивирования | 5 |
| Изыскание и выделение чистых культур микроводорослей | 10 |
| Установки для массового культивирования микроводорослей | 17 |
| Питательные среды для массового культивирования микроводорослей | 31 |
| Снабжение культуры микроводорослей углекислым газом | 43 |
| Качество и первоначальная плотность посевного материала и их влияние на рост и развитие водорослей в культуре | 47 |
| Перемешивание суспензии микроводорослей в культуре | 50 |
| Влияние температуры и света на рост, развитие и продуктивность микроводорослей в культуре | 52 |
| Загрязнение и заражение культуры протококковых водорослей зоовселенцами и меры борьбы с ними | 69 |
| О продуктивности протококковых водорослей в культуре | 71 |
| Биохимические особенности протококковых водорослей в культуре | 79 |
| Методы отделения биомассы микроводорослей от культуральной жидкости и способы ее хранения | 88 |
| Значение и перспективы использования биомассы протококковых водорослей в народном хозяйстве | 92 |
| Микроводорослевый комплекс и перспективы его развития | 115 |
| Список использованной литературы | 122 |

Культивирование и применение микроводорослей. А. М. Музафаров, Т. Т. Таубасев. Ташкент, «Фан» УзССР, 1984, с.—136.

В монографии описаны методы культивирования хлореллы, сценедесмуса и других микроводорослей и использования их в различных отраслях народного хозяйства. Освещены вопросы, связанные с выделением новых штаммов и природы, культивированием их в лабораторных и производственных условиях. Обобщены и критически проанализированы сведения о применении микроводорослей в различных целях.

Для биологов, а также специалистов сельского и коммунального хозяйства

Табл. — 24. Ил. — 13. Библ. — 223 назв.

Ответственный редактор
докт. биол. наук *С. Х. ЧЕВРЕНИДИ*

Рецензенты:
докт. биол. наук *О. Х. ХАСАНОВ*
канд. биол. наук *Т. ВАСИГОВ*

Водоросли многочисленны и разнообразны по форме и строению. Среди них есть гигантские морские виды, длина талломов которых превышает 50—60 м. Однако большинство водорослей микроскопические — одноклеточные и колониальные.

Многие морские виды водорослей издавна используются в качестве пищевых продуктов и кормовых веществ. Особенно широко применяются водоросли литорали и сублиторали морей и океанов. В настоящее время более 70 видов (главным образом красные и бурые водоросли) используются в хозяйственных целях. Из них получают йод, агар-агар, порфиран, фуноран, альгинатную кислоту, уксус, ацетон, калийные соли и др. (Барашков, 1972). Виды ламинарии используются в качестве заменителей овощных и других продуктов, лечебных препаратов и др. Многие водоросли применяют как корм для животных.

В последнее время внимание исследователей все больше привлекают микроводоросли как источник белков, углеводов, жиров, витаминов и других физиологически активных веществ. Особенно большой интерес представляют некоторые протококковые (хлорелла, сценедесмус) и сине-зеленые (спирулина, носток, анабена) водоросли.

В биомассе хлореллы и других микроводорослей, выращенных на специальных питательных средах, содержится 7—10% жира, 30—35% углеводов, 40—60% белка. Эти водоросли обладают способностью изменять качественное и количественное содержание органических соединений в клетках в зависимости от условий выращивания. Изменяя состав питательной среды и другие условия, можно повысить в микроводорослях содержание белка от 8 до 60% и более, углеводов от 6 до 37%, жиров от 5 до 85%. В белке микроводорослей содержатся все незаменимые аминокислоты.

По некоторым данным, в клетках протококковых микроводорослей обнаружено 15 витаминов (Шаркань, 1975).

Хлорелла, сценедесмус и другие микроводоросли в культуре оказались высокоурожайными. В управляемых условиях культивирования урожайность хлореллы достигает 100 г и более с 1 м², или 1 т сухой массы с 1 га в сутки (Сиренко, 1978).

По расчетам некоторых исследователей (Шаркань, 1975), в настоящее время в мировом производстве недостаёт ежегодно около 3 млн. т белков. В связи с этим почти во всех странах мира уделяют огромное внимание увеличению производства высокобелковых и витаминных продуктов, поиску богатых источников белков и других питательных веществ.

Не случайно, что в отдельных странах мира усиленно изуча-

ются методы крупномасштабного производства биомассы микроводорослей как ценного сырья для получения промышленных продуктов.

В Японии начато промышленное культивирование микроводорослей (спирулина, хлорелла) с выходом продукции до 300000 т в год. В США создан центр, который ежегодно производит 30 т сухой водорослевой биомассы (Шаркань, 1975).

Производство биомассы водорослей организовано в Мексике, Индии, Франции, Италии и других странах мира. В Советском Союзе экспериментальные установки по культивированию хлореллы, сценедесмуса и других микроводорослей созданы в РСФСР, Узбекистане, Туркмении, Казахстане, Латвии, на Украине и др.

В институте микробиологии АН УзССР в течение нескольких лет проводятся исследования по разработке методов массового культивирования различных микроводорослей, созданию промышленных установок и изучению способов применения водорослевой биомассы. Созданы различные установки открытого и закрытого типа, изучены методы культивирования различных видов и штаммов хлореллы, сценедесмуса, спирулины и других микроводорослей, разработаны способы применения биомассы в качестве биостимулятора в животноводстве, птицеводстве, шелководстве и растениеводстве. Выявлена возможность применения хлореллы и сценедесмуса в биологической очистке сточных вод. Результаты многих исследований широко внедрены в практику сельскохозяйственного производства.

Изучают микроводоросли с целью применения в сельскохозяйственном производстве, рыбоводстве, в биологической очистке сточных вод, в медицине, в парфюмерной промышленности.

В литературе содержатся сведения о методах промышленного культивирования микроводорослей и их применении, однако эти материалы разобщены. Данные о рентабельности и экономической эффективности применения водорослей в народном хозяйстве во многих случаях противоречивы и нуждаются в изучении и реальной оценке.

Многие исследователи отмечают эффективность массового культивирования водорослей на сточных водах, так как при этом одновременно можно осуществить биологическую очистку вод и производить водорослевую биомассу, являющуюся ценным сырьем для получения многих промышленных продуктов, прежде всего белка и витаминов.

Авторы настоящей монографии предприняли попытку обобщить научную информацию, содержащуюся в литературных источниках, а также данные своих многолетних исследований, охарактеризовать состояние и перспективы производственного культивирования и применения микроводорослей в различных целях, наметить рациональные пути их дальнейшего развития. Уделено внимание методам получения чистых культур микроводорослей и подготовки их для массового культивирования как в лабораторных, так и в производственных условиях.

ВИДЫ И ШТАММЫ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ, ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ДЛЯ МАССОВОГО КУЛЬТИВИРОВАНИЯ

Выращивание макрофитов на подводных плантациях началось значительно раньше, чем культивирование микроводорослей в специальных установках. В Японии налажено создание аквакультуры морских водорослей под названием «нори». В культуре используются в основном различные виды бурых водорослей. Во Франции для получения альгината выращиваются *Macrocystis purifera*.

В нашей стране практикуется культура анфельции — основного сырья для производства агара.

В США разработан способ культивирования крупных водорослей *Macrocystis purifera*, *Sargassum muticum* и др.

Выращивание морских водорослей требует решения сложных научно-технических вопросов, связанных с культивированием и переработкой биомассы. Культивирование водорослей в литорали и других участках морей и океанов — процесс трудноуправляемый и трудоемкий. Подсчитано, что для создания энерготехнического комплекса по выращиванию водорослей на подводных плантациях на площади 40 тыс. га и производства сырья требуется более 2 млрд. руб. (Риффо, 1978).

Освоение литорали морей и океанов для создания подводных плантаций полезных водорослей имеет большое значение в увеличении биологических ресурсов. В связи с этим расширяются испытания водорослей в аквакультуре и принимаются меры для увеличения их площадей на дне морей и океанов, несмотря на малую рентабельность и недостаточно высокую эффективность.

Наряду с разработкой методов выращивания макрофитов широко изучаются в культуре и микроводоросли. Процессы их культивирования легко управляемы. Микроскопические размеры их позволяют широко применять технические средства с полной механизацией и автоматизацией почти всех процессов производства биомассы.

Микроводоросли многочисленны и представлены почти в каждом систематическом отделе водорослей. Для массового культивирования большой интерес представляют прежде всего виды, характеризующиеся быстрым ростом и способные в благоприятных условиях накапливать большую биомассу. Список видов и штаммов, используемых в лабораторном культивировании, обширен, это главным образом представители родов *Chlorella* и *Scenedesmus*. Многие из них все еще не испытаны в массовой культуре. Необ-

ходимы дополнительные исследования их хозяйственной ценности и продуктивности.

В Советском Союзе распространены 4 вида и формы из рода *Chlorella* (Коршиков, 1953). Некоторые исследователи отмечают в СССР 18 видов и форм (Андреева, 1975). Виды и формы водорослей, относящиеся к роду *Chlorella*, в основном одноклеточные, мелкие, шаровидные или эллипсоидные. Распространены повсеместно. Размножаются автоспорами.

В водоемах Средней Азии обнаружены следующие виды и формы (Музафаров, 1965): *Chlorella ellipsoidea* Ger n., *Ch. vul-*

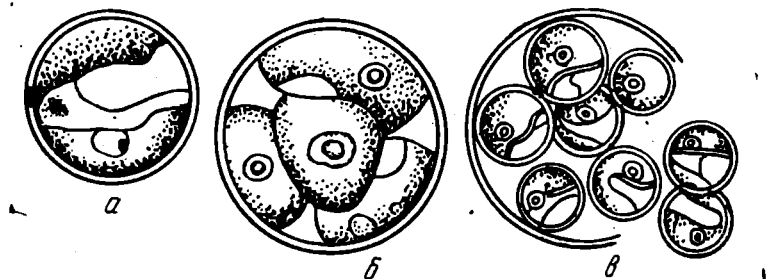


Рис. 1. Хлорелла в процессе размножения.

а — до размножения, б, в — образование автоспор.

garis Beser, *Ch. pyrenoidosa* Chick, *Ch. terricola* Hollerb., *Chlorella* sp.

В лабораторных условиях в культуре изучены почти все указанные формы и виды. Однако в массовой культуре в полупроизводственных и производственных установках испытаны штаммы в основном двух видов: *Chlorella vulgaris* и *Ch. pyrenoidosa* (рис. 1).

Для производственного культивирования перспективны также виды и штаммы из рода *Scenedesmus*. Эти водоросли ценобиальные, широко распространены в природе. Размножаются автоспорами. По некоторым систематическим сводкам, в СССР найдено более 66 видов и форм сценедесмуса (Коршиков, 1953). В водоемах Средней Азии встречается 45 видов и форм (Музафаров, 1975). В производственной культуре испытаны виды и штаммы *Scenedesmus quadricauda* (Yürp.) Breb., *S. obliquus* (Turp.) Kütz., *S. acuminatus* (Lagerh.) Chod., *S. bijugatus* (Turp.) Kütz. (Simmer, 1965; Верзилин и др., 1966; Музафаров, Таубаев, 1974; и др.). Однако это не означает, что другие виды сценедесмуса мало перспективные для массового культивирования. Остальные виды просто еще не выделены из природы или выделены, но недостаточно изучены в культуре.

По мнению специалистов (Simmer, 1967; Васигов, 1969; и др.), виды и штаммы сценедесмуса устойчивее к неблагоприятным условиям, чем виды и штаммы хлореллы, менее требовательны к

свету, хорошо растут и развиваются на органической и органо-минеральной средах, легче отделяются от культуральной жидкости. Кроме того, у видов и штаммов сценедесмуса антибиотическая активность выражена сильнее, чем у других изученных видов микроводорослей (Ахупов, 1978).

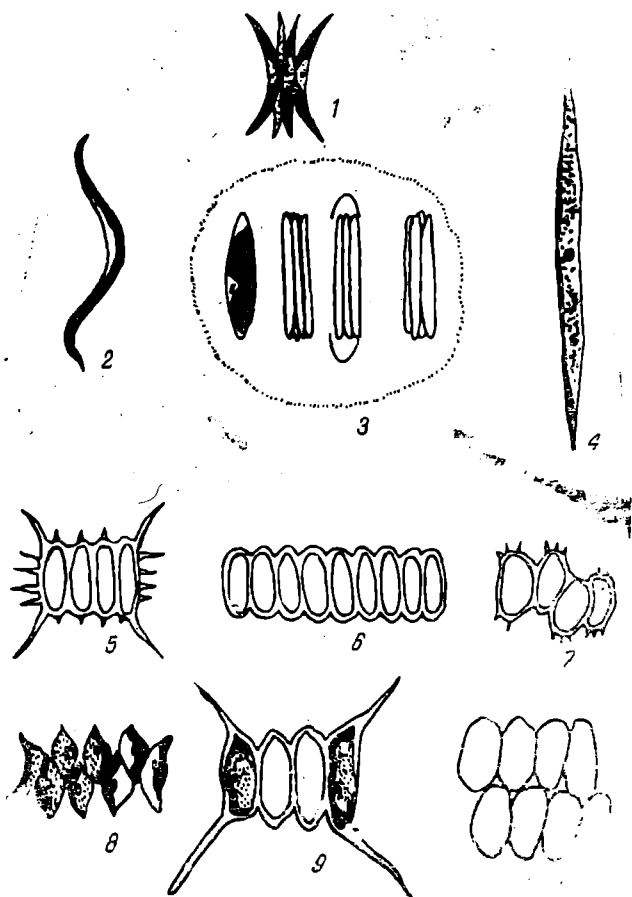


Рис. 2. Виды анкистродесмуса и сценедесмуса.

1—*Ankistrodesmus falcatus*, 2—*A. angustus*, 3—*A. pfitzerii*, 4—*A. acicularis*, 5—*Scenedesmus adundans*, 6—*Sc. bijugatus*, 7—*Sc. denticulatus*, 8—*Sc. obliquus*, 9—*Sc. apollensis*, 10—*Sc. econtis*

Важное значение для массовой культуры имеют виды рода *Ankistrodesmus* (рис. 2). Они характеризуются высоким содержанием липидов (до 40% и более). Водоросли из рода *Ankistrodesmus* — колониальные, обычно встречаются в мелких стоячих или медленно текущих водоемах, в прибрежных участках рек и ручьев. Колонии нередко распадаются на отдельные клетки. В основном они вытянутые в длину, микроскопические. Размножаются

автоспорами. В водоемах Средней Азии найдено 23 вида и формы анкистродесмуса. В культуре изучены 3 вида: *Ankistrodesmus angustus* Bern; *A. braunii* Brunnth., *A. falcatus* (Corda) Ralts. Эти виды хорошо растут при температуре 15—20°C и при освещенности 10—20 тыс. лк.

В массовой культуре испытан один вид из рода *Kirchneriella* — *K. Obesa* (West.). Однако в водоемах Средней Азии этот вид пока не отмечен. Здесь встречаются в основном виды *Kirchneriella intermedia* Korsch. и *K. lunaris* (Kirchn.) Moeб., имеющие значение для массового разведения. Эти водоросли найдены в водоемах бассейнов Сырдарьи и Амударьи (Музафаров, 1965).

В лабораторной культуре изучены некоторые виды зеленой водоросли — хламидомонады. В Средней Азии род *Chlamydomonas* представлен 34 видами и формами. Клетки подвижные, сравнительно крупные, легко отделяющиеся от культуральной жидкости, окружены пектиновой оболочкой. Размножаются бесполым и половым путями. По некоторым данным, белки хламидомонады легко усвояемые, по структуре ближе к животным белкам. Хорошо размножаются на органо-минеральной и органической питательных средах (Nakamura, 1963). В культуре изучен в основном один вид — *Chlamydomonas reinhardtii* Dang.

Некоторые авторы изучали в культуре одноклеточную красную водоросль — *Porphyridum cruentum*. Однако данных об испытании этой водоросли в полупроизводственных и производственных культурах нет.

По мнению многих исследователей (Васильева, Верзе, 1966; Пиневиц, 1973; и др.), из числа сине-зеленых водорослей для массового культивирования особый интерес представляют *Spirulina platensis*, *Anacystis nidulans* и *Anabaena variabilis*. По продуктивности и биохимическим особенностям эти водоросли близки к хлорелле, сценедесмусу и др.

В качестве источника белков и витаминов особый интерес представляет спирулина. Производственная культура этой водоросли налажена во Франции, Японии и Мексике. Биомасса спирулины легко усваивается организмами животных и человека. В некоторых районах мира природные запасы спирулины широко используются в качестве пищевых продуктов (Пиневиц, 1973). Содержание белка в спирулине достигает 55—60% и более. Ее биомасса легко отделяется от культуральной жидкости. Однако в процессе выращивания спирулины в культуральную жидкость выделяется много легкорастворимых продуктов метаболизма, в том числе белковые компоненты. Искусственное выращивание спирулины проводится в щелочной среде.

Наряду с одноклеточными и колониальными микроводорослями для массовой культуры имеют значение и некоторые нитчатые водоросли Хиндак, 1967). В полупроизводственных условиях проверена культура *Stigeoclanium* sp., *Ulothrix acuminata*, *Uronema gigas* и др. Продуктивность их в специальных установках

и метод культивирования такие же, как у хлореллы, сценедесмуса и других одноклеточных и колоннальных микроводорослей.

В так называемой «воздушной культуре» выращивали микроводоросли *Pleurococcus vulgaris* и *Oscillatoria amoena* (Sälägeanu, 1965). Для этого разработана специальная установка с постоянно увлажняемой питательным раствором поверхностью. Однако продуктивность водорослей при воздушной культуре оказалась невысокой, суточный выход биомассы не превышал 3,4—5,4 г/м² сухого вещества.

Л. Д. Кондратьева, Б. А. Громов (1972) сообщают о результатах культивирования некоторых микроводорослей в лабораторных условиях, однако эти водоросли пока не изучены в широкой производственной культуре.

Среди микроводорослей выделяются холодоустойчивые (криофильные), среднетемпературные (мезотермные), высокотемпературные (термофильные) виды и штаммы. Для массового культивирования выгодно использовать виды и штаммы с широким экологическим диапазоном. В открытых установках большую биомассу накапливают мезотермные и термофильные виды и штаммы микроводорослей. Для мезотермных водорослей оптимальная температура 25—35°C, для термофильных 35—45° и выше. Криофильные виды и формы характеризуются низкой энергией роста и накопления биомассы в установках.

По нашим данным, в условиях среднеазиатских республик сравнительно высокой урожайностью при культивировании в открытых установках отличаются следующие виды и штаммы протоккокковых водорослей:

Chlorella pyrenoidosa-УА-1-1. Клетки округлые, 6—12,2 мкм в диаметре. Штамм выделен из почв хлопковых полей Узбекистана, термофильный.

Chlorella vulgaris Beyer-157. Клетки 3,5—5 мкм в диаметре. Штамм получен из биологического института Ленинградского Государственного университета им. А. А. Жданова. Мезотермный.

Chlorella sp.(P-1)h. Str. Клетки 2,7—3,5 мкм в диаметре. Штамм получен из Института физиологии растений АН СССР. Мезотермный.

Scenedesmus obliquus (Türp.) Kütz-УА-2-6а. Клетки 3,5—5,4 мкм ширины и 9—15 мкм длины, в ценобиях. Штамм выделен из рисовых полей Узбекистана. Мезотермный.

Scenedesmus acuminatus (Lagerh.) Chod.-УА-2-7а. Клетки 3,4—8,4 мкм ширины и 1,8—40 мкм длины, ценобиальные. Штамм выделен из биологических прудов города Ахангарана. Мезотермный.

Chlamydomonas reinhardtii — зеленая водоросль из вольвоксовых. Получена из биологического института Ленинградского Государственного университета им. А. А. Жданова. Размножаются половым и бесполом (зооспорами) путями. Мезотермный. Избегает сильного освещения и высокой температуры. Особенно хо-

рошо растет и размножается весной и осенью. Легко отделяется от культуральной жидкости при помощи центрифуги и сепаратора.

Число штаммов и видов микроводорослей, используемых в массовой культуре, пока еще незначительно. В водоемах и на поверхностях влажных субстратов очень много видов различных систематических групп водорослей. В одном Среднеазиатском регионе обнаружено более 3 тыс. водорослей (Музафаров, 1965; и др.), среди которых, несомненно, много хозяйственно ценных видов, однако до сих пор не вовлеченных в сферу культивирования. В этом отношении особенно большой интерес представляют диатомовые. Многие виды их богаты липидами и другими физиологически активными веществами. В культуре изучены отдельные виды морских диатомовых; виды, встречающиеся в континентальных водоемах, до сих пор не изучены в культуре.

Много хозяйственно ценных видов среди зеленых и синезеленых водорослей.

По эколого-трофическим особенностям водоросли делятся на автотрофные, гетеротрофные и миксотрофные. Подбор видов и штаммов водорослей следует осуществлять на основе учета всех этих особенностей. Гетеротрофные и миксотрофные водоросли имеют большое значение при получении штаммов и видов для широкого использования в биологической очистке сточных вод, а также в качестве реагентов различных производственных отходов.

ИЗЫСКАНИЕ И ВЫДЕЛЕНИЕ ЧИСТЫХ КУЛЬТУР МИКРОВОДОРОСЛЕЙ

Успех массового культивирования микроводорослей зависит от подбора высокопродуктивных и хозяйственно ценных штаммов и видов. Для проведения сравнительного изучения их в определенных условиях культивирования необходимо иметь в коллекционной культуре большой набор альгологически и бактериологически чистых штаммов и видов водорослей. Получение чистых культур водорослей — сложный процесс, включающий несколько этапов. Вначале проводится сбор образцов из природы и получение накопительной культуры водорослей. Сбор образцов желательно проводить в период активной вегетации видов и форм. При этом необходимо следить, чтобы пробы не загрязнялись примесями (ил, остатки листьев и др.). Пробы лучше брать при помощи планктонной сети. В мелких водоемах, на берегу или на открытых участках через планктонную сеть фильтруют 2—3 ведра воды. Из осадка, полученного на фильтре, берут пробы в стерильный стеклянный флакон. Посуду заполняют водой не более чем на 2/3 объема, закрывают ватой или марлей. Пробы нельзя хранить долго. Сосуд с пробами можно поставить на подоконник или столик, предназначенный для получения накопительных культур, при рассеянном освещении и температуре не выше 20°C.

Иногда пробы вносят в слабый питательный раствор в количестве 25—30 мл, что способствует быстрому размножению водорослей. Из проб нередко получают смешанную культуру микроводорослей, собранных из природы.

Следующий этап — получение альгологически чистых культур микроводорослей. Из выращенных проб пипеткой берут каплю жидкости и вносят в чашечки или колбочки с питательным раствором объемом 15—30 мл. Чашки закрывают стеклянными крышками, колбы — пробкой, выставляют их на освещенное место. При получении альгологически чистых культур водорослей прием, основанный на их эколого-биологических особенностях, имеет большое значение. Например, альгологически чистые культуры термофильных водорослей можно выделить при помощи термических обработок проб, взятых из природы. Для этого культуры водорослей, выращенных в колбах или пробирках, погружают в воду при температуре 60—65°C на 3—5 мин. В этих случаях живыми остаются только термофильные водоросли.

Выращивая водоросли в различных условиях освещенности, можно выделить альгологически чистые культуры, приспособленные к различным условиям освещенности. В условиях слабой освещенности на органо-минеральной среде при температуре 4—6°C легко выделяются альгологически чистые культуры отдельных диатомовых водорослей. Нередко для выделения чистых культур диатомовых пробы замораживают, при этом другие мезотермные, термотолерантные или термофильные водоросли теряют активность, а криофильные дают накопительную культуру и в дальнейшем, осуществляя многократные пересевы, из нее можно выделить альгологически чистые культуры тех или иных видов.

Обычно для выделения альгологически чистых культур из накопительной применяют микробиологические методы, используя микроманипуляторы. Пересевы делают на жидкой среде или на агаризованных твердых: в чашках Петри или в пробирках. Их помещают на свет. Из выращенных скоплений водорослей вновь делают пересевы на жидкую среду или на косой агар. Для посева лучше использовать жидкую суспензию, так как это облегчает получение альгологически чистых культур. Иногда для выращивания водорослей применяют двуслойные среды: на агаризованную твердую среду тонким слоем наливают жидкую питательную среду, что способствует быстрому росту и размножению засеянных клеток.

Некоторые подвижные фототоксичные водоросли (представители *Volvox*, *Pandorina* и др.) обычно накапливаются в освещенной части сосуда. Оттуда их легко выделить в чистом виде.

По методу В. И. Успенской (1966), для получения альгологически чистых культур *Stigeoclonium*, *Draparnaldia*, *Oedogonium*, *Ulotrix* используют их свойства образовывать зооспоры. Для этого пробы с талломами этих водорослей помещают в вакуум-экзикаторе в атмосферу с содержанием углекислого газа 4—5%.

Для успешного выделения чистых культур пересевы необходимо делать как можно чаще, в среднем 1 раз в 3—5 дней.

Из альгологически очищенных водорослей в результате выращивания получают клоновую культуру, удобную для изучения эколого-биологических и физиолого-биохимических особенностей водорослей. Если полученная культура обладает определенными эколого-биологическими особенностями, ее можно считать популяцией соответствующего штамма. Штамм — это не систематическое, а чисто экологическое понятие. Штаммы могут различаться по их отношению к температуре, свету, концентрации питательных солей в среде, биохимическим свойствам и др.

Посев водорослей проводят стерильно в боксах. Для этого в стерильную колбу с питательной средой помещают примерно 30—50 мл суспензии. Если водоросли прикреплены к субстрату или имеют вид комочков, небольшой участок дерновинки или комочек при помощи стерильной микробиологической петли переносят на жидкую среду в колбочках. Колбы закрывают ватно-марлевой пробкой, прикрывают колпачком из стерильной пергаментной бумаги, полиэтиленовой пленки, стерилизованной в спирте в течение 30—40 мин. Колбы с культурой располагают на освещенных стеллажах. Суспензию перемешивают периодическим встряхиванием 1—2 раза в сутки.

Для содержания клоновых культур или штаммов микроводорослей в активном состоянии необходимы частые пересевы. Культуры водорослей обычно довольно долго держатся на косом агаре.

Твердые агаризованные среды приготавливают обычно, используя 1,5—2% агар-агара. На 1 л дистиллированной воды берут 15—20 г агара. Дистиллированную воду с агаром нагревают в термостойком сосуде и получают раствор агара. Затем вносят необходимые соли, входящие в состав минеральной питательной среды, используемой для культивирования микроводорослей. рН среды необходимо поддерживать на уровне 6,8—7,2. Готовую среду разливают по пробиркам и стерилизуют. Для получения косячков пробирки следует держать под определенным наклоном для застывания агаризованной среды после стерилизации. Посев водорослей на агаризованную среду проводят с помощью микробиологической петли. Посевной материал распределяют штрихом или уколом. Для выращивания зеленых водорослей на агаризованной среде чаще всего используют среду Майерса. Чтобы среда не подсыхала, пробирку закрывают ватно-марлевыми пробками и покрывают колпачками из полиэтилена. Для получения зеленого налета на агаризованной среде культуру необходимо держать на свету. Пробирки с культурами водорослей можно расположить в медицинском шкафу с полками, освещенном по бокам лампами дневного света.

Для получения альгологически чистых культур водорослей их можно хранить на жидкой среде, на свету или на агаре в холодильнике при температуре 4—5°C.

Для открытого массового культивирования водорослей можно использовать альгологически чистые штаммы. В закрытых установках, а также для изучения физиолого-биохимических особенностей водорослей используются не только альгологически, но и бактериологически чистые штаммы. Для выделения бактериологически чистых культур Е. G. Pringsheim (1946) проводил многократную пересадку талломов водорослей с гипсовых блоков на минеральной среде с агаром или силикатным гелем.

М. В. Allen (1952) для получения чистых культур водорослей использовал явление фототаксиса, характерное для многих фотоавтотрофных микроорганизмов. Он рекомендует переворачивать агаровые пластинки с культурой водорослей обратной стороной. Пробираясь через толщу агара к свету, клетки водорослей как бы счищают, соскабливают с себя прилипшие бактерии.

Существует метод Больда по очистке водорослей от бактерий. В стерильные пробирки вносят по 5 мл питательного раствора, закрывают их пробками и стерилизуют в автоклаве. Одновременно готовят такое же количество пробирок с агаром, приготовленным на питательной среде с добавлением 0,5—1% глюкозы. При посеве суспензию водоросли стерильной пипеткой переносят в пробирку со стерильным питательным раствором. Пробирку закрывают, содержимое перемешивают, затем из пробирки берут 1 мл и переносят стерильной пипеткой во вторую пробирку со стерильным раствором. Содержимое пробирки опять перемешивают и 1 мл взвеси переносят в третью пробирку. По мнению Больда, суспензию хлореллы следует провести через разведения 4 раза. Для посева следует использовать только третье и четвертое разведения, так как в первых двух разведениях при высеве на твердую среду растут главным образом бактерии и грибы.

Стерильную питательную среду из пробирок стерильно переносят в чашки Петри. Водоросли из пробирок третьего и четвертого разведения высевают на питательный агар, содержащий 0,5—1% глюкозы. Чашки переворачивают вверх дном и помещают на свет. На агаре с глюкозой водоросли растут быстро и через 4—5 дней могут образовать зеленый налет. Выросшие водоросли стерильной петлей переносят на стерильную агаризованную среду в других чашках Петри.

Готовят несколько чашек Петри двух видов: с агаризованной минеральной средой и агаризованной минеральной средой с добавлением глюкозы. На нижней поверхности чашек по стеклу тушью делают 6—9 кружков. Клетки водорослей петлей переносят на стерильный агар в один из отмеченных кружков. Посевы делают одновременно на указанных средах и повторяют их до тех пор, пока на среде с глюкозой не перестанут развиваться бактерии. Очищенную культуру водорослей следует хранить в стерильных условиях. Для проверки культур на чистоту можно выращивать их на стерильном 0,25% мясном бульоне. Помутнение бульона — признак загрязненности культуры водорослей бактериями.

Чистоту культуры водорослей можно проверить и под микроскопом.

Для бактериальной очистки водорослей применяют химические методы стерилизации (Fogg, 1942; Гаевская, 1946; Разумов, 1953; и др.). В этом случае талломы водорослей отмывают растворами различных стерилизующих веществ. Н. С. Гаевская (1946) использовала растворы риванола и брома. Для разбавления до концентрации 0,5—20 мг/л в раствор добавляли стерильную питательную среду. Затем на среду с риванолом или бромом высевали водоросли. Протококковые водоросли довольно устойчивы к риванолу. Для хорошей очистки риванол в растворе несколько раз меняют. Затем водоросли следует отмыть в дистиллированной воде.

Для получения чистых культур морских диатомовых водорослей нередко используют раствор йода (Allen, 1953). В этом случае водоросли на 1—2 мин помещают в раствор йода (1—2 капли йода на 50 мл стерильной среды).

Многие исследователи отмечают эффективность антибиотиков в получении чистых культур микроводорослей (Левина, 1961; Максимова, Пименова, 1961; и др.). Для штаммов хлореллы применяют левомицетин в концентрации 1 мг/мл, стрептомицин в дозе 1000 ед/мл. После 4-часовой экспозиции культуры становятся стерильными. Используют также пенициллин, грамицидин, аурантин, тетрациклин и др. Разные виды водорослей по-разному реагируют на антибиотики и на их концентрации. Антибиотики применяют в чистом виде и в комбинации. Необходимо правильно подбирать антибиотики и их концентрации, чтобы они оказались губительными для сопутствующих микроорганизмов и малотоксичными для культур микроводорослей.

Для успешного применения антибиотиков необходимо прежде всего определить чувствительность того или иного организма к данному антибиотику. Имеется много методов испытания чувствительности микроорганизмов к антибиотикам:

- 1) метод определения с цилиндрами;
- 2) метод штриховой разводки;
- 3) метод оценки способности антибиотика подавлять рост по мере снижения его концентрации;
- 4) метод биопроб с дисками, применяющийся в настоящее время наиболее широко. При использовании этого метода кружок фильтровальной бумаги диаметром около 1 см замачивают в растворе антибиотического вещества, высушивают и помещают на поверхность засеянной чашки с агаром. Измеряют зону подавления и чувствительность организма к антибиотику выражают площадью этой зоны.

В нашей стране и некоторых зарубежных странах выпускают готовые диски, пропитанные растворами антибиотиков. В настоящее время они широко используются.

По мнению некоторых исследователей (Земляничная, Курбаева, Сергеева, 1979), в случае отсутствия стандартных дисков их можно готовить из антибиотиков на основе водных или спиртовых растворов.

Мы использовали диски с антибиотиками для очистки культур зеленых микроводорослей от сопутствующей микрофлоры. Эти диски вырабатываются из фильтровального картона, который смачивают раствором антибиотиков определенной концентрации, сушат и перфорируют. Диаметр дисков 6 мм.

Расплавленную агаризованную среду разливают по 20 мл в стерильные чашки Петри и равномерно распределяют по поверхности среды. Чашки со средой подсушивают при комнатной температуре несколько минут, затем на поверхность накладывают диски. Чашки на 2—3 ч помещают в холодильник, а затем выставляют на свет или в термостат.

Результаты определяют по диаметру зон задержки роста, включая диаметр и самого диска. Зоны измеряют линейкой. Отсутствие зон задержки роста микробов вокруг диска указывает на то, что испытываемая культура не чувствительна к данной концентрации антибиотика. Зоны диаметром до 10 мм указывают на малую чувствительность культуры к данной концентрации антибиотика. Зоны диаметром более 10 мм указывают на чувствительность микроорганизма к данной концентрации.

Установлено, что микроорганизмы в различной степени чувствительны к разным антибиотикам. Некоторые антибиотики на определенных участках диска оказывают на отдельные микроорганизмы стимулирующее влияние.

Обычно в первой, внутренней, зоне под действием относительно высокой концентрации антибиотиков погибают все виды микроорганизмов, в том числе и водоросли, а с постепенным переходом к периферии, т. е. по мере уменьшения концентрации антибиотиков, выявляется разное отношение их к ним. Следовательно, пробы для дальнейшего получения акценических культур водорослей необходимо брать именно с периферийного участка дисков.

Для получения акценических культур можно использовать диски любого антибиотического активного вещества. Для этих целей мы использовали даже антибиотики или антибиотический вырещ, выделенные из биомассы сценедесмуса, хлореллы и других водорослей. Эффект от применения этих веществ почти аналогичен другим препаратам различных антибиотиков в получении акценических культур микроводорослей.

В накопительной культуре получают популяцию клеток альгологически чистых водорослей. В результате многократных пассировок можно получить культуру, развивающуюся из отдельных клеток. Таким образом, выделяется не только альгологически чистая популяция, но и штамм — клон того или иного вида водорослей.

Е. К. Михайлова (1960) для выделения чистых культур *Oscillatoria* и *Phormidium* использовала разницу в скорости роста бактерий и талломов водорослей. На агаровых средах при температуре 28—30°C талломы водорослей в первые 2 ч растут значительно быстрее, чем колонии бактерий. Эта неравномерность сделала возможным механическое разделение талломов водорослей и колоний бактерий.

В последнее время для получения бактериологически чистых культур водорослей используют ультрафиолетовые лучи и ультразвук. Культуру водорослей на чашках Петри облучают 10—20 мин ультрафиолетовыми лучами (бактерицидные лампы БУВ-40, БУВ-20 и др.). Расстояние от культуры до источника облучения — 20—30 см. После облучения культуру высевают на агар и обычными методами проверяют ее бактериальную чистоту.

С помощью ультрафиолетовых лучей получены чистые культуры *Nostoc muscorum* (Allison et al., 1937), *Chlorococcus jurgidis*, *Phormidium tenue* (Gerloff et al., 1950).

Некоторые исследователи для облучения водорослей использовали кварцевые кюветы или камеры. Облучателем служили обычные ртутно-кварцевые лампы. Культуру водорослей непрерывно встряхивали. Пробы брали через каждые 5 мин. При последующих разведениях свежее отобранных проб из облученной суспензии водорослей удалось получить довольно чистые культуры.

Применяются также комбинированные способы очистки (Гусев, 1963; Гусев и др., 1964). Культуру *Anabaena variabilis* в течение 1 мин нагревали на водяной бане, затем облучали ультрафиолетовыми лучами.

Перед облучением культуру водорослей выращивают на минеральном агаре. Затем с косяков сеют в жидкую питательную среду. Суспензию разливают по кварцевым кюветам и облучают ультрафиолетовыми лучами. Из последовательно отобранных проб делают несколько разведений, из которых потом готовят высевы на минеральный агар, затем на агар с глюкозой, пептоном и дрожжевым автолизатом. Чем больше разведений, тем вероятнее возможность получения одинаковых изолированных колоний водорослей и бактерий. Многие исследователи (Калко, 1959; Lewin, 1959; и др.) для получения чистых культур зеленых и цианомовых водорослей используют антибиотики (пенициллин, ауремитин и др.).

С. В. Горюнова (1965) для очистки водорослей использовала экстракты клюквы и брусники. Ягоды их бактерицидны. Это объясняется содержанием в них бензойной и салициловой кислот.

При выделении чистых культур необходимо знать компоненты природных ассоциаций водорослей, симбиотические взаимоотношения микроорганизмов с водорослями (Горюнова, 1979). Установлено преимущество годичных питательных сред для выделения бактериально чистых штаммов по сравнению с полной питательной средой (Lewin, 1959). Некоторые чистые культуры сине-

зеленых водорослей (*Phormidium valderiae*, *Ph. uncinatum*) получают простой промывкой стерильной питательной средой (Горюнова, 1969). Однако этот способ не всегда эффективен.

По мнению М. В. Allen (1952), A. Watanabe (1959), Гусева (1963) и других, наиболее эффективен метод очистки при помощи ультрафиолетовых лучей.

Бактериальное загрязнение водорослей на разных стадиях их роста различно. Например, у *Lyngbya aestuarii* в раннем возрасте загрязнение бактериями наблюдается в меньшей степени, чем в старом. Летом талломы этой водоросли рыхлые и обычно сильнее загрязнены бактериями, чем весной.

Штаммы хлореллы хорошо растут в твердой агаризированной среде, сценедесмуса — в жидкой. Эту особенность водорослей также можно использовать при выделении альгологически чистых штаммов.

Талломы сине-зеленых водорослей от слизистых бактерий можно очистить путем промывки их антибактериальными агентами. Для этого культуру на жидкой среде фильтруют в вакууме через стеклянные фильтры № 1 и № 2. Гормогоны, споры и короткие обрывки нитей, прошедшие через фильтр, обрабатывают обычными химическими методами (Гусев, Телитченко, Федоров, 1964).

При длительном культивировании в одних и тех же условиях или в случае отсутствия регулярного подращивания водоросли постепенно теряют активность, подвергаются морфолого-анатомическим и физиолого-биохимическим изменениям. Чаще всего увеличивается размер клеток, снижается их фотосинтетическая активность, нередко они подвергаются вирусным и другим заболеваниям, клетки оседают на дно культиваторов (Музафаров, Таубаев, 1974). Для повышения активности клеток водорослей необходимо их подращивать в условиях интенсивной культуры при оптимальном режиме культивирования. Это особенно важно для культур длительного хранения на агаризированной твердой или жидкой среде. Активность культур водорослей зависит также от условий хранения в коллекционной культуре. При хранении в жидкой среде следует чаще пересевать культуры на свежую питательную среду. Такие пересевы делают через каждые 15—20 дней.

Культуру можно хранить на твердом косом агаре в холодильнике при температурах 3—4°C. При этом штаммы многих протококковых водорослей сохраняются 8—10 мес. После этого их следует подращивать на жидкой питательной среде при оптимальных условиях.

УСТАНОВКИ ДЛЯ МАССОВОГО КУЛЬТИВИРОВАНИЯ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ

Для культивирования микроводорослей применяется специальное устройство, обычно называемое установкой или реактором. Продуктивность микроводорослей в основном зависит от типа и конструктивных особенностей этих установок. Исследовате-

ли главное внимание обращают на создание удобных, высокопроизводительных установок, позволяющих получать качественную белково-витаминную биомассу микроводорослей.

В настоящее время в СССР и за рубежом созданы различные установки с целью производства биомассы микроводорослей на промышленной основе.

Ниже приводятся описания основных типовых установок массового культивирования микроводорослей.

Первые крупные установки были созданы японскими исследователями (Tamiya, 1955; Nakamura, 1961). Они представляют

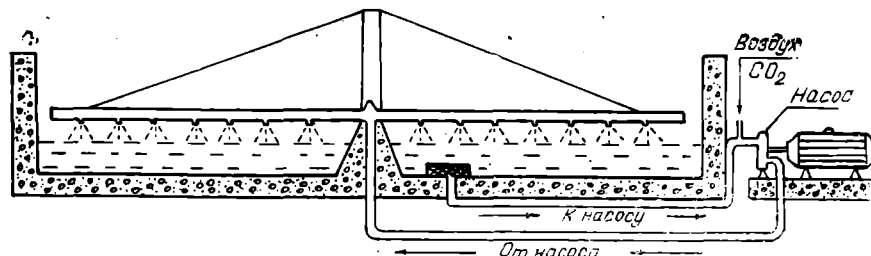


Рис. 3. Схема круглой цементированной установки для культивирования микроводорослей.

собой круглые открытые цементированные бассейны диаметром 3—20 м с толщиной слоя суспензии водорослей 10—12 см. Перемешивание суспензии осуществляется при помощи насоса, который забирает жидкость из бассейна и возвращает ее обратно по трубам, которые вращает реактивная сила выбрасываемой суспензии (рис. 3). В установках этого типа продуктивность водорослей оказалась высокой — 2—18,5 г сухого вещества с 1 м² водной поверхности в сутки.

Установка оригинальной конструкции создана специалистами из Дортмунда (ФРГ) (Krauff, Meffert, 1966). Для выращивания микроводорослей использованы кольцевые горизонтальные лотки различной формы (рис. 4). Перемешивание суспензии водорослей осуществляется при помощи лопастных колес. Среднесуточный урожай водорослей при культивировании их в течение 220 дней составлял 10—12 г сухого вещества с 1 м².

Крупная по размеру установка была разработана чешскими специалистами (Setlik, Prokes, 1956; Prokes, Zahradnik, 1969). Она была построена в г. Требоне (Южная Чехия), имеет общую освещаемую поверхность 900 м². По ступенчатой пологой стеклянной поверхности циркулирует суспензия водорослей с толщиной слоя 4—5 см. Для улучшения условий освещения и предотвращения осадения клеток водорослей на поверхности культиватора в слое суспензии имеются приспособления в виде низких стеклянных или пластмассовых перегородок, установленных под углом

60° к поверхности культиватора. Это приспособление усиливает турбулентное движение жидкости в установке.

Между перегородками и наклонной поверхностью оставлен зазор, через который протекает суспензия. Ширина зазора позволяет протекать суспензии не только под перегородками, но и над ними. При этом создается турбулентное движение в потоке жидкости. В нижней части культиватора суспензия попадает в желоб,

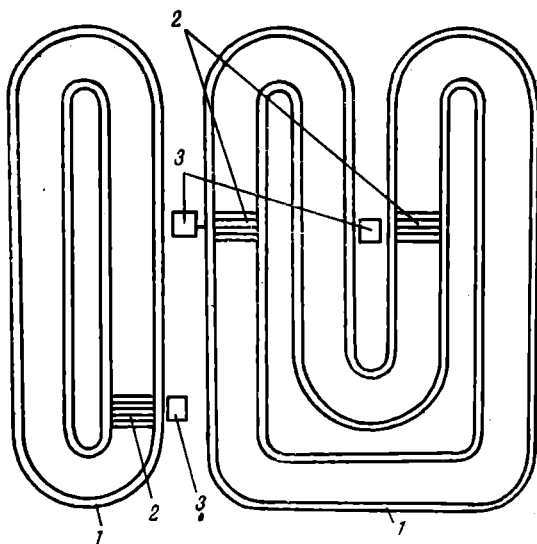


Рис. 4. Кольцевая установка, созданная в ФРГ.

1—бассейн, 2 — лопастное колесо, 3 — приводной двигатель.

затем в сборную емкость. Оттуда насосом суспензия по трубопроводу подается в верхний распределительный желоб и циркулирует по наклонной поверхности культиватора. Ночью и при неблагоприятных погодных условиях суспензия хранится в сборной емкости, где ее активно перемешивают и аэрируют сжатым воздухом. Средний урожай водорослей в этой установке в теплое время года составляет 8,76—12,6 г/м² в сутки.

Установка аналогичной конструкции построена в Болгарии в местности Рупите. Здесь для культивирования водорослей используют воду из термальных минеральных источников, содержащих в значительном количестве карбонаты и свободную углекислоту. Среднесуточная урожайность водорослей летом составляет 20—21 г/м² сухого вещества. В настоящее время в Болгарии намечается строительство крупных установок площадью 500 и 1000 м².

Польские исследователи разработали установки в виде параллельных траншей, расположенных на склоне холма (Анисимов, 1973). Траншеи покрыты светопроницаемой пленкой. Суспензия протекает по траншее в боковой приемник, оттуда самотеком поступает в нижележащую траншею. Продолав зигзагообразный

путь по траншеям, суспензия попадает в нижний приемник и из него при помощи насоса снова подается вверх. Общая длина траншей 200 м, ширина 1 м, толщина слоя суспензии — 7 см. Урожай водорослей в теплое время года составляет 1 г/м² в сутки. Здесь для выращивания водорослей была также использована природная вода с богатым содержанием углекислого газа и некоторых минеральных солей.

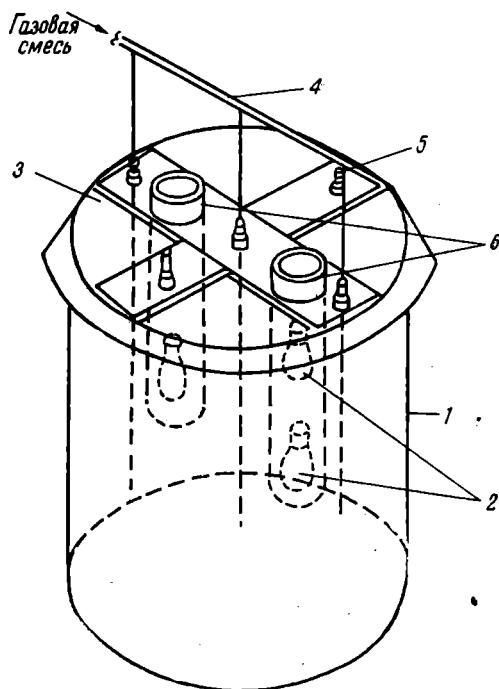


Рис. 5. Установка закрытого типа, созданная в Англии.

1 — цилиндрический резервуар, 2 — лампы для освещения, 3 — крышка резервуара, 4 — трубород для подачи газовой смеси, 5 — фильтрующий клапан, 6 — стеклопластиковый колпак для лампы искусственного освещения.

В США для культивирования водорослей использовали прозрачные плоские трубы, расположенные на крыше специального здания (Arthur, Little, 1953). Трубы шириной 2,22 м и длиной по 20 м, изготовленные из полиэтиленовой пленки толщиной 0,1 м, соединены в кольцо. Культура (объем суспензии 4550 л) с толщиной слоя суспензии около 6 см непрерывно циркулирует. Движение создается центробежным насосом. Для подпитывания культуры углекислотой применяли дымовые промышленные отходы в смеси с воздухом, где содержание CO₂ составляло около 5%. Урожайность водорослей в этой установке за 3 мес. культивирования составляла 33—35 кг сухого вещества, или около 9,7 г с 1 м² в сутки.

В литературе описана еще одна установка закрытого типа в виде ванны из нержавеющей стали (Mayer et al., 1958). Емкость установки 2000 л, глубина 60 см. В ваннах устанавливали светильники для освещения и подогрева суспензии. Перемешивание культуры осуществляли продуванием смеси воздуха с CO₂ при помо-

щи компрессора. Температуру регулировали системой трубчатых теплообменников. Продуктивность каждой ванны 0,5 кг сухой биомассы в день.

В Англии испытывали установку оригинальной конструкции (Анисимов и др., 1973). Она представляет собой цилиндрический резервуар из непрозрачного материала (стеклопластик) емкостью 330 л. Установка имеет крышку, на которой укреплены три лампы искусственного освещения в стеклянных колпаках. Здесь также имеются трубопровод для подачи газовой смеси, фильтрующий клапан, электропроводка, система сбора урожая и долива питательного раствора, патрубки и др. (рис. 5). Смесь воздуха с углекислым газом перед подачей в суспензию стерилизуется. Перемешивание культуры производится подачей воздуха с углекислым газом через барбатор, расположенный на дне резервуара. В этой установке продуктивность водорослей оказалась невысокой, концентрация клеток в суспензии не превышала 5—10 млн в 1 мл.

В США испытана установка из тонкостенных прозрачных полиэтиленовых труб, имеющих вид замкнутого кольца. Объем суспензии 4000 л. Суспензию перемешивали циркуляционным способом при помощи насоса. Однако установка не нашла применения из-за трудности ее эксплуатации и очистки внутренних стенок труб от слипающихся клеток водорослей (Винберг, 1957).

Установки закрытого типа из стеклянных труб созданы в Кабардино-Балкарии и Латвии. Урожайность водорослей в этих установках колеблется в пределах 0,3—3 г/л. Здесь внутренние стороны трубки очищаются с помощью поролоновых пыжей (рис. 6).

В Биологическом институте Ленинградского государственного университета им. А. А. Жданова испытана простая по конструкции и удобная в управлении установка. Это прямоугольный бассейн размером 20 м × 80 см, глубиной 20—25 см. Борта бассейна изготовлены из досок, выстланы картоном, покрыты пленкой. Бассейны можно расположить в любом ровном месте, используя для монтажа обычные доски 40—50 мм. В середине бассейна помещают разделительную доску, не доходящую до краев на 40 см. На одном конце бассейна крепится центробежный насос для перемешивания культуры водорослей. Углекислый газ подается из баллонов непосредственно под крыльчатку водяной турбины или под гребной винт. Емкость установки 1000 л. Урожайность водорослей в условиях Ленинграда в теплое время года достигала 7—11 г сухого вещества с 1 м² в сутки (Паневич и др., 1964, 1965).

Представляет интерес установка типа «Колокол», также созданная специалистами Биологического института ЛГУ. По вертикальной трубе суспензия при помощи насоса подается из бассейна в распыляющее устройство. В результате суспензия образует колоколообразную поверхность; толщина слоя 1—3 мм. Урожай водорослей на этой установке достигает 7—11 г сухой массы в сутки.

При Львовском дрожжевом заводе была построена установка, включающая инокулятор I ступени емкостью 20—30 л, инокулятор II ступени с последовательно расположенными секциями емкостью 50, 100, 200 л и основной культиватор из двух секций по 750 л. В установке поддерживается температура 30—32°C, рН 6,0—7,0. Культуру водорослей выращивают без CO₂ на отходах дрожжевых заводов. На этой установке продуктивность водорослей достигала 3—4 кг сырой массы в сутки.

Представляет интерес установка, разработанная С. А. Барановым (1966). Это круглый бассейн с коническим дном, нижним

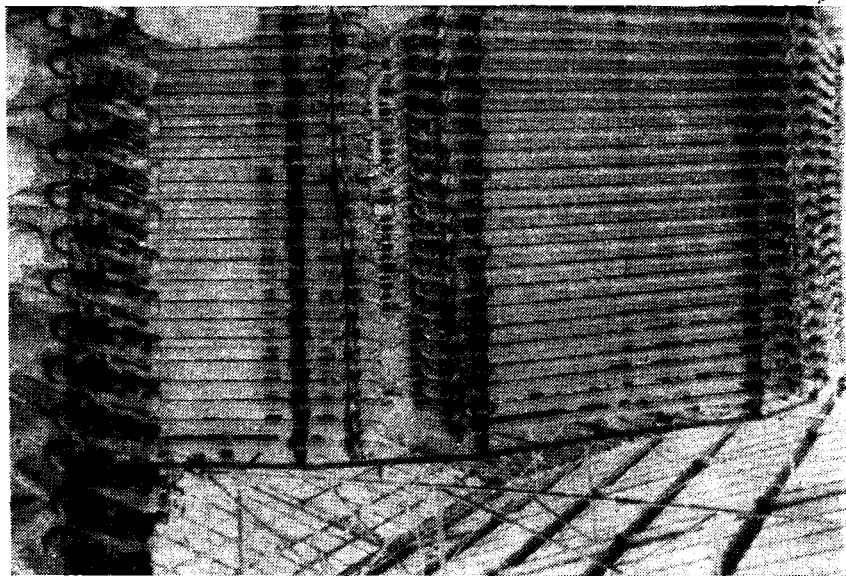


Рис. 6. Трубчатая стеклянная установка, построенная в Кабардино-Балкарии.

сливным отверстием и горизонтальной неполной перегородкой, установленной в середине культиватора. В центре перегородки имеется отверстие с дисковидным пропеллером, вращающимся с помощью электродвигателя. При вращении пропеллера жидкость перекачивается из нижней части установки в верхнюю. Под центральным отверстием перегородки расположена отбойная мембрана, образующая камеру для оседающих клеток и других частиц. По мере накопления клеток в камере они регулярно удаляются из культиватора через сливной кран. Однако описанный культиватор сложен по конструкции и в эксплуатации.

В течение нескольких лет (с 1968 г.) над созданием промышленной установки для культивирования микроводорослей работают специалисты из ВНИИ биотехники Главного управления мик-

робиологической промышленности при Совете Министров СССР. Одна из созданных ими установок построена и испытана на территории гидролизного завода в г. Андижане. Она представляет собой герметичный корпус в виде цилиндра с металлическим дном и светопроницаемой крышей из прозрачного пластика или силикатного стекла. В центре расположена труба, по которой суспензия подается вверх, в сторону вращающегося разбрызгивателя. Оттуда суспензия выходит через вертушку узким веерообразным пучком с высокой скоростью и омывает внутреннюю поверхность крыши культиватора (рис. 7). Диаметр культиватора 3 м, емкость 100 л. Водоросли выращивают на среде из минеральных удобрений и органических веществ. Подпитывание уг-

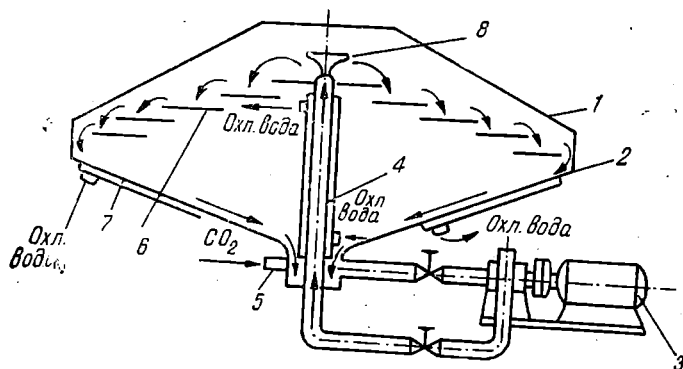


Рис. 7. Схема установки, разработанной во ВНИИ „Биотехника“.

1—корпус установки, 2—собирающий резервуар, 3—насос, 4—труба с теплообменником, 5—патрубок, 6—кольцевые тарелки, 7—поверхностный теплообменник, 8—насадка, подающая суспензию на кольцевые тарелки.

лекислотой осуществлялось путем подачи CO_2 из баллона. Предусмотрено применение искусственного освещения в утренние и вечерние часы весной и осенью. В теплое время года продуктивность водорослей в установке составляет в среднем $19,3 \text{ г/м}^3$ в сутки.

Опытно-промышленная установка с несколькими культиваторами описанного выше типа построена в колхозе «Кавказ» Тбилисского района Краснодарского края. Установка предназначена для получения 40—50 т товарной суспензии в сутки в качестве добавки в рацион сельскохозяйственных животных и домашней птицы.

Различные типы установок для массового культивирования водорослей разработаны исследователями из Института микробиологии АН УзССР. Многие из них уже построены в хозяйствах Узбекистана и других республик и используются для производственного культивирования хлореллы и сценедесмуса с целью применения их в животноводстве, птицеводстве и шелководстве.

Одна из первых установок, созданных в Узбекистане, представлена на рис. 8. Начиная с 1961 г. эта установка рабочей емкостью 22 т функционирует на вегетационной площадке лаборатории водных культур Института микробиологии АН УзССР. При помощи насоса суспензия всасывается из бассейна и по трубе, проложенной по дну культиватора, подается в крестообразно соединенные трубы, вращающиеся по кругу реактивной силой струи суспензии, выходящей из отверстий, сделанных в нижней стороне этих труб. Продуктивность водорослей достигает 0,5—0,8 г/л за 6—7 дней культивирования.

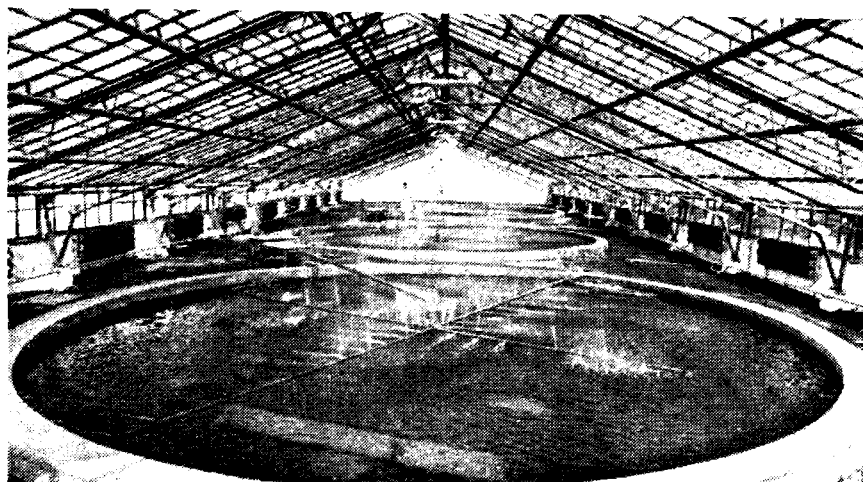


Рис. 8. Круглая цементированная установка, построенная в Узбекистане.

В дальнейшем эту установку усовершенствовали в круглую трехступенчатую. Она состоит из трех каскадно расположенных бассейнов (каждый последующий ниже предыдущего на 15 см), соединенных между собой трубками с задвижками. Перемешивание суспензии производится при помощи гидравлических насосов. Через всасывающую трубу насоса суспензию из бассейна подают в кольцевые трубы диаметром 50 мм, установленные на деревянных подставках внутри бассейна по кругу на высоте 20 см от дна. На наружной и внутренней стороне труб через каждые 50—70 см сделаны отверстия диаметром 5—7 мм, направленные вниз и вперед под углом 30°. Суспензия, выходящая из отверстий под давлением массы культуральной жидкости в бассейне, придает трубам круговое движение. Кроме того, суспензию периодически перемешивают с помощью насосов или мешалок. Все это создает благоприятные условия для хорошего перемешивания и обогащения культуры водорослей углекислотой и воздухом.

Верхний бассейн установки — накопительный, средний — обогащательный, нижний — товарный. В нижний бассейн суспензию

доливают из среднего, в него — из верхнего, куда, в свою очередь, добавляют питательный раствор, приготовленный из минеральных солей. После выхода культуры на плато ежедневно из товарного бассейна снимают определенное количество суспензии для реализации. Таким образом, культивирование водорослей проводится многоступенчатым проточным способом. При высокой температуре и освещенности бассейны частично покрывают марлей для предотвращения перегрева суспензии, а зимой, наоборот,

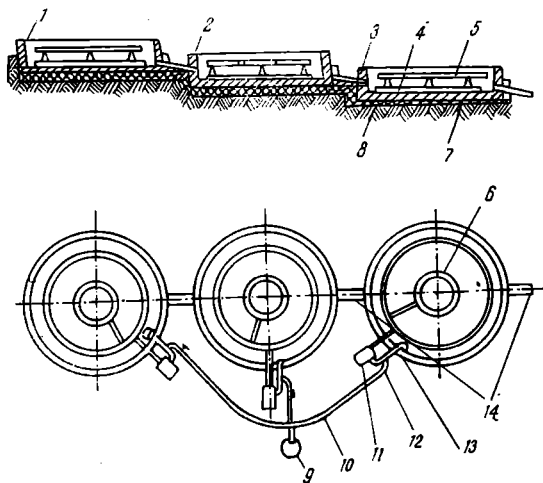


Рис. 9. Схема трехступенчатой круглой установки.

1—накопительный бассейн, 2—обогащительный бассейн, 3—товарный бассейн, 4—термоизоляция, 5—кольцевая труба, 6—центральная кольцевая труба, 7—подставка для кольцевой трубы, 8—труба для подогрева хлореллы, 9—баллон с углекислым газом, 10—труба для подачи CO_2 , 11—центробежный насос, 12—всасывающая труба, 13—нагнетательная труба, 14—сливная труба с вентилем.

обогревают при помощи змеевиков с теплой водой, проходящих по дну бассейнов (рис. 9).

Глубина каждого бассейна 30 см, толщина слоя суспензии 10—12 см. Для подпитывания суспензии углекислотой на дне бассейна укладывают трубку из нержавеющей стали или дюралюминия длиной 3—4 м и диаметром 8—10 мм. От конца трубы через каждые 15—20 см делают отверстия диаметром 2—3 мм. Отверстие на другом конце трубы делают, отступив 30 см, и изгибают его в виде буквы Г с расстоянием от угла 20 см. Этот конец соединен резиновой трубкой с баллоном, содержащим углекислый газ. Для экономии электроэнергии система включения и выключения электропроводов автоматизирована с помощью релейного приспособления с промежутком времени 5 мин. Расход энергии на перемешивание суспензии сокращается на 50%. Продуктивность водорослей на этой установке составляет 14—25 г сухого вещества с 1 м² в сутки.

А. М. Музафаров, Т. Т. Таубаев, К. А. Талипов (1970) разработали новый тип установки. Установка открытая, обеспечена устройствами для приема продуктов сгорания газообразного топлива и регулирования подогрева суспензии в бассейнах до определенной температуры, а также для подачи продуктов сгорания в суспензию. Подача смеси отходящих газов с воздухом в культуру производится под давлением для обеспечения нормального

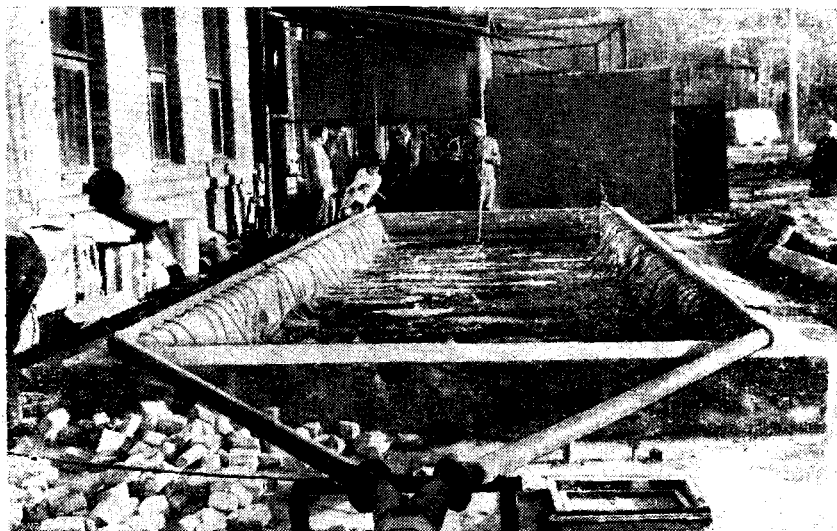


Рис. 10. Технологическая установка, работающая с использованием дымовых отходов

барбатирующая ее без применения дополнительных устройств (рис. 10).

Источником углекислоты служат продукты сгорания бухарского природного газа в промышленных котельнях. Сжигаемый в топке котла газ поступает в горелку, газозвдушная смесь направляется в топку, где происходит ее полное сгорание. Затем продукты сгорания направляются к трубе, идущей в котельную. Продукты сгорания, отсасываемые вентилятором БК-6 производительностью $3 \cdot 10^3$ м³/ч, поступают в газопровод и затем в каналы-обогреватели, расположенные на дне бассейна и, таким образом, подогревают бассейн и находящуюся в нем суспензию.

Дымовые отходы при помощи вентилятора по газопроводу направляются к коллекторам, оттуда — в поперечные трубочки, погруженные в воду и имеющие барбатирующее отверстие. Для регулирования количества поступающих газов до каналов обогревателей установлен шибер. Для улучшения тяги в топке после вентилятора также установлен шибер с регулируемой заслонкой. На концах общих коллекторов установлены задвижки для регулирования напора на поперечных коллекторах и создания нужной

степени барбатажа суспензии водорослей в бассейнах. До вентилятора установлен патрубков, откуда поступает атмосферный воздух, разбавляющий CO_2 в дымовых отходах до концентрации, необходимой для клеток культивируемых микроводорослей. До бассейна в газопроводе установлено еще несколько патрубков, через которые берут пробы для определения концентрации углекислого газа в продуктах газообразного топлива, идущих в бассейн, и измеряют температуру. Таким образом, продукты сгорания, всасываемые вентилятором, поступают вначале в первую половину каналов-обогревателей, затем во вторую и далее в общий продольный распределительный коллектор. В каждой части имеется по 3 канала. Излишек смеси выбрасывается через патрубок, регулируемый шибером.

Смесь продуктов сгорания с воздухом, подаваемая в культиватор-бассейн, выходя через барбатирующие отверстия под давлением 200—300 мм вод. ст., перемешивает суспензию, обогащает клетки микроводорослей углекислым газом, улучшает интенсивность фотосинтеза в них. Напор газа, создаваемый вентилятором высокого давления БК-6 с электромотором мощностью 1,7 кВт, обеспечивает барбатаж и полное перемешивание культуры водорослей на глубину 150—200 мм. Барбатажные трубочки расположены по всем коллекторам, расстояние между их осями 250 мм.

Под напором газа, выходящего через барбатажные трубочки, суспензия циркулирует по коллекторам культиватора. Длина построенного и испытанного бетонного бассейна 12,0 м, ширина — 3,0 м, высота — 0,5 м. Полезный объем бассейна (при высоте водного слоя 15 см) — 5—5,5 м³. Урожайность биомассы в этой установке в зимние месяцы достигает 17—22,5 г/м² сутки.

Работниками проектного института «Узгипросельхозстрой» и Института животноводства Среднеазиатского отделения ВАСХНИЛ создана так называемая «глубинная установка». Глубина основного бассейна до 2 м. Из него суспензия при помощи насоса перекачивается в мелкий лоток глубиной 10—15 см для получения дополнительного освещения. Толщина суспензии в лотках 8—10 см. По дну основного глубокого бассейна проложены барбаты для подвода смеси воздуха с углекислым газом. Установка позволяет получать 50 т товарной суспензии хлореллы в сутки.

Установка работает круглый год, так как в холодное время года тепличное помещение, где расположена установка, отапливается, температура поддерживается в пределах 20—25°C.

Как видно из изложенного выше, установки разнотипны, но по продуктивности микроводорослей различаются мало. Многие из них не нашли широкого применения в практике производственного культивирования микроводорослей и оставались в пределах лабораторного испытания. В большинстве испытанных установок урожайность выращенных водорослей в среднем составляла 10—12 г, лишь в некоторых достигала 15—20 г сухого вещества с 1 м² водной поверхности в сутки.

Большинство установок сложны по конструкции и созданы без учета биологических особенностей культивируемых водорослей. Среди них можно отметить «глубинную установку», в которой плотность клеток хлореллы не превышает 5—10 млн/мл и из-за глубины основного культиваторного бассейна трудно получить суспензию с более высокой концентрацией клеток. Мало подходят для культивирования водорослей так называемые «трубчатые» закрытые установки. В них, кроме устройства для подачи CO_2 , необходимо предусмотреть систему аэрации и очистки внутренней поверхности культиватора от слипающихся клеток.

По мнению некоторых исследователей (Анисимов и др., 1973), культиваторы закрытого типа позволяют получать более высокий урожай водорослей (6—9 г/л), чем открытые системы. В наших исследованиях установлено снижение биохимических качеств при плотностном режиме культивирования водорослей в полупроизводственных установках. Высокую плотность клеток в культуре можно получить в основном в лабораторных условиях и только в малом объеме суспензии в культиваторе. В закрытых системах трудно создать оптимальные условия для культур водорослей без применения сложнейших технических устройств, что, несомненно, удорожает себестоимость производимой продукции. Сами конструкции закрытых установок сложные и дорогостоящие.

Открытые установки просты по конструкции, дешевы и удобны для массового культивирования микроводорослей. К их недостаткам следует отнести загрязнение суспензии из атмосферы, особенно там, где часты ветры, пыльные бури и т. п., а также необходимость применения системы утепления при неблагоприятных погодных условиях.

Основным преимуществом открытых систем является возможность применения естественных энергетических ресурсов, что позволяет снизить себестоимость биомассы водорослей. Их стоимость в 2—3 раза ниже, чем в закрытых системах.

Деление установок на открытые и закрытые, на наш взгляд, условно. В умеренной зоне установки могут функционировать в открытых условиях только в теплое время года, в холодные сезоны они закрыты и находятся в тепличных помещениях.

В теплое время желательно выращивать культуры водорослей в открытых установках, так как при этом нет необходимости в искусственном освещении.

Интенсивная культура водорослей в открытых условиях в теплое время года почти не подвергается заражению зооценозами. Вероятность заражения культур водорослей грибами, вирусами (фагами), зооценозами и другими сорными водорослями в закрытых установках больше, чем в открытых. Влажная застойная теплая атмосфера, создающаяся в закрытых системах, благоприятствует развитию засорителей. В герметически закрытых условиях без аэрации, газообменных и других процессов выращивания фотоавтотрофных микроводорослей почти невозможно. Нежела-

тельно совершенно изолировать культуру водорослей от естественного источника света, атмосферного воздуха и тепла.

Культуру водорослей не обязательно выращивать в течение всего года, можно использовать лишь теплые месяцы, заготавливая биомассу водорослей впрок. В этом случае снижаются затраты, так как нет необходимости в тепличных устройствах. Как видно из наших опытов, в условиях Средней Азии, Казахстана и других южных районов страны культивировать водоросли в открытых бассейнах можно в течение 6—8 мес. без применения тепличных укрытий над культиваторами.

В случае применения обогрева суспензии в открытых бассейнах культивирование водорослей можно проводить круглый год. В этих условиях для обогрева суспензии водорослей можно пользоваться дымовыми отходами котельных, водой горячих минеральных источников и др.

По способам перемешивания суспензии водорослей установки делятся на системы с барбатажным перемешиванием, циркуляционным перемешиванием и перемешиванием с помощью механических мешалок. Наиболее широко распространены установки с циркуляционным перемешиванием. Продуктивность водорослей в них выше.

По данным многих исследователей (Макотро и др., 1970; Таубаев, Нескубо, 1972; Музафаров, Таубаев, 1974; и др.), суспензию хлореллы можно считать товарной, если плотность клеток достигает 20—30 млн/мл и более. Во многих описанных установках можно выращивать хлореллу с указанной плотностью клеток в суспензии. Следовательно, из описанных установок для выращивания товарной суспензии можно выбрать наиболее простую по конструкции и удобную в управлении. Такова круглая цементированная установка, разработанная специалистами Института микробиологии АН УзССР. Стоимость 1 т товарной суспензии хлореллы, получаемой в этой установке (плотность клеток 30—50 млн/мл), составляет 90—98 коп. В связи с этим круглая трехступенчатая установка в настоящее время широко используется во многих хозяйствах Узбекистана и других союзных республик.

С целью получения плотной культуры микроводорослей сотрудники Института микробиологии АН УзССР и специального конструкторского бюро «Шелк» Главного управления шелководства Министерства сельского хозяйства Узбекской ССР разработали установку лоткового типа с циркуляционным перемешиванием. В этой установке за 6—8 дней выращивания хлореллы можно получить суспензию с плотностью клеток 80—100 млн/мл и более. Она состоит из 8 основных железобетонных лотков с радиальными закруглениями по торцам, насоса Зк-45-30 с обвязкой трубопроводов и баллона с редуктором для подачи углекислого газа. Рабочий объем каждого лотка 10—12,5 т при толщине слоя суспензии 10—15 см (рис. 11, 12).

Установки лоткового типа с одним или двумя бассейнами построены почти во всех областях Узбекистана. В основном они применяются для культивирования хлореллы или других микроводорослей с целью использования в шелководстве.

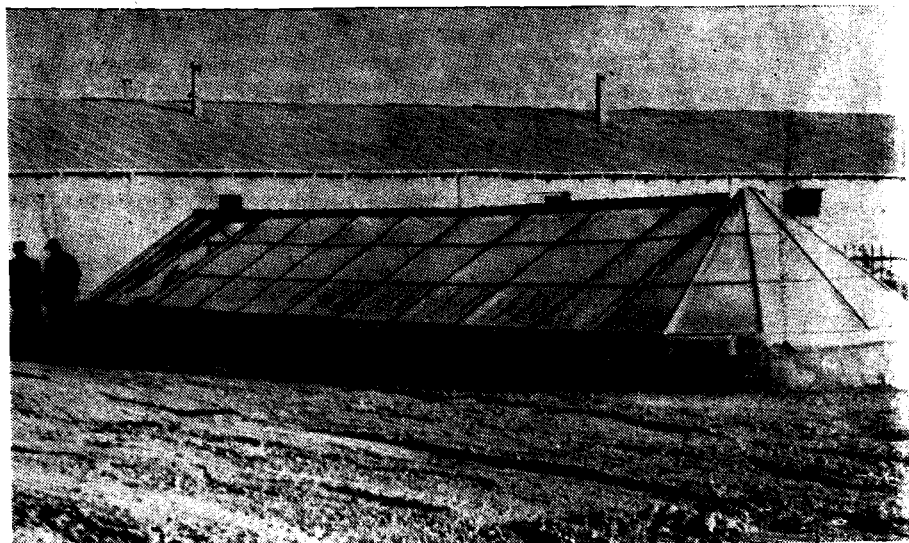


Рис. 11. Общий вид лотковой установки.

Необходима разработка крупной промышленной установки, состоящей из лотковых культиваторов с циркуляционным пере-

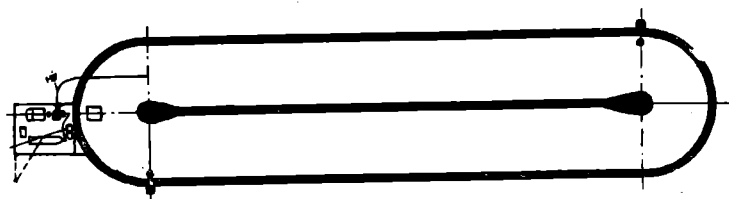


Рис. 12. Схема лотковой установки.

мешиванием. Такие лотковые культиваторы отличаются простой конструкции и наименьшей трудоемкостью в управлении. Их легко монтировать. Товарная суспензия в них самая дешевая, по некоторым расчетам, стоимость 1 т культуры составляет 25—40 коп.

Основываясь на биоэкологических особенностях выращиваемых микроводорослей, можно усовершенствовать существующие установки или создать совершенно новые типы культиватора.

На наш взгляд, при создании новых установок-реакторов необходимо учитывать следующее:

1. Для обеспечения нормального светового освещения в установке толщина слоя суспензии не должна превышать 10—12 см.

2. В установке должно осуществляться хорошее перемешивание суспензии, улучшающее освещенность культур, создающее равномерное распределение питательной среды по всему объему культуральной жидкости и предотвращающее осаждение клеток на дно культиваторов.

3. Необходима достаточная освещенность, в основном естественный свет.

4. Температуру следует поддерживать в пределах 25—35°C.

5. Над поверхностью суспензии водорослей необходим хороший обмен воздуха. При отсутствии обмена воздуха в повышенных температурных условиях культура может погибнуть.

6. При циркуляционном способе перемешивания суспензии водорослей скорость движения ее должна быть не ниже 0,4—0,8 м/с. Для улучшения аэрации, светового освещения желательно обеспечить в культурах турбулентное движение суспензии.

7. При барбатажном способе перемешивания культуры водорослей в бассейнах установки не должно быть застойных мест.

8. Желательно, чтобы культиваторы установки позволяли использовать батарейный способ непрерывности в проточном культивировании.

9. Непрерывную культуру можно проводить отъемно-доливным способом. В этом случае после выхода культуры на плато ежедневно в утреннее время необходимо снимать определенную часть суспензии для реализации. Непрерывность выращивания водорослей не нарушается при ежедневном снятии $1/4$ — $1/6$ урожая. Ночью культура отстаивается. За этот период крупные клетки осаждаются и в нижних слоях суспензии плотность клеток увеличивается в 2—3 раза и более. Снять следует именно эту загущенную часть суспензии для реализации. В этом случае в верхних слоях всегда остается суспензия с молодыми клетками. Она используется для продолжения культивирования.

Следовательно, при разработке новых установок желательно предусмотреть дополнительные устройства для слива и отстаивания суспензии водорослей. Это поможет обеспечить синхронность культуры, выращиваемой в культиваторах.

ПИТАТЕЛЬНЫЕ СРЕДЫ ДЛЯ МАССОВОГО КУЛЬТИВИРОВАНИЯ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ

Питательная среда — это субстрат, содержащий питательные соли, необходимые для поддержания жизненных процессов, протекающих в клетках водорослей, и построения структурных основ этих клеток. Среда может быть твердой, приготовленной из агаризованных основ, или жидкой — из дистиллированной или

относительно чистой воды. Производственное выращивание водорослей осуществляется на жидкой среде различной толщины. В некоторых установках толщина слоя не превышает 3—4 см. Это обеспечивает хорошую освещаемость культур и быструю прогреваемость, что способствует размножению клеток водорослей.

Элементы питания — материальная и жизненная основа существования водорослей. К. А. Тимирязев (1937) писал, что все задачи агрохимии, если вникнуть в их сущность, сводятся к «определению и возможно точному осуществлению условий правильного питания растений».

В растениях найдены значительное количество макро- и микроэлементов. Наиболее важные из них — углерод, кислород, водород, азот, фосфор, калий, магний, кальций, сера, железо, бор, ванадий, йод, кобальт, марганец, медь, молибден, цинк. Все эти элементы в том или ином количестве найдены в биомассе хлореллы и других микроводорослей. Отсутствие одного из этих элементов в питательном растворе вызывает угнетение клеток, снижает скорость их деления и биосинтеза, нарушает внутренние структуры клеток (Гительзон и др., 1966).

Таким образом, рост и развитие водорослей в культуре зависят прежде всего от состава и концентрации питательной среды. При массовом культивировании хлореллы и сценедесмуса обычно используются те же соли, что и при выращивании высших растений.

Однако протококковые водоросли, в отличие от высших растений, способны расти при различных концентрациях солей в питательном растворе. По данным М. Майерса (1953), двадцатикратное повышение концентрации солей KNO_3 , KH_2PO_4 , $MgSO_4$ (от 0,001 до 0,002 М) в питательной среде не оказывало отрицательного влияния на скорость роста штаммов хлореллы. Высокий урожай хлореллы был получен даже при повышении общей концентрации солей в растворе до 0,063 М (Spoehr, Milner, 1949). В наших опытах установлена возможность культивирования хлореллы и других микроводорослей даже в морской воде при добавлении основных питательных элементов.

Важное биологическое свойство микроводорослей — возможность быстро приспосабливаться к различным концентрациям солей в питательном растворе.

Известны различные по концентрации питательные растворы, разработанные с учетом физиологических особенностей микроводорослей в культуре (Артари, 1903; Голлербах, Полянский, 1951; Владимирова, Семененко, 1962; Успенский, 1963; Сиренко и др., 1975). Наиболее концентрированными являются среды Тамия и Майерса (Владимирова, Семененко, 1962), которые обычно используют в закрытых лабораторных реакторах при высокоинтенсивном выращивании микроводорослей. В. В. Пиневиц, Н. Н. Верзилин (1963) в полупроизводственной культуре водорослей использовали модифицированную среду Тамия.

Одним из важных биогенных элементов питательных сред является азот. Его концентрация в питательных средах различна. В среде Тамия его концентрация составляет 280 мг/л. Лучший результат в массовой культуре водорослей был получен при низких фоновых концентрациях азота в питательном растворе (Гиттельзон и др., 1964). Оптимальная концентрация — 20—25 мг/л.

По Н. С. Гаевской (1957—1959), оптимальной фоновой концентрацией для штаммов хлореллы и сценедесмуса является концентрация азота 15—75 мг/л. А. М. Музафаров и др. (1966) считают, что при использовании суспензии хлореллы в качестве биологического стимулятора лучше культивировать ее на разбавленных питательных средах. По мнению авторов, наиболее приемлемой средой для микроводорослей является питательный раствор 04 модификации Т. Г. Таубаева и Х. Ф. Якубова (1972). В этой среде концентрация азота составляет 43 мг/л раствора.

Водоросли нуждаются как в неорганических, так и в органических формах азота. Метаболизм источника азота обеспечивает главным образом синтез белков, нуклеиновых кислот, полимеров клеточной стенки и др. (Перт, 1978). По мнению некоторых исследователей (Милоградова, Музафаров, 1961; Пиневич, Верзилин, 1963), рост водорослей в культуре зависит также от форм минерального азота. Аммиачный азот наиболее благоприятен для массового культивирования хлореллы и других протококковых водорослей. В. В. Пиневич и др. (1966) отмечают, что на аммонийном источнике азота, вносимого регулярно в небольших дозах, урожай водорослей выше, чем при культивировании на нитратах.

Потребность в азоте различна не только у отдельных видов, но и у отдельных групп водорослей. Наименее требовательны к нему диатомовые, наиболее — зеленые, особенно протококковые водоросли (Гусева, 1961). Степень усвоения азота зависит также от возраста культуры. У хлореллы содержание азота в клетках с возрастом постепенно уменьшается. Хлорелла легко усваивает азот из солей $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ и NH_4NO_3 , несколько хуже — из KNO_3 . Хлорелла хорошо растет также на мочеvine, которая, однако, при повышенных температурах разлагается и может вызвать аммиачное отравление. По мнению Е. И. Милоградской и А. М. Музафарова (1966), при использовании мочевины резко повышается pH среды и суспензия поражается микроорганизмами. Для поддержания нормального роста водорослей pH среды следует поддерживать в пределах 5,2—7,0.

При интенсивном культивировании водорослей концентрация азота в фоновой среде должна быть выше (50—250 мг/л), чем при экстенсивном (Гиттельзон и др., 1964). Установлено (Садыкова, 1967), что водоросли лучше растут на аммонийной форме азота. По мнению Г. М. Пальмар-Мордвинцевой (1964), при использовании указанной формы азота может выделяться аммиак, который при высокой концентрации оказывает токсическое действие на водоросли. Поэтому многие исследователи считают наиболее

целесообразным использование азота в нитратной форме (Пиневич, 1963).

Мы применяли в опытах азот в виде азотнокислого и сернокислого аммония. По мнению исследователей, водоросли сначала потребляют аммонийный азот, затем нитратный (Музафаров и др., 1961).

Многие авторы рекомендуют использовать азот в следующей последовательности: сначала аммиачный, затем мочевины и в последнюю очередь нитратный. Однако это усложняет процесс добавления азота в среду, и поэтому в наших опытах в качестве источника азота в среде использовался главным образом сернокислый аммоний — $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

В жизни водорослей важное значение имеет также фосфор. Он входит в состав нуклеиновых кислот, фосфолипидов, полиммеров клеточной стенки и др. Нередко накапливается в клетке в виде полиметафосфата. По мнению К. А. Гусевой и др. (1961), присутствие фосфорных солей в питательном растворе — важный фактор нормального роста и развития водорослей. Установлено, что рост клеток водорослей продолжается до тех пор, пока весь фосфор не будет исчерпан из питательного раствора (Роде, 1948; Гесснер, 1959). Повышенное содержание фосфора в среде может тормозить рост и развитие клеток водорослей. Наиболее активными потребителями являются зеленые водоросли, однако потребность в фосфоре у них значительно меньше, чем в азоте. Водоросли могут использовать минеральный и органический фосфор (Кабанова, 1958), но больше всего они нуждаются в неорганических источниках фосфорного питания (Гесснер, 1959). В питательных средах в основном используются соли фосфора $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ и KH_2PO_4 .

В обмене веществ, проходящем в клетках микроводорослей, важную роль играют также калий, магний, кальций. Они влияют главным образом на гидратацию коллоидов протоплазмы (Либберт, 1976). Содержатся преимущественно в виде свободных или адсорбированных ионов, а Mg и Ca также в хелатах.

Соли Mg и Ca входят в состав срединных пластинок (пектаты) и фитина. Mg и Ca действуют как стабилизаторы структуры в рибосомах (Mg), хромосомах и мембранах (Ca). Mg и K являются кофакторами многочисленных ферментов (Либберт, 1976).

При недостатке Ca наблюдается повреждение меристемы, Mg — возникает хлороз.

Ионы калия способны выполнять роль коферментов и, возможно, играть роль катионов в структуре РНК и других анионных структурах в клетке (Перт, 1978). Магний принимает участие также в синтезе хлорофилла.

В состав питательных сред для водорослей входит также сера, необходимая для синтеза некоторых аминокислот и для образования сульфогрупп в некоторых коферментах.

Во всех питательных средах необходимо присутствие микроэлементов. Микроэлементы имеют большое значение в жизни растительных и животных организмов. Добавление их в питательную среду стимулирует рост водорослей, повышает урожай, улучшает качество их биомассы (Школьник, 1950). Микроэлементы в значительной степени определяют продуктивность водорослей и направленность биосинтеза в их клетках (Упитис, 1979). К числу основных физиологически необходимых микроэлементов относятся Mn, Fe, Cu, Zn, Mo, B, Co.

В применении микроэлементов, в определении их концентрации до сих пор существуют разногласия. Однако в основном используются концентрации микроэлементов, рекомендованные D. Arnon (1938) для высших растений.

К числу необходимых микроэлементов относится железо, действующее как составная часть ферментов или как кофактор ферментов. Оно необходимо для синтеза хлорофилла, его недостаток у зеленых растений вызывает хлороз. По данным некоторых исследователей (Успенский, 1924; Успенская, 1966), оптимальная концентрация железа в растворе составляет 0,14—1,4 мг/л.

Соли железа обычно быстро выпадают в осадок. Для предотвращения этого рекомендуют добавлять в питательный раствор земляную вытяжку (гумматы) или комплексные соединения — этилендиаминтетрауксусную кислоту (ЕДТА). Внесение органических веществ в питательный раствор не только способствует активному усвоению клеткой микроводорослей железа, но и обогащает среду питательными элементами.

Клетки хлореллы особенно чувствительны к недостатку железа. При его дефиците в питательном растворе сильно задерживается рост, снижается содержание хлорофилла, клетки становятся мелкими, наблюдается деление клеток, не достигших нормальной величины. Для хлореллы и сценедесмуса оптимальная концентрация железа 5—50 мг/л. Избыток железа в растворе проявляет защитное действие в случае повышенной концентрации других элементов (Упитис, 1979).

Необходимым и незаменимым элементом в процессе фотосинтеза является медь (Арнон, 1958; Островская, 1976). Ее концентрация для хлореллы должна составлять 0,01—0,1 мг/л. Медь характеризуется выраженной токсичностью в случаях превышения ее предельных концентраций. Однако оптимальные для водорослей ее концентрации обычно зависят от условий культивирования. По мнению В. Упитис (1979), диапазон оптимальный для водорослей концентрации меди расширяется при следующих условиях: 1) нейтральная или щелочная среда, 2) большая плотность клеток в суспензии, 3) высокое содержание железа в среде, 4) присутствие в питательной среде хелатирующего агента ЭДТА, 5) усиленная аэрация культуры. При этом концентрация меди, не оказывающая токсического действия, может быть увеличена в 5—10 раз и более. Если эти условия не будут соблюде-

ны, то токсичными для хлореллы и других микроводорослей могут быть уже сотые доли миллиграмма меди на 1 л питательного раствора. При токсическом действии меди нарушаются мембранные барьеры клеток, процессы их деления.

Важное значение имеет добавление в питательный раствор марганца. По М. Я. Школьникову (1950), марганец действует на ферменты, витамины и гормоны, принимает участие в углеводном обмене и в окислительно-восстановительных процессах, проходящих в организме. Марганец предохраняет клетки от чрезмерного накопления в них активного железа и отравления им (Успенская, 1966).

Оптимальные для хлореллы концентрации марганца — 0,5—1 мг/л. Марганец в высоких концентрациях токсичен для хлореллы. По мнению некоторых авторов (Успенская, 1966), добавления в питательный раствор 0,2 мг/л марганца достаточно для увеличения урожая водорослей в 10—600 раз.

По данным В. П. Костиной (1966), добавление цинка, марганца и ванадия в питательную среду стимулирует рост хлореллы в культуре. Микроэлементы — марганец, цинк, бор, молибден, кобальт — необходимы для всех видов растений. Ванадий для зеленых водорослей незаменим (Школьник, 1963).

Кобальт необходим для синтеза витамина B₁₂.

Одним из важных микроэлементов является кремний. Он играет большую роль в удержании железа в питательном растворе в доступной форме для водорослей. Кроме того, кремний входит в состав клеточной оболочки (Успенская, 1963).

При недостатке марганца наблюдается образование крупных неделяющихся клеток в культуре.

При добавлении микроэлементов в раствор следует учитывать их концентрацию в воде, используемой для культивирования водорослей. Это особенно необходимо тогда, когда вода поступает из минеральных источников, содержащих микроэлементы, так как повышение концентрации некоторых микроэлементов (кадмий, никель, хром) может оказаться токсичным. При нормальной обеспеченности хлореллы микроэлементами их содержание в клетках (мг/кг сухого вещества) следующее: Fe — 200—800, Mn — 30—80, Cu — 4—10, Zn — 20—30, Mo — 0,4—0,6 (Упитис, 1979).

Таким образом, микроэлементы — составная часть питательных сред, применяемых в практике массового культивирования микроводорослей.

Для культивирования протококковых водорослей рекомендуются следующие питательные среды:

Среда Тамия

г/л воды

KNO₃ — 5,0

MgSO₄·7H₂O — 2,5

Среда Бейсеринка

NH₄NO₃ — 0,5

K₂HPO₄ — 0,2

MgSO₄·7H₂O — 0,2

KH_2PO_4 —1,25
 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ —0,003

Раствор микроэлементов

1 мл
0,037

Среда Прата

KNO_3 —0,1
 KH_2PO_4 —0,01
 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ —0,01
 $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ —0,001
Агар-агар—1,2%

Среда Майерса

KNO_3 —1,213
 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ —1,204
 KH_2PO_4 —1,224
 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ —0,0747
Раствор микро-
элементов 0,2—0,5 мл/л

Среда Ягужинского

г/л воды
 KNO_3 —0,5
 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ —0,1
 Na_2HPO_4 —0,2
 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ —2 мг/л

В биологическом институте Ленинградского Государственного университета при культивировании водорослей под открытым небом используется следующая питательная среда (в расчете на 1 л): KNO_3 —2 г; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ —0,3; KH_2PO_4 —0,3; $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ —5,0 мг; $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ —10,0; $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ —0,02; $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ —0,01 мг; $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ —0,04; MnSO_4 —1,0; H_3BO_3 —0,6; $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ —0,5 мг; EDTA—0,3 мг.

Значительную работу по изучению минерального питания микроводорослей проводил В. В. Упитис (1979), составивший питательные среды для культивирования хлореллы, сбалансированные по макро- и микроэлементам. Для производственного культивирования водорослей разработана среда А-5П, в состав которой входят следующие микроэлементы: мочевина—1,8 г/л; калимагнезия—0,4; аммофос—0,5; мел—0,6. Микроэлементы применяются в следующих концентрациях (мг на 1 л питательной среды): Fe—5, Mn—0,2, Cu—0,02, Zn—0,04, В—0,1, Мо—0,02. По мнению автора, указанная среда может быть использована без регуляции pH. Выносимые с биомассой микроводорослей элементы возмещаются путем добавления раствора концентрации в 100 раз большей, чем исходная среда. На каждый грамм

$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ —0,1

FeCl_3 —1 капля
1%-ного
раствора

Среда Вича

$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ —0,5
 MgSO_4 —0,1
 KH_2PO_4 —0,15
 KNO_3 —0,15
Fe (молочноокис-
лое)—0,6

Раствор микроэлементов

г/л воды
 H_3BO_3 —2,86
 $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ —1,81
 $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ —0,222
 MoO_3 —176,4 мг/10 л
 NH_4VO_3 —229,6 мг/10 л
 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ —0,01 мг/л
 $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ —0,146
KJ—0,083
 $\text{NaWO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ —0,033
 $\text{NiSO}_4(\text{NH}_4)\text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ —0,198

отчуждаемой биомассы добавляется 1 мл концентрированного раствора с учетом поддержания концентрации элементов в среде в пределах 20—100% от исходной.

В наших исследованиях использовалась среда 04 следующего состава: $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ —0,2 г/л; $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ —0,03; $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ —0,03; NaHCO_3 —0,1; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ —0,08; KCl —0,025; FeCl_3 —1% раствор—0,15 мл; почвенный экстракт—0,5 мл; раствор микроэлементов—1 мл.

Среда 04—раствор средней концентрации. В ней развитие водорослей начинается сразу и при применении суспензии для животных не оказывает отрицательного влияния на них. Раствор высокой концентрации солей (например, среда Тамия) нередко вызывает расстройство желудка у животных.

В среде 04 содержится 43 мг азота, что может обеспечивать урожайность водорослей 0,7—0,9 г/л сухого вещества. Поскольку фоновое содержание азота в растворе необходимо поддерживать на высоком уровне, мы решили повысить концентрацию его в среде 04 и применить ее в следующей модификации (в расчете на 1 л): $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ —0,045 г; KH_2PO_4 —0,077 г; $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ —0,1 г; NaHCO_3 —0,12 г; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ —0,037 г, KCl —0,3 мг, FeCl_3 (1% раствор); 0,5 мл почвенной вытяжки. Замена солей $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ и CaSO_4 в среде 04 солями KH_2PO_4 и $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ объясняется, во-первых, их невысокой стоимостью, во-вторых, хорошей растворимостью в воде (особенно KH_2PO_4). Кроме того, в составе микроэлементов, добавляемых в среду 04, применяли йод и кобальт в виде солей KJ и $\text{Co}(\text{NO}_3)_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$.

В наших исследованиях установлена возможность замены некоторых химически чистых солей солями, широко применяемыми в сельском хозяйстве. Сернокислый аммоний в составе стандартной среды 04 был заменен аммиачной селитрой, а однозамещенный фосфорнокислый аммоний — суперфосфатом. В суперфосфате содержится 9 или 18% P_2O_5 , поэтому в модифицированной среде 04 его концентрацию пришлось снизить до 0,3 или 0,6 г/л. Для использования суперфосфата в данной среде в специальных сосудах готовили его раствор, затем при помощи сифона сливали его в бассейн.

Опыты показали, что урожайность водорослей на модифицированной среде с использованием некоторых технических солей составляла 22—24,5 г/м² и более сухого вещества в сутки, а на стандартной среде 04 — 22,5—25,6 г/м².

Модифицированная среда в настоящее время широко используется во всех хозяйствах УзССР, имеющих реакторы-установки производства культуривирования микроводорослей. Аммиачная селитра и суперфосфат легко доступны, себестоимость биомассы водорослей на этих солях намного ниже, чем на химически чистых реактивах.

При культивировании штаммов хлореллы и сценедесмуса лучший рост водорослей наблюдался на аммонийном фоне. Урожай-

ность водорослей достигала 1—2 г/л (на нитратном фоне — 0,8 г/л) сухого вещества. По-видимому, это связано с лучшей усвояемостью аммонийного азота по сравнению с нитратным. На аммиачном фоне особенно хороший рост наблюдался у сценедесмуса. Культура этой водоросли вышла на плато на 1—2 дня раньше, чем культура хлореллы.

Сбалансирование элементов в питательной среде — необходимое условие для нормального роста водорослей и накопления их биомассы в культиваторах. Одноразовое внесение питательной среды в культуральный раствор не обеспечивает нахождения всех ионов в необходимом количестве до выхода культуры на плато. Некоторые биогенные элементы (азот, фосфор) быстро усваиваются клетками водорослей и их ионы исчезают из культуральной жидкости. Это приводит к нарушению баланса питательных солей и вызывает задержку синтеза органических веществ в культуре.

Для обеспечения постоянного присутствия ионов питательных элементов по мере повышения плотности клеток водорослей в культуре в среду добавляли соли азота — быстро убывающего элемента. При батарейном способе выращивания водорослей нахождение суспензии в культиваторе длится 7—8 дней. За это время в равнинных районах Узбекистана и других среднеазиатских республик культура водорослей на среде 04 зачастую выходит на плато. Во многих случаях убывание азота в культуральной среде на 3-й день срока культивирования составляет 50—60%, на 4—5-й — 80—90%. Чтобы поддержать в культуральной среде концентрацию азота на оптимальном уровне, на 4-й день культивирования добавляли соли азота в исходном количестве. Однако при этом несколько удлиняется срок выхода культуры на плато. Плотность культуры по сравнению с контролем увеличилась, и суспензия при активном росте водорослей находилась в свежем состоянии. Качество суспензии, реализованной на стадии активного роста водорослей, выше, чем суспензии, полученной после выхода культуры на плато.

При гомогенно непрерывном способе выращивания водорослей в культуральную жидкость добавляют среду 04 нашей модификации в количестве 50% через каждые 3 дня (кроме добавления среды в виде питательного раствора в объеме суспензий, снятой из культиватора). В этих случаях основные биогенные элементы присутствуют в среде в более или менее сбалансированном состоянии, что способствует нормальному росту клеток водорослей и накоплению их биомассы.

Органические отходы промышленности и сельскохозяйственного производства широко используются в качестве удобрения для многих сельскохозяйственных культур. Однако эти отходы до недавнего времени почти не использовались в практике массового культивирования водорослей.

Анализы показывают, что органические отходы богаты био-

генными элементами. Простые органические соединения или элементы минерализации этих веществ могут быть использованы в питании водорослей.

По данным японских исследователей (Nakamura, 1964; и др.), микроводоросли хорошо размножаются на отходах рыбоводства. Испражнения рыб в прудах также служат питательной средой для микроводорослей. Навоз, фекалии и другие отходы после предварительного брожения в специальных емкостях использовались для культивирования хлореллы, сценедесмуса и других микроводорослей.

Установлена возможность выращивания водорослей на органической среде из фекальных отходов кроликов, уток, кур (Баранов и др., 1964; Музафаров, Таубаев, 1974). По данным С. А. Баранова и др. (1964), наилучшее развитие микроводорослей отмечено на разведениях суточной нормы выделений человека в 80—160 л кроликов, а уток — в 4 л. Авторы пишут, что при накопительном культивировании хлореллы и сценедесмуса в малом объеме оптимальные условия создавались при разведении суточной нормы выделений в количестве литров воды, которое примерно вдвое больше массы человека или животного.

Т. В. Васигов (1971) в опытах по культивированию водорослей использовал перепревший овечий навоз. По мнению автора, вытяжки перепревшего овечьего навоза — удовлетворительная питательная среда для хлореллы, сценедесмуса и других микроводорослей.

Некоторые исследователи (Ляхнович и др., 1967) рекомендуют добавлять органические вещества в стандартные питательные среды. В этом случае, по мнению исследователей, наблюдается лучший рост микроводорослей в культуре. Добавление картофельного сока в среду Тамия значительно увеличивает содержание хлорофилла в клетках и накопление биомассы в культиваторах. Так, за 26 дней выращивания хлореллы на среде Тамия содержание хлорофилла в клетках достигало 34—40 мг/л суспензии, а на среде Тамия с добавлением картофельного сока за тот же период — 157—172 мг/л. При этом выход биомассы на чистой среде Тамия составил 1,7 г, а на среде с картофельным соком — 4,1 г/л.

Увеличение биомассы водорослей в культуре наблюдалось и при добавлении в стандартную питательную среду вытяжки из куриного помета, куколок тутового шелкопряда и др. (Музафаров, Таубаев, 1974). Добавление 5—10% куриного помета в среду 04 увеличивает урожайность хлореллы, сценедесмуса и других микроводорослей на 50—70% по сравнению с контролем.

На органо-минеральной среде культура водорослей имеет темно-зеленый цвет, клетки характеризуются увеличенным размером. Особенно хороший рост водорослей наблюдается на органической среде, приготовленной из куколок тутового шелкопряда (Якубов, Эльмурадов, 1975). Такая среда в концентрации 5—6 г/л являет-

ся оптимальной для роста, развития и размножения многих протоккокковых водорослей в культуре.

Таким образом, по мнению многих исследователей, органические и органико-минеральные смеси могут служить богатым источником питательных веществ и широко использоваться в практике массового культивирования микроводорослей.

Из органических питательных сред можно указать следующие: куриный помет (6—10 г/л), куколки тутового шелкопряда (5—6), овечий навоз (5—6), коровий навоз (5—6), коммунально-бытовые сточные жидкости, без разведения и с разведением до 50%, отходы бродильных производств, состоящие из 30 мл исходного раствора паточной барды, 10 мл исходного раствора кукурузного экстракта.

Добавляя в соответствующей концентрации органические вещества в стандартные питательные среды, можно готовить органико-минеральные смеси для использования в массовой культуре водорослей. Положительное влияние органических видов удобрений на водоросли обусловлено следующими причинами.

1. Обогащенность азотом и другими биогенными элементами.
2. Питание водорослей углекислым газом, который выделяется при окислительно-восстановительной реакции, проходящей при разложении органических веществ.
3. Бурное развитие гетеротрофных микроорганизмов, в результате которого нерастворимые соединения элементов минерального питания переходят в усвояемые растениями формы.
4. Обогащение среды «водным гумусом», положительно влияющим на рост и развитие водорослей.

5. Высокое содержание ростстимулирующих веществ. Анализы показали, что в курином помете содержится 43—56,7 мкг/г ростовых веществ, в куколках тутового шелкопряда — 56—65, в навозе крупного рогатого скота — 2,7—3. Они богаты также витаминами РР, В₁₂ и др.

Основоположник учения о минеральном питании растений Д. Н. Прянишников (1962) отметил, что при совместном применении органических и минеральных удобрений, взаимно дополняющих друг друга, можно повысить урожай сельскохозяйственных культур в 2—3 раза.

Многие водоросли на свету лучше усваивают органические вещества, при этом их рост и развитие увеличиваются в 2 раза и более по сравнению с культивированием на чисто минеральной среде (Курсанов и др., 1947). Из органических веществ водоросли хорошо усваивают растворимые сахара, соли органических кислот, водорастворимые белки, аминокислоты и др. (Артари, 1903; Курсанов и др., 1947; и др.).

Однако в практике производственного культивирования водорослей органические удобрения не находят широкого применения, что объясняется недостаточной изученностью органических источников питания в культуре водорослей, а также специфическими особенностями их применения.

А. М. Музафаров, Т. Т. Таубаев (1974) в массовой культуре протококковых микроводорослей использовали вытяжки из куриного помета в концентрации 6—20 г/л. Эти же авторы в качестве питательной среды для хлореллы и сценедесмуса использовали экскременты тутового шелкопряда в концентрации 2—5 г/л.

Многие авторы отмечают возможность интенсификации очистки сточных вод при помощи культур различных микроводорослей (Винберг, Сивко, 1956; Освальд, 1958; Винберг и др., 1966; Матвиенко, 1967; Догадина, 1970; Таубаев, Буриев, 1980; и др.).

Роль некоторых видов водорослей в самоочищении вод отмечена во многих работах (Доливо-Добровольский, 1959; Скадовский, Телитченко, 1965; Винберг и др., 1966; Музафаров, Таубаев, 1972, 1975; Кравец, 1974; и др.). Это показывает возможность использования сточных вод в качестве питательной среды для протококковых микроводорослей. По данным В. В. Кравца (1974), на сточных водах комбината химического волокна наиболее продуктивны *Chlorella vulgaris*, *Ch. pyrenoidosa* и др. Их интенсивное развитие отмечено в весенне-летний период. Осенью и зимой в биологических прудах преобладали виды родов *Chlorogonium*, *Chlamydomonas*, *Phacus*, *Nitzschia*. Водоросли хорошо развивались и на стоках фабрики первичной обработки шерсти (Кравец, 1974).

При культивировании на сточных водах некоторые виды водорослей (*Scenedesmus quadricauda* и др.) характеризуются бактерицидными свойствами. По мнению многих авторов, почти все штаммы видов хлореллы и сценедесмуса бактерицидны (Доливо-Добровольский, 1972; Таубаев, Буриев, 1979; и др.).

В органической питательной среде наиболее отзывчивы водоросли из рода *Chlorella*. Эти водоросли в качестве источника азота хорошо используют аммиак, мочевины и нитраты (Жарова, 1972).

Существует термофильный штамм *Chlorella vulgaris* 62, который нормально растет на воде, содержащей 200—400 мг/л азота мочевины и аммиака с добавкой других биогенных элементов.

Отмечено массовое развитие планктонных зеленых водорослей в биологических прудах, заполняемых сточными водами (Винберг и др., 1961, 1966). Особенно интенсивное развитие водорослей наблюдается на стоках молочной, сахарной и мясной промышленности (Pytlik, 1954, 1961; Юзвенко, 1973; Тоом и др., 1974):

И. Кабирова (1966) считает возможным культивирование водорослей на производственной сточной жидкости Ташкентской шелкомотальной фабрики. На стоке наблюдался быстрый рост хлореллы без добавления других питательных компонентов.

Т. Т. Таубаев, С. Буриев культивировали на смешанных городских стоках многие виды микроводорослей. Лучший рост хлореллы и сценедесмуса отмечался на смешанных сточных водах, содержащих нефтяные отходы (1979). По мнению авторов, на промышленных стоках нефтеперерабатывающих, азотнотуковых заводов и шелкомотальных фабрик, содержащих 60% фе-

кальных стоков, хорошо растут и размножаются почти все виды хлореллы и сценедесмуса. В чистых промышленных стоках водоросли гибнут.

По мнению Н. А. Мошковой, А. Ф. Беренштейна (1967), отходы спиртовых и кукурузно-крахмальных заводов могут служить питательной средой для культивирования протоккокковых водорослей. Паточная барда после отгонки спирта, сепарации дрожжей содержит фруктозиды, глюкозу, арабинозу, кестозу, раффинозу и продукты конденсации их с аминокислотами. В барде обнаружены также аспарагин, глютаминовая, аспарагиновая и другие органические кислоты, различные формы азота: растворимый, амидный, аммиачный. В упаренной барде найдены витамины, никотиновая кислота, рабофлавин, пиридоксин, пантотеновая кислота, биотин, фолиевая кислота и др. В золе барды содержатся К, Na, Ca, Si, S, Fe, Mn, Co, Cu. Кроме того, в барде всегда присутствуют органические и неорганические соединения фосфора.

В приготовлении питательной среды, кроме барды, используются кукурузный экстракт и вода. Кукурузный экстракт содержит: азота 0,5%, фосфора 705 мг%, сухих веществ 49,5%. Его используют в свежем виде.

Исследователи (Мошкова и др., 1967) считают, что среда, содержащая 3% исходного раствора упаренной паточной барды и 1% исходного раствора упаренного кукурузного экстракта, оптимальна для массового культивирования хлореллы и других микроводорослей.

СНАБЖЕНИЕ КУЛЬТУРЫ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ УГЛЕКИСЛЫМ ГАЗОМ

Из-за плохой диффузии углекислого газа в водной среде его используют в чистом виде или в смеси с воздухом.

По данным Г. И. Мелешко и др. (1965), концентрация углекислого газа зависит от плотности клеток водорослей в суспензии. Так, при плотности клеток хлореллы 100—150 млн/мл углекислотное насыщение фотосинтеза происходит при концентрации CO_2 в газовой смеси 0,2%, а при 4—5 млрд. — 4,5—5,5%.

Интенсивность биосинтеза водорослей зависит от концентрации CO_2 в подаваемом в культуру воздухе. Высокий урожай биомассы (1 г на 1 л/ч) был получен при концентрации CO_2 в газовой смеси 0,8%. Повышение концентрации CO_2 до 5,8% не влияло на выход урожая, а уменьшение до 0,2% снизило продуктивность хлореллы в 2 раза.

При массовом выращивании водорослей под открытым небом они обеспечиваются углекислым газом в смеси с воздухом, содержащим 1—5% CO_2 . Газовую смесь направляют в суспензию при помощи компрессора через перфорированные трубы, уложенные на дне культиваторов (Lummert et al., 1953; Mituya et al., 1953; Музафаров, Таубаев, 1968; и др.). Углекислый газ подается через

трубы, уложенные на дно культиватора, или с током суспензии через центробежный насос (Пиневиц, Верзилин, 1963; Музафаров и др., 1965).

Высокая продуктивность водорослей при массовом культивировании в установках под открытым небом наблюдается при подаче CO_2 в культуру водорослей в количестве 0,09—0,1 л/м² в 1 мин (Пиневиц, Верзилин, 1963; Музафаров, Милоградова, 1966; и др.). По наблюдению В. В. Пиневица и др. (1963), утилизация CO_2 водорослями при массовом культивировании их под открытым небом составляет 8—15%, а при интенсивном лабораторном культивировании — более 50%. Высокую утилизацию CO_2 (до 30%) водорослями можно получить путем культивирования их на наименее плодотворном участке кривой роста и снижая подачу CO_2 в утренние, вечерние часы и в пасмурные дни (Krauss, 1962; Верзилин, 1966; Zahradnik, 1967; и др.).

При массовом культивировании микроводорослей мы использовали чистую углекислоту из баллона. CO_2 в суспензию подавали, вдувая его через перфорированные трубы, уложенные на дно круглых цементированных установок, или пропуская через центробежный насос. Дневная норма CO_2 составляла 0,05—0,1 л/м² в 1 мин. Углекислый газ подавали только при перемешивании суспензии водорослей в культиваторах. По мере повышения плотности клеток концентрацию углекислого газа увеличивали.

До сих пор при массовом культивировании водорослей использовали чистый углекислый газ из баллона. Однако с целью удешевления себестоимости продукции необходимо изыскание новых источников углекислого газа. Расход на углекислоту в процессе культивирования микроводорослей составляет не менее 20% общей затраты (Nakamura, 1963; и др.). По расчетам И. И. Гительзона и др. (1966), для производства 1 т сухой массы в современных установках расходуется 3750—8000 м³ углекислого газа.

Содержание углекислого газа в воздухе составляет в среднем 0,02—0,03%. При хорошем солнечном освещении обогащение воздушной среды углекислым газом способствует повышению урожая высших растений (Демусси, 1903; Фишер, 1912; Чиноков, Киселев, 1914; и др.).

Обогащение воздуха углекислым газом осуществлялось главным образом в тепличном и парниковом растениеводстве. Однако были попытки использовать этот метод в полевых условиях (Гордиенко, 1935). В этом случае использовались очищенные газовые отходы промышленных предприятий и др.

Некоторые ученые для повышения урожая растений предлагают обогащать углекислым газом поливную воду (Рихтер и др., 1940).

Изучалась возможность применения различных газовых отходов и других источников углекислого газа (Gummert и др., 1953; Nakamura, 1961; и др.).

В Болгарии (Дилов, 1975) и в Венгрии (Шаркань, 1975; и др.) для массового культивирования водорослей используют углекислоту, содержащуюся в минеральных источниках. Сложность этого метода состоит в том, что установки, предназначенные для производственного культивирования водорослей, необходимо строить в районе выхода минеральных источников с богатым содержанием углекислого газа. Урожайность микроводорослей при этом составляет 15—18 г сухой массы с 1 м² в сутки.

Немецкие ученые (Gammert et al., 1953) проводили опыты по изучению возможности применения углекислоты промышленных газов Рура для выращивания водорослей. Однако этот метод не нашел широкого распространения в практике массового культивирования водорослей из-за необходимости их очистки от вредных примесей.

В Японии использовали углекислый газ, полученный при подземном сжигании каменного угля. Однако отходы газа подвергались предварительной очистке, что значительно повышало себестоимость биомассы водорослей (Nakamura, 1963).

Некоторые исследователи (Osterlind, 1948) предлагали использовать в массовой культуре водорослей в качестве источника углекислоты для фотосинтеза карбонаты и бикарбонаты. Однако в опытах О. Н. Русиной (1961) урожай водорослей при использовании карбонатов и бикарбонатов оказался значительно ниже, чем в контроле.

Предложен дешевый метод очистки путем замораживания углекислоты, содержащейся в дымовых отходах (Ложкин, 1978). Углекислый газ превращается в лед, и его можно хранить при определенной температуре под землей или в других емкостях долгое время. Однако этот метод пока еще мало используется в практике.

Н. И. Богданов, И. Е. Елсуков (1980) для обеспечения культуры водорослей углекислым газом использовали целлюлозосодержащее вещество (солома, камыш, линтерная пыль и др.) и целлюлозоразрушающие бактерии, вносимые непосредственно в культуральную среду. Бактерии разрушают целлюлозу, при этом в среде выделяется углекислый газ.

Некоторые исследователи (Мошкова, Беренштейн, 1967) отмечают возможность использования углекислоты, выделяемой при разложении органических веществ, находящихся в составе питательного раствора.

В наших опытах культура микроводорослей, выращенная на органических и органо-минеральных питательных средах, испытывала недостаток в СО₂. При интенсивном перемешивании суспензии СО₂, выделяющийся при разложении органических веществ, по-видимому, улетучивается.

В опытах по использованию продуктов сгорания природного газа в качестве источника СО₂ для массового культивирования микроводорослей хлореллы и сценедесмуса установлено, что газо-

вые отходы промышленных котельных являются источником не только CO_2 , но и тепла, что имеет большое значение в организации круглогодичного массового культивирования водорослей под открытым небом.

Продукты сгорания природного газа не содержат вредных примесей. Кроме того, применение природного газа в промышленности и в быту постоянно расширяется. Важно также то, что при использовании продуктов сгорания газообразного топлива одновременно очищается воздух от дымовых отходов.

В УзССР насчитывается более 300 котлоагрегатов малой и средней мощности, использующих природный газ. По расчетам СредазНИИгаз, на 300 котлоагрегатах сжигается $25 \cdot 10^4 \text{ м}^3/\text{ч}$ природного газа с общим потреблением тепла $22 \cdot 10^8 \text{ ккал/ч}$; температура продуктов сгорания $130\text{--}250^\circ\text{C}$. При сгорании указанного количества газа получается $134 \cdot 10^5 \text{ м}^3/\text{ч}$ углекислоты, $226 \cdot 10 \text{ м}^3/\text{ч}$ азота. Средний состав уходящих газов в дымососе (% по объему): CO_2 — 5—10; O_2 — 8—10; N_2 — 80—85.

При массовом культивировании водорослей нельзя использовать дымовые отходы с высоким содержанием CO_2 . Необходимо разбавлять их воздухом до необходимой концентрации. Кроме того, это способствует нормализации температуры.

В. Е. Семененко и др. (1966) отметили ингибирующее действие повышенной концентрации CO_2 (5% и выше) на продуктивность микроводорослей даже при облученности культуры около $120 \cdot 10^3 \text{ эрг/см}^2$ в 1 с. По данным С. Сорокина (1964), при высокой концентрации CO_2 в газовой смеси рост клеток замедляется, наблюдается отравление. Разбавляя углекислый газ воздухом, его концентрацию в газовой смеси снижали от 2—2,5 до 0,5—1%.

При использовании дымовых отходов промышленных котельных в качестве источника CO_2 и тепла нам удалось культивировать водоросли в открытых бассейнах даже при температуре воздуха — $25\text{--}30^\circ\text{C}$.

В качестве инокулянтов использовали водоросли *Chlorella pyrenoidosa*, *Ch. vulgaris*, *Scenedesmus obliquus* и др. Их урожайность зимой в открытых бассейнах за 7—8 дней культивирования достигала $1,5 \text{ г/л}$ ($22,5 \text{ г/м}^2$ сухого вещества в сутки).

Отрицательное влияние на культуру водорослей может оказать недожог природного газа в котлах-агрегатах, что вызывает повышение количества CO в газовых отходах. При этом клетки обесцвечиваются, разрушается их структура, происходит интенсивное помутнение суспензии.

При нерегулярной работе котельной СредазНИИгаз, при которой была построена опытная установка по выращиванию микроводорослей, наблюдалось отравление культуры угарным газом CO . В крупных котлах-агрегатах ГРЭС, работающих в строгом режиме топки, возможность недожогов природного газа исключается.

По нашей рекомендации в колхозе «Коммунист» Ташкентской

области построены специальные установки, работающие на базе использования продуктов сгорания природного газа в качестве источника тепла и углекислоты для культивирования хлореллы и других микроводорослей. Здесь отмечена низкая себестоимость биомассы водорослей.

КАЧЕСТВО И ПЕРВОНАЧАЛЬНАЯ ПЛОТНОСТЬ ПОСЕВНОГО МАТЕРИАЛА И ИХ ВЛИЯНИЕ НА РОСТ И РАЗВИТИЕ ВОДОРΟΣЛЕЙ В КУЛЬТУРЕ

Качество посевного материала (маточной культуры) имеет важное значение в повышении продуктивности микроводорослей в культуре. При использовании неактивного посевного материала накопление биомассы в культиваторах недостаточное.

Необходимо иметь коллекцию высокопродуктивных, приспособленных к данным условиям видов и штаммов. Это позволяет осуществлять широкий подбор видов и штаммов водорослей при массовом культивировании.

Для культивирования водорослей в условиях Средней полосы Европы наиболее подходят виды и штаммы рода *Scenedesmus* (Музафаров и др., 1974; Дилов, 1976). Видимо, поэтому в Болгарии и Чехословакии в основном выращивают штаммы сценедесмуса (*Scenedesmus acutus*, *S. quadricauda* и др.), а в более южных районах (в Италии) — хлореллы (*Chlorella pyrenoidosa*, *Ch. vulgaris* и др.). Виды и штаммы хлореллы более свето- и теплолюбивые, чем виды и штаммы сценедесмуса.

В большинстве случаев для культивирования используются местные штаммы микроводорослей.

Твердо окультуренных, отселектированных и генетически видоизмененных штаммов или видов водорослей пока нет, эти вопросы находятся в стадии изучения.

По мнению многих исследователей (Пиневиц и др., 1963), местные штаммы водорослей отличаются более высокой продуктивностью в культуре, чем штаммы, полученные из других климатических зон или регионов.

Водоросли различны по приспособленности к температурным условиям. Поэтому на это следует обращать внимание при подборе штаммов. Весной, осенью и зимой лучше выращивать холодоустойчивые штаммы микроводорослей, а летом — термотолерантные или термофильные.

Посевной материал должен состоять из однородных молодых и жизненно-активных клеток, способных интенсивно расти и размножаться в культуре.

Во многих случаях при крупных установках имеются установки малого объема для регулярного выращивания посевного материала. Нередко в качестве маточной культуры используется часть суспензии водорослей, остающаяся на дне культиваторов после съема урожая (Пиневиц, Верзилин, 1963; Милоградова,

1966; и др.). Однако в этом случае культура часто засорена примесями. В частично сменяемой среде засоренность культуры постепенно увеличивается. Это приводит к снижению фотосинтетической активности клеток. При использовании в качестве посевного материала старой суспензии необходимо пропустить ее через плотный марлевый или бумажный фильтр и таким образом удалить неактивные и мертвые клетки водорослей и другие примеси. Через фильтр проходят только молодые клетки и автоспоры, вполне пригодные для посева. Однако это трудоемкий и малоэффективный способ (Музафаров и др., 1974).

Во многих установках предусмотрены приспособления для отделения из суспензии примесей и неактивных клеток (Баранов, 1965). Однако в связи с конструктивной сложностью такие установки пока не нашли широкого применения в практике.

Для обновления культуры мы использовали метод гравитационного осаждения старых клеток, в основе которого лежит регулярное удаление осадка, образовавшегося в результате естественного осаждения физиологически малоактивных и мертвых клеток культивируемых водорослей. В современных открытых установках массового культивирования водорослей перемешивание суспензии производится только днем, поэтому за ночь клетки из взвешенного состояния постепенно переходят в осадок. Оседание клеток происходит по фракциям, т. е. в первую очередь оседают мертвые и физиологически неактивные клетки, затем «старые» — крупные клетки, а в самом верхнем слое суспензии остаются «молодые» — активные клетки. По мере нарастания плотности клеток в суспензии возрастает количество неактивных клеток. В результате регулярного обновления культуры при помощи гравитационного осаждения продолжительность культивирования водорослей в бассейнах в значительной степени удлиняется и качество суспензии остается довольно высоким. Следовательно, в производственных условиях целесообразно иметь при каждой установке отстойник.

В трехступенчатой производственной установке из товарного бассейна готовая суспензия к концу дня ежедневно перекачивается в отстойник. Из второго обогатительного бассейна суспензия переводится в третий, а из первого во второй. В первый бассейн наливается чистая вода и добавляются питательные соли, на следующий день утром верхняя часть суспензии перекачивается из отстойника в первый бассейн в качестве посевного материала, а оставшаяся на дне отстойника густая часть суспензии реализуется.

В качестве отстойника можно использовать глубокие бетонные ямы, цистерны или резервуары с вентилями на различной высоте.

У верхних вентилях снимается активная культура для посевного материала, а оставшаяся на дне емкости масса сливается при помощи нижних вентилях.

В установке жуячного типа имеется специальное приспособление для удаления из культиваторов малоактивных клеток.

Рост и развитие водорослей после посева зависят от первоначальной плотности маточной культуры. При низкой плотности клеток культура под влиянием сильной солнечной радиации быстро обесцвечивается.

В. В. Пиневи́ч, Н. Н. Верзи́лин (1963) оптимальной исходной концентрацией клеток для открытой культуры в условиях Ленинградской области считают 40—100 мг/л (примерно 4—10 млн клеток хлореллы в 1 мл). О. Н. Русина (1961) при массовом культивировании хлореллы под открытым небом в условиях Подмосквья использовала начальную концентрацию клеток в суспензии 1—1,2 млн/мл.

В условиях Узбекистана, по данным А. М. Музафарова и др. (1965), при низкой плотности клеток посевного материала культура вначале испытывает вредное воздействие со стороны спонтанной микрофлоры, вследствие чего рост клеток замедляется. Поэтому желательно посев производить с высокой плотностью клеток.

Опыты показали, что при культивировании водорослей под открытым небом в тепличных помещениях в условиях Узбекистана исходная плотность клеток в культуре должна быть довольно высокой.

Оптимальная исходная плотность клеток в суспензии зависит от вида и штамма водорослей, от скорости перемешивания суспензии в культиваторах, а также от толщины ее слоя. Для штаммов хлореллы при толщине слоя суспензии в установке 10—15 см, при скорости течения 0,4—0,6 м/с оптимальная первоначальная плотность должна быть не ниже 3—6 млн. клеток в 1 мл, для штаммов сценедесмуса — 2—4. Чрезмерное повышение исходной плотности клеток не способствует ускорению темпа роста.

Живые и мертвые клетки в культурах протококковых водорослей можно определить методом подращивания (Пиневи́ч, Жданникова, Максимова, 1965). В основе этого метода лежит кратковременное культивирование хлореллы и других протококковых водорослей на мембранных фильтрах или агаровых пленках и наблюдение за их ростом или размножением. Для этого питательную среду агаризуют и добавляют 1% глюкозу. Затем среду тонким слоем разливают по чашкам Петри. На поверхность застывшего агара наносят каплю суспензии водорослей с плотностью клеток не более 1 млн./мл и размазывают шпателем. Чашки помещают в люминостат с освещенностью 1500 лк при температуре 32—34°C. Через 1 сутки производят подсчет, при котором одиночные клетки принимают за мертвые, а микроколонии — за потомство живых клеток. У мезотермных штаммов микроколонии образуются только на 3—4-е сутки.

Для определения жизнеспособности клеток водорослей нередко пользуются методом определения кислородной продуктивности.

Под кислородной продуктивностью следует понимать количество кислорода, выделенное клетками водорослей в водную среду в процессе фотосинтеза (Семихатова и др., 1965). О степени кислородной продуктивности судят по количеству выделившегося кислорода за единицу времени на единицу объема (мг/л). Кислородная продуктивность выражается в мг/г или мг/млн клеток. Для определения кислородной продуктивности могут быть использованы методы регистрации интенсивности фотосинтеза, основанные на учете количества выделенного кислорода (Гейровский, Кута, 1965; Тооминг и др., 1967; и др.).

При непрерывно-проточном способе культивирования, особенно при батарейном выращивании с использованием части суспензии в качестве посевного материала, нередко наблюдается укрупнение клеток водорослей. У них удлиняется цикл клеточного деления, замедляются рост и размножение. Однако по внешнему виду все они жизнеспособные, богатые зелеными пигментами, очертания их правильные, не деформированные. Если их посеять в свежую питательную среду, хорошо перемешивать, подпитывать углекислотой, то культура начинает быстро делиться, постепенно восстанавливается способность клеток к росту и размножению. Видимо, в условиях непрерывно-проточного культивирования водорослей обогащение культуральной среды продуктами метаболизма начинает оказывать ингибирующее действие на рост и развитие клеток. Поэтому снижается активность клеток в культуре. При батарейных способах выращивания водорослей с полным освобождением культиваторов от суспензии после выхода культуры на плато и посевом свежей маточной культуры активность клеток находится всегда на желаемом уровне.

По мнению многих исследователей (Nakamura, 1963; и др.) для повышения способности клеток к активному росту и размножению следует регулярно подращивать их на свежей питательной среде и создавать оптимальные условия выращивания.

ПЕРЕМЕШИВАНИЕ СУСПЕНЗИИ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ В КУЛЬТУРЕ

Перемешивание суспензии микроводорослей при массовом культивировании — одно из важнейших условий, обеспечивающих повышение их биомассы в культиваторах. При этом улучшается освещенность культур, более равномерно распределяются питательные вещества, улучшается аэрация и исключается осаждение клеток водорослей на дно бассейнов. В современных установках перемешивание осуществляется в основном при помощи пропеллеров, лопастных мешалок, а также путем барбатирования воздухом, обогащенным углекислотой.

В последнее время широко применяется механическое перемешивание с использованием центробежных насосов. Суспензия из круглых бассейнов откачивается помпой и возвращается обрат-

но вместе с воздухом, обогащенным CO_2 , по трубам, которые вращаются реактивной силой выбрасываемой жидкости.

В установках горизонтального типа с помощью насоса суспензию забирают в одном конце установки и подают вместе с углекислотой в другой конец (Пиневич и др., 1963; Zahradnik, 1966; и др.).

Как показали наши наблюдения, перемешивание суспензии при помощи пропеллеров и лопастных мешалок эффективно только в бассейнах небольшого объема.

Барбатажный способ перемешивания способствует максимальному использованию углекислоты, содержащейся в составе атмосферного воздуха. Однако при барбатаже углекислота быстро разлагается и в виде углекислого газа улетучивается из культуральной жидкости, что приводит к большому расходу его при массовом культивировании. Барбатажное перемешивание суспензии мы применяли при использовании продуктов сгорания природного газа в промышленных котельнях. Была построена специальная установка, снабженная поперечными трубочками, погруженными в воду и имеющими барбатирующие отверстия. Смесь продуктов сгорания с воздухом, выходя через барбатирующие отверстия под давлением 200—300 мм вод. ст., непрерывно перемешивала культуральную жидкость.

Одним из недостатков барбатажного перемешивания является то, что в открытых культиваторах с поверхности суспензии интенсивно испаряется вода. Для поддержания концентрации питательного раствора на определенном уровне следует регулярно добавлять воду в культуральные бассейны.

В лотковых установках можно обеспечить ламинарное и турбулентное движение суспензии. Однако при ламинарном течении урожайность водорослей значительно зависит от скорости движения суспензии в установке. При перемешивании суспензии водорослей насосами разной мощности получены различные результаты. Чем сильнее течение суспензии, тем выше урожайность водорослей (Музафаров, Таубаев, 1974).

Однако создание сильного ламинарного течения связано с дополнительным расходом электроэнергии. Скорость суспензии 0,4—0,6 м/с обеспечивает выход урожая 1,2—1,5 г/л в лотковых установках, что, по мнению многих исследователей, вполне удовлетворительно для открытых установок (Zahradnik, 1966; и др.).

В установках вместимостью 10—12 т суспензию нормально перемешивает насос ЗК-9, в лотках с рабочей емкостью 800—1000 л — насос Збмц-10-20. Скорость ламинарного течения, создаваемого этими насосами, в зависимости от объема жидкости в установках составляет 0,4—0,6 м/с.

При создании в установках турбулентного движения суспензии отмечается высокий урожай микроводорослей (Setlik и др., 1965; Музафаров и др., 1974).

Чехословацкие ученые создавали турбулентное движение су-

пензии при толщине слоя 40—50 мм. При этом суспензия текла по наклонной поверхности установок. Турбулентное движение суспензии вызывали низкие стеклянные пластинки-перегородки, помещенные перпендикулярно уклону плоскости. Пластинки установлены таким образом, что между перегородками и наклонной поверхностью остается зазор, через который протекает суспензия. Кроме того, она переливается через пластинчатые перегородки. Таким образом, в пространстве между перегородками создается интенсивное турбулентное движение, улучшающее освещаемость суспензии, а также исключающее осаждение клеток на дно культиваторов.

Поскольку турбулентное движение культуры способствует перемешиванию ее в бассейнах и повышению выхода биомассы, мы выращивали водоросли в установках, где почти на всех участках происходит турбулентное движение жидкости, создающееся при помощи небольших барьеров (перегородок) из дюралюминия высотой 3—4 см (при толщине слоя суспензии 10—12 см). Перегородки стояли косо и их концы не доходили до противоположных стенок установки, что исключало образование застоев суспензии. Для повышения скорости обратного стока культуры один конец установки был на 1,5—2 см ниже другого. Расстояние между перегородками внутри бассейна не превышало 0,8—1 м.

Наблюдения показали, что турбулентное движение жидкости, создаваемое при помощи перегородок на дне бассейна, повышает урожайность водорослей на 20—25% по сравнению с урожаем при ламинарном движении.

Почти все протококковые водоросли не реофильные. Видимо, этим объясняется сравнительно низкая продуктивность их в условиях бурного «водопадного перемешивания».

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И СВЕТА НА РОСТ, РАЗВИТИЕ И ПРОДУКТИВНОСТЬ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ В КУЛЬТУРЕ

Температура — существенный фактор, определяющий рост, развитие и продуктивность микроводорослей в культуре. В росте и развитии каждого вида и штамма можно определить температурные минимумы, оптимумы и максимумы.

Попадая в экстремальные условия, водоросли приостанавливают свой рост и развитие, переходят в покоящееся состояние или погибают. Однако встречаются устойчивые к низким температурам штаммы или виды (криофильные), термотолерантные или термофильные, приспособленные к сравнительно высокой температуре (например, выше 40°C). Среднетемпературные формы водорослей (15—30°C) называют мезофильными. Криофильные водоросли растут медленно, этим объясняется их низкая продуктивность в культуре. Термотолерантные или термофильные водоросли растут быстро, в летние месяцы отличаются довольно высокой продуктивностью. Термофильные виды или штаммы отличаются

сравнительно высокой биоэнергетической способностью в культуре (Komarek и др., 1965).

Наиболее подходящими для производственной культуры в открытых установках являются мезофильные водоросли. Они характеризуются высокой приспособляемостью к температурным условиям, хорошо растут и развиваются при летней температуре и естественном освещении.

В ботанической литературе (Шенников, 1952; и др.) мезофильными считаются растения, приспособленные к условиям умеренной влажности. Для обозначения среднетемпературных водорослей мы использовали термин «мезотермные». Ниже приведены данные по влиянию температуры на продуктивность отдельных штаммов протококковых водорослей в культуре через 7 дней культивирования (млн. клет/мл).

| Температура, °C | <i>Scenedesmus obliquus</i> -YA-2-6a | <i>Scenedesmus acuminatus</i> -YA-2-7a | <i>Chlorella vulgaris</i> -157 |
|-----------------|--------------------------------------|--|--------------------------------|
| 5—10 | 3,5 | 3,7 | 2,7 |
| 10—15 | 9,2 | 7,8 | 12,3 |
| 15—20 | 17,7 | 19,6 | 47,7 |
| 20—25 | 26,8 | 22,3 | 89,2 |
| 25—30 | 42,3 | 28,5 | 122,5 |
| 30—32 | 43,1 | 32,7 | 127,3 |
| 32—34 | 39,3 | 44,3 | 127,4 |
| 34—36 | 15,2 | 27,3 | 118,6 |

По данным В. В. Пиневица (1965), в условиях Ленинграда средний урожай хлореллы с середины мая до конца августа колеблется от 7 до 10 г сухого вещества на 1 м² в сутки. Колебания температуры от 14 до 22°C существенно не сказываются на урожае. В июле 1964 г. был получен низкий урожай из-за высоких дневных температур, угнетающе действующих на рост мезофильного штамма хлореллы. Низкие урожаи получены и в сентябре (в среднем 4 г/м² сухого вещества в сутки), что объяснялось снижением среднесуточных температур и кратковременными ночными заморозками в конце месяца.

Ј. Komarek (1965) отмечает зависимость продуктивности сценедесмуса от температуры. Автор выделил терморезистентный штамм сценедесмуса (*Scenedesmus quadricauda*), который хорошо растет и развивается при температуре 35—36°C.

Установлено, что для роста и развития большинства местных штаммов сценедесмуса и хлореллы оптимальной является температура суспензии 25—34°C. Следовательно, эти штаммы характеризуются мезотермными свойствами.

Максимальная продуктивность штаммов *Scenedesmus obliquus*-YA-2-6a, *S. obliquus*-YA-2-6b отмечена при температуре 30—32°C. Интенсивный рост их наблюдается при 29—34°C, а при 5—10°C накопления биомассы в культуральной жидкости не отмечено.

Штаммы *S. obliquus*-YA-2-6a, *S. acuminatus*-YA-2-7a при тем-

пературе выше 35—37° гибнут через 2—4 дня. При 38—39° через 1 день после посева над суспензией образуются хлопья, увеличивается количество клеток, оседающих на внутренних стенках культиваторов.

Действие летальной температуры проявляется не сразу. При температуре, близкой к максимальной, культура остается способной к вегетации, и накопление биомассы в культиваторах продолжается, однако выход урожая постепенно снижается.

Для *Scenedesmus obliquus*-УА-2-6а оптимальная температура 25—32°C, для *S. obliquus*-УА-2-6б — 25—30°, для *S. acuminatus*-УА-2-7а — 24—34°C, для *Chlorella vulgaris*-157 — 25—34°C.

Обычно при предельной температуре в клетках многих водорослей происходит распад хроматофора и вакуолизация плазмы (Komarek et al., 1965). Такое явление наблюдалось у штамма *S. obliquus*-УА-2-6а при температуре 33—35°C, у *S. obliquus*-УА-2-6б при 32—33°C, у *S. acuminatus*-УА-2-7а при 36°C.

Температура оказывает влияние и на морфологические особенности клеток в ценобиях. Так, при повышенной температуре уменьшается длина ценобий. По мере снижения температуры размеры клеток постепенно увеличиваются. При температуре 18—20° средняя длина ценобий *S. obliquus*-УА-2-6а оказалась 12—14 мкм, при 10—15° — 35—47. Это, по-видимому, вызвано задержкой деления клеток при пониженной температуре. При этом протопласты в клетках делятся, однако из них не образуются дочерние клетки. Такое явление наблюдалось и в клетках хлореллы. Установлено, что при 15—20°C продолжительность жизненного цикла составляла 55—58 ч, при температуре 20—25° — 35—37, при 25—30° — 16—22. Изменение размеров ценобий и продолжительность жизненного цикла *S. obliquus*-УА-2-6а изучались в синхронных культурах.

В Узбекистане, на Украине и в некоторых других республиках построены и функционируют открытые установки по производству биомассы хлореллы, сценедесмуса и других микроводорослей. Ночью даже в летние месяцы температура суспензии снижается. В условиях Средней Азии разница между дневной и ночной температурой нередко составляет 15—20°C.

Действие низких температур на рост и развитие видов и штаммов сценедесмуса и хлореллы в условиях Узбекистана изучено недостаточно. Исследование этого вопроса в условиях культивирования водорослей под открытым небом имеет большое научное и практическое значение.

Мы изучали последствие низкой (3, 5, 8, 10, 15°) и умеренной (20, 22, 25°) ночных температур на деление клеток и продуктивность *Scenedesmus obliquus*-УА-2-6а в культуре.

Культуру выращивали на среде 04. На 2-й день вечером водоросли высевали в стеклянные сосуды (колбы Эрленмейера) емкостью 150 мл при плотности клеток 10 млн/мл. Ежедневно суспензию разбавляли, создавая постоянный уровень плотности до конца опыта. Длительность опыта — 5 суток.

Днем сосуды с водорослями выдерживали на свету в течение 9 ч при температуре 22—28°C и освещенности 6—17 тыс. лк. На ночь сосуды помещали в темноту в разные температурные условия (3, 5, 8, 10, 15, 20, 22, 25°). Днем культуры подпитывали углекислотой. Утром и вечером определяли плотность клеток и сухую массу. При определении общей плотности клеток учитывали ежедневное разбавление суспензии.

Как показали наблюдения, в дневные часы сухая масса и плотность клеток в суспензии увеличиваются. Ночью сухая масса снижается, видимо, в результате расхода накопленного днем органического вещества на дыхание. Однако при этом число клеток продолжает увеличиваться. Следовательно, количественный рост клеток проходит как в дневное, так и в ночное время. Однако при низкой ночной температуре (3, 5, 8°C) темп деления клеток задерживался, а при повышенной температуре (10, 15, 20, 22, 25°) плотность суспензии выше.

Отмечено значительное увеличение (на 20—50%) сухой массы клеток при ночной температуре выше 20°C. При относительно повышенных ночных температурах содержание хлорофилла в клетках сценедесмуса почти в 2—2,5 раза выше, чем в культурах, содержащихся в ночное время при низкой температуре.

Мы изучали влияние температуры в различные сезоны года на продуктивность сценедесмуса в открытых бассейнах в условиях Ташкента. Ташкентский оазис расположен в центральной части Средней Азии. Климат здесь континентальный. Средняя годовая температура воздуха 11,5—13,5°C. Максимальная летняя температура достигает 42—43°, минимальная зимняя — 28°. Безморозных дней в Ташкенте 206—216 в год. Лето бездождное. Осадков выпадает 249—433 мм в год. Ниже приведены данные по облачности и количеству осадков в г. Ташкенте:

| Месяц | Облачность, % покрытия неба | Осадки, мм |
|--------|--------------------------------|-------------|
| I | 61 | 50 |
| II | 59 | 60 |
| III | 61 | 66 |
| IV | 59 | 54 |
| V | 42 | 32 |
| VI | 24 | 12 |
| VII | 16 | 4 |
| VIII | 9 | 1 |
| IX | 16 | 4 |
| X | 35 | 28 |
| XI | 51 | 32 |
| XII | 62 | 37 |
| За год | 41 (среднее) | 350 (всего) |

Как видно из данных по климатическим особенностям Ташкентского оазиса, в холодное время года культивировать водоросли в открытых бассейнах невозможно. Открытые культиваторы могут работать всего 6—7 месяцев.

В мае, а также в сентябре—октябре жизненность штаммов сценедесмуса высокая, суспензия темно-зеленого цвета. При непрерывно проточной культуре их можно выращивать в течение длительного времени (35—70 дней и более). Образование хлопьев и пожелтение культуры весной и осенью наблюдаются редко. Летом культуры страдают от высокой температуры и сильного освещения, иногда гибнут. Однако их продуктивность летом выше, чем в другие сезоны. Это объясняется быстрым размножением клеток в летние месяцы.

Приводим данные по урожайности *Scenedesmus obliquus*-УА-2-6а в лотковой установке (г сухого вещества с 1 м² в сутки).

| Месяц | Год | | | |
|-------|------|------|------|------|
| | 1973 | 1974 | 1975 | 1976 |
| IV | 7,1 | 6,5 | 8,2 | 8,4 |
| V | 29,5 | 27,3 | 28,2 | 29,7 |
| VI | 31,2 | 30,6 | 32,5 | 30,3 |
| VII | 28,6 | 29,3 | 25,8 | 28,4 |
| VIII | 30,6 | 31,8 | 29,6 | 33,2 |
| IX | 32,3 | 31,2 | 27,2 | 28,2 |
| X | 22,9 | 17,8 | 20,3 | 14,1 |
| XI | 7,1 | 8,2 | 10,4 | 5,2 |

В установках с циркуляционным перемешиванием затенение небольшой части установки (примерно 0,5 м при длине лотка 10—15 м) предотвращает вредное действие этих факторов.

По мнению В. Е. Семененко (1975), в экстремальных температурных условиях увеличивается функциональная активность хлоропластов клеток хлореллы (*Chlorella* sp. К), выражающаяся в светозависимом увеличении РНК, белка и скорости синтеза углеводов. Однако летом в открытых установках при действии высокой температуры и освещения культуры сценедесмуса часто гибнут.

Вопросы круглогодичного культивирования штаммов сценедесмуса могут быть разрешены при создании необходимых условий в холодное время года. А. М. Музафаров и др. (1974) показали возможность культивирования сценедесмуса, хлореллы и других водорослей зимой. В качестве источников тепла и углекислоты использовали продукты сгорания природного газа в промышленных котельнях. При температуре воздуха зимой—20—30°C авторы культивировали водоросли в установках, расположенных под открытым небом. Урожайность водорослей при этом достигала 15—22 г сухого вещества с 1 м² в сутки. При применении продуктов сгорания природного газа в зимнее время температуру суспензии можно поддерживать в пределах 25—28°, что соответствует температурному оптимуму изученных штаммов сценедесмуса в культуре. Зимой температурный оптимум для водорослей можно создать, выращивая их в тепличных помещениях. При культивировании сценедесмуса в установке, находящейся в тепличном помещении, урожайность в зимние месяцы составляет 15—18 г сухого вещества с 1 м² в сутки.

| Штамм | XII.1975 | I.1976 | II.1976 |
|--------------------------------------|----------|--------|---------|
| <i>Scenedesmus obliquus</i> -YA-2-6a | 17,2 | 18,0 | 16,8 |
| <i>Scenedesmus obliquus</i> -YA-2-66 | 15,4 | 16,9 | 17,8 |
| <i>S. acumunatus</i> -YA-2-7a | 17,5 | 17,6 | 18,0 |

Положительное влияние температуры на рост, развитие и продуктивность водорослей тесно связано с освещенностью окружающей среды. По данным многих исследователей (Трухин, 1963; и др.), при освещении 12 клк максимальная величина фотосинтеза у хлореллы наблюдается при 41°C, однако при этом рост клеток замедляется. Подавление роста и фотосинтеза у хлореллы отмечено и при температуре 43°C. По данным некоторых исследователей (Батов, 1967), при лимитирующем световом факторе скорость фотосинтеза практически не зависит от температуры.

Влияние светового фактора на микроводоросли изучали многие авторы (Warburg, 1919; Mejers, 1953; Sorokin, 1961; Семененко, 1975; и др.). Установлено, что интенсивный свет стимулирует рост и ингибирует деление клеток. Для различных штаммов водорослей требуется различная степень освещенности (Семененко, 1966). Например, для *Chlorella rugenoidosa*-82 лучшей освещенностью считается 170 тыс. эрг/см² с, для *Chlorella* sp. k — 232 тыс.

При открытом культивировании микроводорослей в условиях Узбекистана освещенность 15—70 тыс. лк оказалась нормальной. При температуре 25—30°C и освещенности 15—70 тыс. лк за 6—8 дней культивирования плотность клеток штаммов хлореллы достигла 120—210 млн./мл, сценедесмуса — 37—95.

Изучение широкого спектрального действия солнечной энергии на жизнедеятельность растений входит в задачу нового направления биологии — фотоэнергетики растений. «Фотоэнергетика растений в широком смысле — научная область, изучающая зависимость процессов жизнедеятельности от энергии участков оптического спектра; в более узком понимании она исследует энергетические процессы у растений в связи с действием на них света различных спектральных областей. Предметом фотоэнергетики растений является структурно-функциональная организация энергетических органоидов, внутриклеточная энергетическая система и механизм преобразования энергии в них в разных областях оптического спектра. Таким образом, в фокусе фотоэнергетических исследований находятся структура и деятельность основных центров превращения энергии в клетках — хлоропластах и митохондриях под влиянием разных лучей спектра» (Шахов, 1967).

Световая энергия действует не только на фотосинтетические, но и на нефотосинтетические, но зависящие от света реакции. Допускается мысль о наличии внутриклеточной системы из хлоропластов, митохондрий и эндоплазматического ретикулума, ответственных за превращение и накопление энергии в клетках, а также идея о наличии «квантовой» микросистемы, состоящей из хинонов, цитохромов, порфиринов, каротиноидов, нуклеиновых

кислот, макроэргических фосфатов, углеводных и липидных частей белков. Особая роль принадлежит соединениям, молекулы которых поглощают фотоны, необходимые для фотосинтеза. Предполагают, что приносимая фотонами энергия в клеточной «микросистеме» рассредоточивается и квантуется в момент импульса, и в паузу между импульсами повышается эффективность взаимодействия электромагнитной энергии света с растительными клетками. Это объясняется тем, что при сочетании непрерывного солнечного освещения с прерывистым (импульсным) облучением растений концентрированным солнечным светом происходит наложение действия очень большого количества фотонов, усиливающих активность клеточной микросистемы в обменных процессах. Концентрированный солнечный свет с кратностью 2—30—50 раз и более получают при помощи специальных концентраторов или рефлекторов. Кратность солнечного света в фокальном пятне концентраторов зависит от их конструктивных особенностей и мощности. Алюминиевый концентратор системы Ф. Х. Набиуллина увеличивает энергию света в фокальном пятне в 20—30 раз, а автоматический селективный концентратор — в 10 раз. Существует также откачной концентратор, увеличивающий энергию света в 5—30 раз и более.

В нашей стране изучается действие импульсного концентрированного солнечного света (ИКСС) на семена, клубни и другие органы растений. Установлено, что при выращивании облученных ИКСС клубней картофеля сорта Карагдин в горах Заилийского Алатау урожайность его значительно увеличилась по сравнению с контролем. Светоимпульсный эффект наблюдался при облучении семян, клубней, рассады других сельскохозяйственных культур. Так, в Алмаатинской области, Молдавии и Подмоскowie предпосевное светоимпульсное облучение семян огурцов и томатов дает прибавку урожая 100 ц/га и более (Шахов, 1977). Для повышения урожайности растений можно подвергать светооблучению не только семена, клубни, рассаду, но и пыльцу, черенки, соцветия и даже целые растения (Станко, 1971; Бесчетнов, Шахов, 1971; и др.).

Облучение растений импульсным концентрированным солнечным светом не только повышает урожайность, но и вызывает направленные мутагенные изменения в растениях с целью получения высокопродуктивных сортов и форм. Исследователи (Шахов, Немцов, Байда, 1971; и др.) заметили, что свет оказывает мутагенное действие при обработке им генеративных органов растений. При облучении семян томатов и пыльцы кукурузы получены мутагенные растения (Немцов и др., 1969; Бляндур и др., 1969). Мутагенные дозы импульсного концентрированного солнечного света намного превышают стимулирующие дозы.

Действие ИКСС на культивируемые в специальных установках микроводоросли изучено недостаточно. Однако применение этого стимулятора в практике массового культивирования хло-

реллы и других микроводорослей может служить важным фактором повышения их качества и продуктивности. Микроводоросли в культуре находятся в водной среде, и по мере увеличения плотности клеток возникает недостаток освещения. Концентрированный солнечный свет может повысить жизнеспособность клеток, особенно в условиях светового голодания.

Для облучения микроводорослей концентрированным солнечным светом использовали пленочный откачной концентратор солнечного света, разработанный Г. Я. Умаровым и Н. В. Кордуном (1965). Диаметр концентратора 0,85 м, площадь зеркальной поверхности 0,7225 м². В лабораторных опытах суспензию хлореллы облучали в колбах Эрленмейера в импульсном режиме концентрированным солнечным светом. Для создания светового импульса между колбами и концентратором устанавливали непрозрачный четырехлопастный экран, вращающийся при помощи электродвигателя. Скорость вращения экрана измеряли тахометром. Культуры водорослей в колбах размещали на вегетационном столике при освещении люминесцентными лампами 6—7 клк. Культуры подпитывали углекислым газом из расчета 0,02 л/мин через каждые 2 ч. Суспензию перемешивали вручную через каждые 30 мин. Рост клеток определяли в камере Горяева под микроскопом. Продуктивность водорослей учитывали по сухой массе путем центрофугирования, фотосинтез — методом Винклера (Вознесенский и др., 1965) и манометрическим методом в аппарате Варбурга (Семихатова и др., 1966). Содержание пигментов определяли спектрофотометрическим способом.

В полупроизводственных условиях культуру микроводорослей облучали при помощи концентратора со вторичным плоским зеркальным отражателем размером 50×20 см (коэффициент отражения 0,8). Водоросли выращивали в лотковых установках рабочей емкостью 1000 л. Толщина слоя суспензии — 10 см. Вторичный зеркальный отражатель помещали в центре над установкой. Коэффициент отражения должен быть таким, чтобы лучи, направленные от концентратора, отражаясь, падали на поверхность суспензии водорослей, циркулирующей в установке.

Изменяя угол наклона к стойкам, можно подобрать оптимальный режим облучения. Светоимпульсное облучение водорослей проводили концентрированным солнечным светом, превышающим интенсивность прямой солнечной радиации в 3—30 раз.

Облучали мезотермные штаммы хлореллы (*Chlorella vulgaris*-157, Ch. Л-5) и сценедесмуса (*Scenedesmus obliquus*-УА-2-6а), а также термофильный штамм *Chlorella* sp (P-1)h. str.

Испытывали несколько вариантов различной продолжительности. Световой импульс при средней прямой солнечной радиации 1,3 кал/см² мин и 30-кратной концентрированности светового потока составлял $16,8 \cdot 10^7$ эрг, а при 10-кратной — $6,11 \cdot 10^7$ эрг.

За период облучения продолжительностью 5 мин культура водорослей получает 666 импульсов, а количество световой энергии,

падающей на колбу с суспензией водорослей, составляет $12,52 \cdot 10^{10}$ эрг. При 10 минутном облучении культура водорослей получает 1332 импульса, а при 20 минутном — 2664. При этом количество суммарной энергии, получаемой водорослями, также возрастает. В лотковых установках культуру перемешивали центробежным электрическим насосом 36 МЦ 4-12.

Скорость потока определяли экспериментально. В результате течения суспензии получение ею отраженного света от вторичного плоского зеркала происходит в импульсном режиме. Время действия светового импульса зависит от скорости потока и размера фокального пятна. Время действия светового импульса при скорости потока 0,17 м/с составляло 1 с, а темнового — 99 с; при скорости потока 0,34 м/с соответственно 0,54 и 49 с. Интенсивность концентрированного солнечного света в 3—5 раз превышает прямую солнечную радиацию.

Таблица 1

Влияние ИКСС на продуктивность штамма *Chlorella* sp. (p-1) h. str. в полупроизводственных условиях

| Вариант | Концентрация светового потока | Продолжительность облучения, мин. | Продуктивность (сухая масса) | | |
|----------------|-------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|--------------------------|-------|
| | | | г/л | г/м ² в сутки | % |
| Контроль | | | $0,930 \pm 0,032$ | 16,3 | 100 |
| Облучение ИКСС | 3 | 120 | $1,066 \pm 0,021$ | 17,9 | 109 |
| " | 5 | 120 | $1,29 \pm 0,031$ | 21,5 | 131,6 |
| " | 5 | 180 | $1,31 \pm 0,04$ | 21,8 | 133,1 |

При ежедневном облучении культуры продолжительность светового импульсного облучения концентрированным солнечным светом составляла от 15 до 120 мин. Энергия одного импульса при прямой солнечной энергии, в 3 раза превышающей прямую солнечную радиацию, при скорости потока 0,17 м/с составляла $180,336 \cdot 10^7$ эрг, а при 0,34 м/с $90,168 \cdot 10^7$; при 5-кратной концентрации энергия одного импульса при скорости потока 0,34 м/с — $90,746 \cdot 10^7$ эрг. Незначительная разность количества лучевой энергии, падающей при К-5 и К-3, объясняется тем, что при увеличении концентрации солнечных лучей уменьшается фокальное пятно, и один и тот же объем суспензии водорослей получает различную по интенсивности, но приблизительно одинаковую по количеству дозу импульсного концентрированного солнечного света. Поток солнечной энергии через единицу поверхности и интенсивность при К-3 прямой солнечной радиации $1,3$ кал/см² в 1 мин за 1 импульс равен $0,136 \cdot 10^7$ эрг, а при К-5 — $0,157 \cdot 10^7$. Вначале (первые 2 дня) суспензию хлореллы (плотность клеток 3—6 млн/мл) облучали ИКСС 3-кратной интенсивности в течение 15—20 мин, на 3-й день — 30 мин, к концу опыта (7-й день) продолжительность облучения довели до 120 мин.

При облучении ИКСС в лабораторных условиях продуктивность мезотермного штамма *Chlorella vulgaris*-157 при концентрации светового потока 30 и продолжительности 10 мин оказалась на 7,5% выше, чем продуктивность необлученной культуры, при концентрации светового потока 10 и продолжительности облучения 10 мин—на 8,5%, а при 20 мин.—на 10% выше. Продуктивность термофильного штамма *Chlorella sp. (p-1)h. str.* при концентрации света 10—30 и времени облучения 10—20 мин оказалась на 14—20% выше контроля (табл. 1).

В полупроизводственных условиях влияние ИКСС изучали на штаммах *Chlorella sp. (p-1)h. str.* и *Scenedesmus obliquus*-УА-2-6а. Плотность клеток хлореллы в суспензии при светимпульсном облучении на 8-й день достигала 173—253 млн/мл, в контроле — 107—137 млн/мл. Продуктивность водорослей в облученном варианте составляла 17,9—21,8 г/м² в сутки, в контроле — 16,3 г/м². В облученной культуре клетки водорослей становятся мелкими, но более активными, чем в контроле (табл. 2).

Таблица 2

Влияние ИКСС на интенсивность фотосинтеза *Scenedesmus obliquus*-УА-2-6а в полупроизводственных условиях

| Вариант | Концентрация светового потока | Продолжительность облучения, мин. | Фотосинтез, мг/О ₂ /ч на 1 л суспензии | | | | |
|-----------|-------------------------------|-----------------------------------|---|------|------|------|------|
| | | | плотность клеток культуры, млн/мл | | | | |
| | | | 20 | 40 | 80 | 120 | 200 |
| Контроль | — | — | 14,3 | 17,2 | | | |
| Облучение | 3 | 15 | 15,1 | 22,8 | | | |
| Контроль | — | — | | 21,8 | 33,1 | | |
| Облучение | 3 | 30 | | 23,3 | 39,8 | | |
| Контроль | — | — | | | 39,3 | 41,0 | |
| Облучение | 3 | 45 | | | 66,5 | 67,0 | |
| Контроль | — | — | | | | 33,5 | 26,1 |
| Облучение | 3 | 60 | | | | 61,2 | 66,0 |
| Контроль | — | — | | | | 40,5 | 26,1 |
| Облучение | 5 | 90 | | | | 66,0 | 90,7 |
| Контроль | — | — | | | | 39,2 | 18,1 |
| Облучение | 5 | 180 | | | | 14,2 | 33,5 |

Интенсивность фотосинтеза при светимпульсном облучении водорослей зависит прежде всего от плотности клеток в культуре. По мере увеличения плотности клеток интенсивность фотосинтеза у облученных водорослей возрастает, перед выходом культуры на плато она в 2—2,5 раза выше контроля.

При низкой плотности клеток в суспензии облученной культуры (10—40 млн/мл) интенсивность фотосинтеза незначительно отличается от контроля. Так, при плотности клеток 20—40 млн/мл фотосинтез облученной культуры не превышал 15,51—23,8 мг/л за 1 ч экспозиции, а при плотности клеток 120—200 млн/мл он

составлял 61,2—90,7 мг/л, в контроле — 14,3—41,0 мг/л кисло-
рода.

ИКСС положительно влияет на рост, развитие и продуктивность
ценобиальной микроводоросли *Scenedesmus obliquus*-УА-2-6а.
Действие ИКСС на сценедесмус различной плотности неодинако-
во. При низкой плотности клеток в культуре (3—5 млн в 1 мл)
действие ИКСС на рост и продуктивность сценедесмуса незамет-
но. Положительное влияние облучения отмечено при плотности
клеток в суспензии 15—20 млн/мл. Результаты опытов показыва-
ют, что при светимпульсном облучении плотной культуры ее
рост достиг 40—42 млн/мл, продуктивность оказалась на 17—18%
выше, чем в контроле (табл. 3).

Таблица 3

Зависимость последствий ИКСС от плотности культуры
Scenedesmus obliquus-УА-2-6 в лабораторных условиях

| Дата | Плотность клеток, млн/мл | | | | | |
|-----------------------------------|--------------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|---|
| | 3—5 | | 15—20 | | 25—30 | |
| | необлученная культура | облученная культура | необлученная культура | облученная культура | необлученная культура | облученная культура |
| Рост кол-ва клеток, млн/мл | | | | | | |
| 14.05 | 3,25 | 3,45 | 20,2 | 20,7 | 26,5 | Облуче- ние пос- ле вы- хода на плато |
| 15.05 | 8,67 | 7,0 | 21,3 | 32,5 | 32,8 | |
| 16.05 | 15,1 | 14,5 | 25,5 | 34,7 | 40,1 | |
| 19.05 | 20,5 | 21,7 | 26,3 | 37,8 | 45,8 | |
| 21.05 | 32,8 | 31,0 | 26,2 | 34,8 | 5,3 | |
| 22.05 | 28,5 | 18,7 | — | — | 63,7 | |
| Продуктивность (сухая масса), г/л | | | | | | |
| 21.05 | 0,68—0,04 | 0,81—0,06 | 1,09—0,02 | 1,29—0,025 | 1,76—0,035 | |

Положительное действие ИКСС установлено и при облучении
культур после выхода их на плато. Без светимпульсного облу-
чения плотность клеток в суспензии составляла 34 млн/мл. Облу-
чение обеспечивало дальнейший рост количества клеток, и про-
дуктивность их оказалась на 36% выше, чем в контроле.

Установлено также положительное влияние ИКСС на фотосин-
тез сценедесмуса в культуре. Действие ИКСС на фотосинтез и
продуктивность сценедесмуса изучалось в полупроизводствен-
ных условиях. При концентрации светового потока 5 и продолжи-
тельности облучения 15—30 мин в облученной культуре сцене-
десмуса после выхода ее на плато при плотности клеток
38,5 млн/мл количество клеток через 3 дня достигло 61,7 млн/мл,
а продуктивность в виде сухой массы оказалась 1,6 г/л. При
этом интенсивность фотосинтеза в облученной культуре была на
25—30% выше, чем необлученной (табл. 4).

Наблюдения показали, что ИКСС способствует повышению светотермоустойчивости у облученных культур. Во всех опытах

Таблица 4

Влияние ИКСС на рост, интенсивность фотосинтеза и накопление биомассы *Scenedesmus obliquus*-УА-2-6 в открытых лотковых установках

| Дата | Рост (кол-во клеток), млн/мл | | Интенсивность фотосинтеза, O_2 в 1 л суспензии | | Сухая масса, г/л | |
|-------|------------------------------|--------|--|--------|------------------|-----------------|
| | необлуч. | облуч. | необлуч. | облуч. | необлуч. | облуч. |
| 13.06 | 6,35 | 6,0 | 11,8 | 13,6 | $0,8 \pm 0,04$ | $1,11 \pm 0,08$ |
| 15.06 | 13,3 | 17,6 | 12,3 | 16,0 | | |
| 15.06 | 21,9 | 30,2 | 15,2 | 17,8 | | |
| 18.06 | 25,4 | 34,2 | — | — | | |
| 19.06 | 30,5 | 44,5 | | | | |
| 15.07 | | 38,5 | | | $1,6 \pm 0,02$ | |
| 17.07 | | 45,5 | | | | |
| 19.07 | | 55,0 | | | | |
| 21.07 | | 61,7 | | | | |

продуктивность облученной культуры оказалась выше, чем в контроле. В облученной культуре продуктивность водорослей ока-

Таблица 5

Рост, интенсивность фотосинтеза и накопление биомассы *Scenedesmus obliquus*-УА-2-6 при импульсном концентрированном свете в открытых установках

| Дата | Вариант | Концентрация светового потока | Продолжительность облучения, мин. | Кол-во клеток, млн/мл | Интенсивность фотосинтеза, мл/л сухой массы за 30 мин | Продуктивность | |
|-------------|-----------|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|---|--------------------------|---------------|
| | | | | | | г/м ² в сутки | % от контроля |
| Первый опыт | | | | | | | |
| 11.05 | Контроль | 3 | 30 | 32 | 19,5±0,4 | 25,7±1,2 | 33,3 |
| | Облучение | 3 | 30 | 40 | 15±0,6 | | |
| 19.05 | Контроль | — | | 52 | 21,0±1,0 | | |
| | Облучение | 3 | 30 | 85 | 26,6±1,3 | | |
| 19.05 | Контроль | — | | 60 | 10,7±0,6 | | |
| | Облучение | 5 | 30 | 100 | 13,5±0,5 | | |
| Второй опыт | | | | | | | |
| 26—30.05 | Контроль | — | | 32 | 19,0±1,0 | 13,0±0,8 | 33,8 |
| | Облучение | 5 | 20 | 60 | 23,4±1,1 | 17,4±0,7 | |
| Третий опыт | | | | | | | |
| 26—30.05 | Контроль | — | | 45 | 17,0±1,0 | 22±1,0 | 36,3 |
| | Облучение | 5 | 30 | 82 | 22,1±1,2 | 30,0±1,1 | |

залась на 34—36%, а интенсивность фотосинтеза — на 25—35% выше, чем в контроле (табл. 5).

Во втором и третьем опытах продуктивность сценедесмуса оказалась несколько ниже, чем в первом. Однако во всех опытах наблюдалось заметное повышение свето-термоустойчивых свойств клеток в результате многократного светои импульсного облучения. Под воздействием ИКСС увеличивается количество пигментов, особенно лютеина и каротина. В облученных культурах хлореллы и сценедесмуса содержание каротина по сравнению с контролем повышается в 1,5—2 раза, а количество общего азота и сырого белка — на 6—20%.

Изучено содержание свободных аминокислот в облученной культуре *Scenedesmus obliquus*-УА-2-6а. Для качественного и количественного определения аминокислот использовали метод тонкослойной хроматографии на тонком слое силикагель — целлюлоза. Содержание экстрактивного азота определяли микрометодом Кьельдаля в модификации Гофмана. В опытной культуре, облученной ИКСС, содержание экстрактивного азота составляло 4,15 мг/г абсолютно сухого вещества, в контроле — 3,87.

Всего на хроматограммах опытного и контрольного вариантов обнаружено 21 вещество, из них идентифицировано 20 (лизин, гистидин, аспарагин, аргинин, аспарагиновая кислота, серин, гликокол, глутаминовая кислота, треонин, аланин, аминокислотная кислота, тирозин, валин, триптофан, изолейцин, лейцин, фенилаланин, пролин, глютамин, канаваноянтарная кислота). Количественно определены 15 аминокислот, в том числе лейцин с изолейцином суммарно. Под влиянием свето-импульсного облучения в клетках сценедесмуса повышается содержание глутаминовой кислоты, валина и лейцина + изолейцина по сравнению с контролем. Особенно отчетливо прослеживается зависимость скорости биосинтеза аланина от освещения (7,260 мг/г абсолютно сухого вещества). В опытах, проведенных при электрическом свете (6—7 тыс. лк) (Душкова, Денчева, 1975), содержание аланина в клетках сценедесмуса оказалось значительно ниже, чем в наших образцах. При светои импульсном облучении культуры сценедесмуса содержание аланина в ней возрастает почти на 30%. Опыты показали, что биосинтез аланина тесно связан с фотосинтезом и осуществляется, по-видимому, путем восстановительного аминирования фосфоэнол-пировиноградной кислоты — ближайшего продукта фотосинтеза (Ничипорович, 1964).

Содержание серина, гликокола, аспарагиновой кислоты, тирозина, фенилаланина в опытных вариантах значительно ниже, чем в контроле. Это указывает на усиление мобилизации аминокислот в культуре сценедесмуса, происходящее в результате действия ИКСС на синтез белка, хлорофилла и других веществ. Содержание аргинина в контрольном образце почти в 3 раза выше, чем в облученной культуре. Отмечено (Плешков, 1965), что аргинин служит соединением, связывающим и обезвреживающим избыток аммиака. Надо полагать, что синтез большого количества аргинина обусловлен присутствием в растениях орнитинового цикла

Кребса, через который с образованием мочевины осуществляется окислительный распад аминокислот (Караваяева, Садыкова, 1976). Видимо, большое количество аргинина в клетках сценедесмуса в контрольном варианте может быть связано с тем, что азот аммиака, который образуется при окислительном дезаминировании аминокислот, слабо мобилизуется на синтез белковых соедине-

Таблица 6

Влияние ИКСС и прямого КСС на продуктивность хлореллы в культуре

| Вариант | Время облучения, мин | Суммарная энергия, эрг/см | Продуктивность | | |
|----------|----------------------|---------------------------|----------------|--------------------------|-------|
| | | | г/л | г/м ² в сутки | % |
| Контроль | | | 0,74±0,03 | 12,3 | 100 |
| ИКСС | 5 | 50 | 0,80±0,04 | 13,3 | 108,1 |
| КСС | 1,5 | 49 | 0,768±0,02 | 12,8 | 103,7 |
| КСС | 5 | 122 | 0,664±0,04 | 11,06 | 89,9 |
| ИКСС | 10 | 81 | 0,880±0,04 | 11,6 | 119,2 |
| КСС | 3,2 | 83 | 0,660±0,03 | 11,0 | 89,0 |
| КСС | 10 | 192 | 0,576±0,02 | 9,6 | 78,0 |

ний и аккумулируется в составе аргинина. Установлено также, что в облученной культуре по сравнению с необлученной сумма растворимых углеводов повышается более чем в 2 раза, сумма нерастворимых углеводов не изменяется.

Приводим данные по изменению содержания свободных аминокислот в биомассе *Scenedesmus obliquus*-УА-2-6а при облучении ИКСС (мг/л абсолютно сухого вещества).

| Аминокислота | Опыт | Контроль |
|-----------------------|-------|----------|
| Лизин | 0,778 | 0,721 |
| Гистидин | 0,125 | 0,139 |
| Аргинин | 1,793 | 4,073 |
| Аспарагиновая кислота | 0,235 | 0,564 |
| Серин | 0,365 | 0,505 |
| Гликокол | 0,604 | 0,853 |
| Треонин | 0,834 | 0,867 |
| Глутаминовая кислота | 1,653 | 0,810 |
| Аланин | 7,260 | 4,970 |
| Аминомасляная кислота | 1,293 | 0,865 |
| Тирозин | 0,653 | 0,789 |
| Валин | 1,810 | 1,156 |
| Триптофан | 0,417 | 0,423 |
| Фенилаланин | 0,318 | 0,548 |
| Лейцин + изолейцин | 2,421 | 1,739 |

Импульсный концентрированный солнечный свет положительно влияет также и на содержание хлорофилла в клетках микроводорослей. Мы проводили опыт в течение 9 дней (07.06—

16.06 1977 г.). Общая продолжительность облучения в первом варианте 120 мин, сумма энергии, получаемой культурой сценедесмуса, — $7,24 \cdot 10^7$ эрг/см², во втором варианте соответственно 145 мин и $8,24 \cdot 10^7$ эрг/см². Кратность светового потока — 3. Со-
 держание хлорофилла в клетках сценедесмуса в контроле в конце опыта оказалось 2,010 (хлорофилл а) и 0,755 (хлорофилл б), в первом опытном образце соответственно 2,685 и 1,510, во втором — 1,050 и 0,564. Таким образом, светимпульсное облучение сценедесмуса продолжительностью 120 мин при кратности светового потока 3 за период культивирования до выхода плотности клеток на плато способствует повышению жизнеспособности клеток водорослей в культуре.

При сравнительном изучении действия ИКСС и прямого КСС на продуктивность хлореллы (при кратности светового потока — 5) установлено, что под действием ИКСС продуктивность хлореллы повышается на 8—20%, а при прямом действии КСС по-разному влияет на интенсивность фотосинтеза хлореллы (табл. 6). Так, интенсивность фотосинтеза водорослей при ИКСС составила 26 мг О₂/ч на 1 мг абсолютно сухой массы, а при прямом КСС — 21,0—23,4. Снижение интенсивности фотосинтеза у водорослей при прямом КСС объясняется действием повышенной дозы прямого света. Прямой КСС повышает температуру среды, что тормозит ферментативные реакции фотосинтеза у зеленых растений (Рабинович, 1953). Кроме того, при прямом действии КСС на растительные клетки разрушается их пигментная система, что может привести к снижению продуктивности растений.

| Вариант | Суммарная энергия за время опыта, эрг/см | Интенсивность фотосинтеза, мг О ₂ /ч на 1 л | | |
|-------------|---|---|----------------------|-----------------------------|
| | | на 1 млрд клеток | на 1 см суспензии | на 1 мг абс. сухой массы |
| Контроль | | 508 ± 46 | 21,0 | 21,3 ± 1,0 |
| ИКСС | 50 | 478 ± 30 | 25,6 | 21,7 ± 1,3 |
| ИКСС | 80 | 235 ± 16 | 34,5 | 25,6 ± 0,8 |
| КСС (прям.) | 83 | 670 ± 40 | 31,4 | 23,4 ± 1,2 |
| КСС (прям.) | 192 | 600 ± 10 | 30,0 | 21,0 ± 0,4 |

ИКСС стимулирует рост и развитие водорослей независимо от сезона года. Весной повышение продуктивности хлореллы под влиянием ИКСС составляло 30—35%, летом и осенью — 30—40.

При неблагоприятных погодных условиях применение импульсного концентрированного солнечного света в условиях производственного культивирования водорослей затруднительно, поэтому используют концентрированный электрический свет (ИКЭС). Исследования показали, что ИКЭС стимулирует рост и развитие водорослей так же, как ИКСС. Для выяснения возможности использования ИКЭС в практике массового культивирования водорослей мы провели сравнительное изучение действия ИКЭС и ИКСС на хлореллу в лабораторных условиях (табл. 7).

Методика облучения водорослей электрическим светом несколько отличается от облучения ИКСС. Здесь также использовали пленочный откатной концентратор, однако электрический свет к нему направляется от прожектора концентрированного потока электрических лучей, расположенных напротив лицевой сто-

Таблица 7

Сравнительное изучение ИКСС и ИКЭС на рост и продуктивность *Chlerella* sp. (p-1) h.str

| Вариант | Концентрация светового потока | Плотность энергии, кал/см ² | Плотность клеток в суспензии, млн/мл за 10 дней | Сухая масса (среднее за 10 дней) | |
|--------------|-------------------------------|--|---|----------------------------------|-------|
| | | | | мг/л | % |
| Контроль | | | 40 | 1029 ± 49 | 100 |
| ИКСС, 10 мин | 4,5 | 20,65 | 58,5 | 1480 ± 85 | 144,0 |
| 20 мин | 4,5 | 46,3 | 48 | 1244 ± 60 | 121,5 |
| ИКЭС, 10 мин | 4,0 | 37,3 | 52 | 1320 ± 60 | 127,0 |
| 20 мин | 4,0 | 18,6 | 46,5 | 1239 ± 40 | 121,0 |

роны концентратора. Для получения импульсов света между концентратором и облученными водорослями устанавливается непрозрачный вращающийся экран со щелями. Водоросли выращивали

Таблица 8

Влияние ИКСС на синтез витаминов в клетках сценедесмуса и хлореллы

| Вариант | Время культиви- рован-ия | Кол-во клеток в суспензии, млн/мл | Содержание витаминов в биомассе, мг/кг сухого вещества | | | | |
|------------------------------|-----------------------------|--|---|----------------|----------------|----------------|--------|
| | | | каротин | B ₁ | B ₂ | B ₆ | C |
| Scenedesmus obliquus-УА-2-6а | | | | | | | |
| Контроль | 8 дней | 50 | 1408,3 | 6,9 | 21,5 | 12,1 | 2760 |
| Облучение | " | 60 | 2670,8 | 7,0 | 23,7 | 12,3 | 2881,3 |
| Контроль | 9 дней | 65 | 1469,9 | 5,5 | 15,7 | 10,6 | 3003,7 |
| Облучение | " | 70 | 2598,0 | 5,8 | 20,0 | 11,4 | 3256,6 |
| Chlorella sp (P-1) f. str | | | | | | | |
| Контроль | 7 дней | 30,5 | 563,1 | 4,7 | 10,3 | 11,2 | 2046,6 |
| Облучение | " | 40 | 1710,8 | 5,1 | 15,2 | 8,7 | 3746,6 |
| Контроль | 8 дней | 70 | 1252,3 | 3,3 | 10,8 | 6,0 | 2589,4 |
| Облучение | " | 100 | 2001,5 | 3,8 | 12,3 | 8,7 | 2865,2 |
| Контроль | " | 140 | 915,4 | 3,6 | 6,2 | 4,9 | 2135,6 |
| Облучение | " | 200 | 1820,5 | 3,8 | 6,5 | 5,6 | 2267,3 |

в лабораторных условиях при освещении 6—8 клк на специальном столике.

Результаты опытов показывают, что ИКЭС, как и ИКСС, оказывает стимулирующее действие на рост и развитие культур микроводорослей и способствует повышению их продуктивности в

культиваторах (табл. 8). В облученной ИКСС и ИКЭС культуре продуктивность хлореллы оказалась на 20—45% выше (1,2—1,5 г/л), чем в необлученной (1,02 г/л).

Светоимпульсное облучение повышает содержание витаминов в клетках культур водорослей. Витаминный состав определяли общепринятыми методами (Девятнин, 1969) в свежеприготовленной биомассе хлореллы (*Chlorella* sp (P-I)h. str) и сценедесмуса (*Scenedesmus obliquus*-УА-2-6), выращенных в лотковых установках на среде 04 с применением импульсного концентрированного солнечного света (табл. 8).

При использовании импульсного концентрированного солнечного света и при ежедневном светоимпульсном облучении при кратности 5, суммарной энергии для сценедесмуса $2,465 \cdot 10^7$ эрг/см², для хлореллы — $2,465 \cdot 10^7$ эрг/см² и продолжительности облучения соответственно 30—60 и 30—120 мин в клетках микроводорослей стимулируется синтез витаминов.

Рост и продуктивность хлореллы зависят от плотности энергии. Оптимальной дозой энергии для облучения культур водорослей оказалась 18—20 кал/см². При этом продуктивность водорослей на 40—45% выше, чем в контроле.

Таким образом, облучение импульсным концентрированным солнечным светом значительно улучшает физиологическое состояние клеток водорослей и их продуктивность.

Под действием ИКСС и ИКЭС культура водорослей получает дополнительную энергию, и в клеточном аппарате может аккумулировать большое количество энергии. ИКСС способствует быстрому формированию фотосинтетического аппарата и улучшению общей жизнедеятельности растительных организмов. Об этом свидетельствует увеличение количества хлорофилла и ускорение синтеза витаминов и других клеточных компонентов.

Исследования показали, что ИКСС — сильный физический стимулятор роста, развития и продуктивности водорослей. Применение этого метода в практике производственного культивирования водорослей позволяет повысить их продуктивность и получать высококачественную биомассу, богатую физиологически активными веществами. Этот метод может быть рекомендован для производственного культивирования микроорганизмов.

В настоящее время проектируется завод по производству пастообразной биомассы хлореллы на базе использования ИКСС и продуктов сгорания промышленных котельных.

В изучении действия ИКСС на водоросли еще много нерешенных вопросов. Предполагается возможность использования ИКСС для получения мутагенных штаммов водорослей, способных к активному синтезу белка, липидов и других компонентов, а также для культивирования в условиях повышенных температур и освещения.

Необходимо изучить действие биомассы водорослей, выращенной в специальных реакторах с применением ИКСС, на живот-

ных и сельскохозяйственные растения. Представляет большой интерес изучение механизма действия ИКСС на фотоавтотрофные и гетеротрофные организмы.

ЗАГРЯЗНЕНИЕ И ЗАРАЖЕНИЕ КУЛЬТУРЫ ПРОТОКОККОВЫХ ВОДОРОСЛЕЙ ЗООВСЕЛЕНЦАМИ И МЕРЫ БОРЬБЫ С НИМИ

Открытые установки по массовому культивированию микроводорослей, особенно при непрерывно-проточном способе их выращивания, нередко загрязняются различными примесями. Загрязнение происходит при ветреной погоде в результате попадания в культиваторы пылевых частиц, высохших листьев, лепестков и др.

Необходимо избегать посадки вокруг бассейнов деревьев, не следует строить установки в открытых ветру местах рельефа. Необходимо выбирать места солнечные, спокойные, защищенные от ветра.

Площадь вокруг бассейнов следует зацементировать или забетонировать, желательно поливать ее дважды в день (утром и вечером). При этом необходимо следить, чтобы грязные стоки не попадали в культиваторы. Борта бассейнов должны на 10—15 см возвышаться над поверхностью земли, это предотвращает попадание в бассейн дождевых, талых вод и других стоков. Такая необходимость отпадает, если культиваторы сделаны над землей.

Культуры микроводорослей в открытых бассейнах часто загрязняются различными микроорганизмами — бактериями, грибами, зооуселенцами (амебы, инфузории, коловратки, личинки комаров). Постоянными спутниками хлореллы и сценедесмуса в культуре являются неспоровые бактерии. Споровые бактерии немногочисленны и бедны по составу. В культуре хлореллы в условиях Узбекистана обнаружены представители *Pseudomonas* (6 видов), *Micrococcus* (5), *Bacterium* (4), *Bacillus* (2), *Streptococcus* (1), *Vibrio* (V), *Mycobacterium* (1). Содержание бактерий в суспензии хлореллы достигает десятков и сотен тысяч клеток в 1 мл. По данным М. Н. Пименовой и др. (1961), Б. В. Громова (1961), численность бактерий в культуре микроводорослей достигает десятков и сотен миллионов в 1 мл. В культуре хлореллы наиболее многочисленны бактерии, потребляющие азот в минеральной форме (Малахова и др., 1966). Однако ни одна из обнаруженных бактерий не оказывает отрицательного влияния на рост и развитие хлореллы. Повышение численности следующих бактерий увеличивало рост хлореллы почти в 2 раза: *Bac. mucilaginosus*, *Bac. mesentericus*, *Micrococcus citreus*, *M. globosus*, *Pseudomonas metalloides*, *Pseud. ambigua*, *Pseud. virescens*, *Micobacterium globiforme*. Отмечено, что между хлореллой и бактериями при их совместном выращивании наблюдаются взаимостимулирующие отношения (Малахова и др., 1966).

Численность бактерий особенно высока при культивировании водорослей на среде, приготовленной из органических источников питания. В этом случае сопутствующие бактерии подавляют хлореллу (Музафаров и др., 1974).

Чрезмерное развитие бактерий в культуре водорослей нежелательно, так как при этом изменяется биохимический состав и кормовая ценность биомассы водорослей. Отмечены случаи спонтанного лизиса водорослей в результате действия литического агента, сходного с вирусами высших растений или фагами бактерий (Заварзина, 1961).

По данным многих исследователей, коловратки, личинки комаров (рис. 13) уничтожают клетки хлореллы. В культуре хлореллы особенно часто встречаются их наземные и бентические формы. Они активно питаются одноклеточными микроводорослями. Ослабление культуры водорослей вызывает бурное развитие зоо-

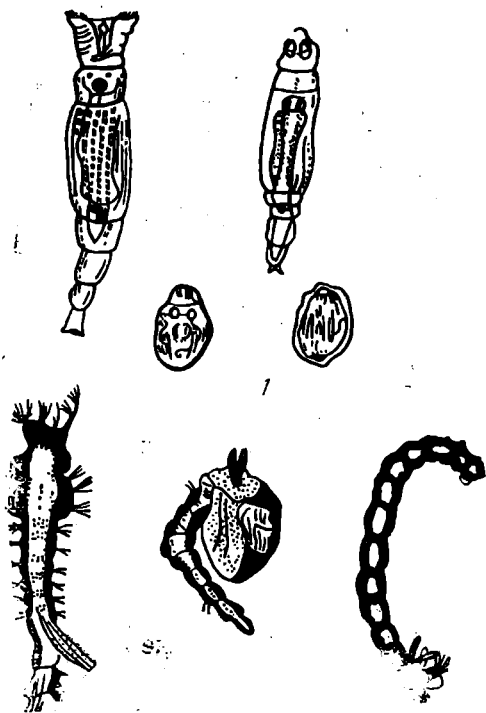


Рис. 13. Вредители микроводорослей.

1—наземные колловратки, 2—личинки комаров.

вселенцев, и водоросли гибнут. Однако в интенсивной культуре зоовселенцы появляются очень редко. При активном перемешивании суспензии личинки комаров не могут существовать в культуре хлореллы.

При длительном культивировании суспензия водорослей начинает издавать неприятный запах, осадок приобретает темно-бурый оттенок (Лошкова и др., 1967).

Японские исследователи (Nakamura, 1963) для защиты культуры хлореллы от зоовселенцев рекомендуют использовать фильтрующую установку. Периодическая фильтрация суспензии протококковых микроводорослей через стекловату очищает культуру от коловраток, личинок комаров и др. Нередко в культуру водорослей добавляют небольшое количество (1 мг/л суспензии) препарата ДУ-2,4-динитро-6-циклогексан фенилуксусной кислоты, отрицательно действующей на зоовселенцев. Некоторые иссле-

лователи рекомендуют применять окись углерода (0,1%) в виде добавки к смеси воздуха с углекислотой.

Задерживается развитие зоовселенцев и при выращивании водорослей с повышенной рН среды.

Сильно зараженную зоовселенцами культуру водорослей следует слить, культиваторы продезинфицировать раствором хлорной извести и промыть водопроводной водой. Затем готовят новую питательную среду и высевают новую культуру.

В нашей практике при соблюдении необходимых условий культивирования зоовселенцы в культуре микроводорослей не появлялись. Не появляются зоовселенцы также при выращивании водорослей с использованием импульсного концентрированного солнечного света в качестве физического стимулятора и источника дополнительного освещения.

Чтобы избежать загрязнения культуры водорослей примесями, необходимо соблюдать санитарные условия установок, держать все культиваторы в чистоте, не оставлять в них старую, испорченную суспензию, шланги, щетки и другой инвентарь после использования хранить в специально отведенном месте. Периодически их следует дезинфицировать хлорной известью и тщательно промывать.

О ПРОДУКТИВНОСТИ ПРОТОКОККОВЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ В КУЛЬТУРЕ

При учете продуктивности водорослей обычно определяют количество суспензии в литрах или тоннах, пастообразной или сухой массы — в килограммах или тоннах, получаемые за определенный промежуток времени и на определенной площади водной поверхности. Эти способы измерения продуктивности водорослей широко применяются при производственном культивировании. В зависимости от видов и штаммов и от плотности клеток водорослей их суспензия может различаться по консистенции и товарному качеству. В тех случаях, когда учитывают продуктивность водорослей в виде суспензии, одновременно, кроме общего количества ее, часто указывают и количество в ней клеток тех или иных водорослей.

Общая теоретическая биологическая продуктивность, приводимая для хлореллы и некоторых других протококковых водорослей, очень высока. Клетка хлореллы в благоприятных условиях в течение 8—12—24 ч количественно может увеличиваться в 4—8—16 и более раз. Однако создать одинаково идеальные условия для клеток хлореллы или других культивируемых микроводорослей на всех участках культиватора трудно, поэтому удерживать культуру в довольно высоком темпе размножения невозможно. Кроме того, клетки могут находиться в различных фазах или стадиях развития, их физиологические свойства также различны на разных стадиях, что делает невозможным создание одинаковых условий роста и развития.

Продуктивность водорослей, полученная разными авторами, зависит от различных факторов, от видов и штаммов водорослей, конструктивных особенностей установок-реакторов.

Таблица 9

Продуктивность хлореллы в хозяйствах страны (по Сальниковой, 1977)

| Хозяйство | Суспензии за 1 сутки, т | Плотность суспензии, г/л | Выход суспензии при плотности 1 г/л, т | Пло- щадь, м ² | Стандартной суспензии на 1 м ² за сутки, л |
|--|-------------------------------|--------------------------------|---|---------------------------------|--|
| Колхоз им. Шев- ченко Щербинского р-на Краснодарского края | 2 | 0,75 | 1,5 | — | — |
| Колхоз им. XXII Партсъезда Бахчиса- райского р-на Крым- ской обл. | 2,5 | 0,25 | 0,8 | 324 | 2,5 |
| Колхоз „Червоный маяк“ Борозовского р-на Харьковской обл. | 4,5 | 1,0 | 4,5 | 480 | 9,4 |
| Колхоз „Путь к коммунизму“ Влади- мирского р-на Астра- ханской обл. | 5 | 1,5 | 6,7 | — | — |
| Колхоз „Кавказ“ Тбилисского р-на Краснодарского края | 50 | 0,25 | 12,2 | 1520 | 8,0 |
| Совхоз „Индуст- рия“ Ростовской обл. | 50 | 0,25 | 12,2 | 660 | 18,4 |

По данным Н. Н. Верзилина и А. А. Михайлова (1977), продуктивность отдельных видов микроводорослей при культивировании их в лотковых установках с циркуляционным перемешиванием в условиях Ленинградской области 5,9—16,8 г сухой массы с 1 м² в сутки. Ниже приводим данные указанных авторов.

| Водоросль | Суточная радиация, кал/см ² | Средняя су- точная тем- пература, °C | Урожай, г су- хой массы на 1 м ² в сутки |
|--------------------------------|--|--|---|
| <i>Chlorella vulgaris</i> | 301 | 15,4 | 7,7±0,1 |
| <i>Ch. pyrenoidosa</i> | 289 | 14,9 | 6,8±0,5 |
| <i>Scenedesmus quadricaula</i> | 301 | 15,4 | 9,2±0,2 |
| <i>Kirchueriella obesa</i> | 301 | 15,4 | 10,7±0,1 |
| <i>Porphyridium cruentum</i> | 281 | 15,1 | 8,1±0,2 |
| <i>Anabaena variabilis</i> | 278 | 13,2 | 5,9±0,3 |
| <i>Spirulina platensis</i> | 468 | 34,5 | 16,8±0,1 |

Большой выход биомассы у спироулины (16,8 г/м²) получен в результате культивирования ее в термостатированных установках. По мнению авторов, за вегетационный период (май — сентябрь) в

Условиях Ленинградской области из культуры микроводорослей можно получить 10—16 т/га сухой массы.

На Украине микроводоросли выращивают на отходах бродильных производств. По данным Н. А. Мошковой и А. Ф. Беренштейна (1967), урожайность хлореллы при этом составляет 0,4—0,5 г/л за 6 суток выращивания в лотковых культиваторах.

По данным С. Баранова (1966), средний урожай водорослей в СССР колеблется от 18,0 до 22,0 г/м² сухой массы в сутки. В условиях Таджикистана урожайность водорослей достигла 11,7—14,0 г/м² сухого вещества в сутки (Махмедбеков, 1966).

В. А. Чесноков (1962) в условиях Ленинградской области в лотковых установках получил 9,7—20,5 г/м² сухого вещества в сутки.

По мнению В. В. Пиневица (1966), с продвижением с севера на юг урожайность водорослей постепенно повышается. В Узбекистане урожайность водорослей достигает 22—42 г сухого вещества с 1 м² в сутки.

Данные по урожайности водорослей показывают, что по росту и накоплению биомассы потенциальные возможности их не исчерпаны в условиях культивирования под открытым небом.

Максимальная продуктивность культур микроводорослей, по данным многих зарубежных авторов, достигает 0,5—0,7 г/л сутки, или 7—21 г/м² сутки (Myers et al., 1951; Davis et al., 1953; Moysse, 1956; Taniya, 1957; Meffert, 1959; и др.).

Годовая продуктивность хлореллы в Узбекистане составляет 59—63 и более т/га сухой массы (Музафаров и др., 1974).

В условиях Кызылкумов, по расчетам Т. Васнгова (1969), средний урожай водорослей за период вегетации составляет 35 т сухого вещества с 1 га водной поверхности.

Некоторые авторы (Сальникова, 1977) урожайность водорослей определяют по количеству производимой суспензии в тех или иных установках (табл. 9). При этом устанавливается плотность клеток водорослей в этих суспензиях. По мнению М. Я. Сальниковой (1977), учет урожайности водорослей по суспензии прост и удобен, и его можно рекомендовать для всех хозяйств.

Во многих хозяйствах Узбекистана построены разнотипные установки по производству суспензии хлореллы, спенедезмуса и других микроводорослей, где продуктивность их учитывается по количеству производимой товарной суспензии. Товарной считается суспензия, имеющая плотность 20—30 млн клеток хлореллы в 1 мл, или 0,25—0,30 г/л сухого вещества. Приводим данные по продуктивности хлореллы в хозяйствах Узбекистана

| Хозяйство | Рабочая емкость установки, т | Производительность установки в сутки, л | Плотность суспензии, г/л сухого вещества |
|-----------------------------------|------------------------------|---|--|
| Центральная ташкентская скотобаза | 32 | 8000 | 0,25 |
| Ургенчское откормочное хозяйство | 32 | 8000 | 0,25 |
| Каганское откормочное хозяйство | 32 | 8000 | 0,25 |

| | | | |
|--|----|------|------|
| Колхоз „Москва“ Пахта- абадского р-на Андижанской области | 20 | 5000 | 0,80 |
| Колхоз „Аколтын“ Ташлак- ского р-на Ферганской области | 20 | 5000 | 0,30 |
| Колхоз „Коммунист“ Орджоникидзеvского р-на Ташкентской области | 5 | 1000 | 0,25 |
| Совхоз „Малек“ Сырдарь- инской области | 10 | 2000 | 0,25 |

Среднеазиатский регион вообще, Узбекистан в частности, наиболее благоприятны в климатическом отношении для организации промышленного выращивания микроводорослей в открытых установках. Наши исследования по изучению продуктивности микроводорослей проводились в основном в Ташкентском оазисе. Ниже представлены среднемесячные величины освещенности (тыс. лк) и температура воздуха (0°С).

| Месяц | Освещенность (с 6 ³⁰ по 18 ³⁰ ч.) | Температура воздуха (с 8 ³⁰ по 19 ³⁰ ч) |
|----------|--|--|
| Апрель | 36,2 | 18,6 |
| Май | 47,0 | 23,0 |
| Июнь | 49,8 | 28,0 |
| Июль | 48,0 | 29,5 |
| Август | 43,4 | 28,4 |
| Сентябрь | 43,8 | 25,0 |
| Октябрь | 26,8 | 15,8 |
| Ноябрь | 20,0 | 8,0 |

В культуре мы использовали 5 штаммов хлореллы (*Chlorella pyrenoidosa*-УА-1-1, *Ch. vulgaris*-157, *Chlorella* sp. 1-5, *Chlorella* sp. (p-1) h. str, *Chlorella vulgaris*-УА-1-2) и 3 штамма сценедесмуса (*Scenedesmus obliquus*-УА-2-6а, *S. obliquus*-УА-2-6б, *S. acuminatus*-УА-2-7а).

Среднесуточная урожайность водорослей в теплые месяцы года в открытых бассейнах составляла 15,5—32 г/м². Максимальный урожай в установке лоткового типа летом достигал 33—42 г/м² сухого вещества в сутки. Среди испытанных штаммов наиболее продуктивными в условиях массового культивирования в открытых установках оказались *Chlorella pyrenoidosa*-УА-1-1, *Ch. vulgaris*-157, *Chlorella* sp. (p-1) h. str. и *Scenedesmus obliquus*-УА-2-6а (табл. 10). Эти штаммы приспособлены к условиям открытых культиваторов в Узбекистане и могут давать стабильные урожаи в отдельные месяцы. *Chlorella pyrenoidosa*-УА-1-1 и *Scenedesmus obliquus*-УА-2-6а, являясь аборигенами, отличаются от других экзотов быстрым ростом и высокой продуктивностью в культуре, а также быстрой приспособляемостью к местным природным условиям. Продуктивность указанных штаммов довольно высока и при культивировании их зимой в открытых бассейнах с использованием продуктов сгорания природного газа в качестве источника тепла и углекислоты для фотосинтеза. Урожай при температуре воздуха 10—30°С составлял 12—22 г/м² в сутки.

По данным В. Е. Семененко (1975), для массового культивирования наиболее удобен штамм хлореллы *Chlorella* sp. k., полученной селекционным путем (Косиков, 1973). Максимальная продуктивность этого штамма в лабораторных условиях 70 г/м² в сутки, или 25 г сухой биомассы на 1 л суспензии в сутки. Однако в литературе отсутствуют данные о продуктивности этого штамма в открытых установках.

Таблица 10

Продуктивность протокочковых водорослей, культивируемых в установках под открытым небом в условиях Ташкента (г/м² сухого вещества в сутки)

| Штамм | Год | Апрель | Май | Июнь | Июль |
|--------------------------------------|------|---------|----------|----------|----------|
| <i>Chlorella pyrenoidosa</i> -УА-1-1 | 1967 | 7,7±0,2 | 15,7±0,6 | 22,8±0,8 | 23,0±0,5 |
| <i>Ch. vulgaris</i> -157 | 1967 | 9,1±0,3 | 20,0±0,5 | 19,5±0,7 | 22,1±0,6 |
| | 1968 | 8,8±0,3 | 20,0±0,5 | 22,3±0,9 | 23,2±0,4 |
| <i>Chlorella</i> sp. (P-1) h. str. | 1969 | — | 7,0±0,3 | 23,2±0,9 | 21,1±0,3 |
| <i>Scenedesmus obliquus</i> -УА-2-6а | 1968 | 9,1±0,2 | 18,2±0,4 | 25,2±0,6 | 25,6±0,2 |
| " | 1969 | 8,8±0,6 | 19,2±0,5 | 26,0±1,2 | 24,1±0,7 |

| Штамм | Год | Август | Сентябрь | Октябрь | Ноябрь |
|--------------------------------------|------|----------|----------|----------|---------|
| <i>Chlorella pyrenoidosa</i> -УА-1-1 | 1967 | 32,1±0,8 | 19,8±0,8 | — | — |
| <i>Ch. vulgaris</i> -157 | 1967 | 20,3±0,4 | 21,2±0,6 | 12,9±0,7 | 4,7±0,2 |
| | 1968 | 29,3±1,0 | 19,4±0,3 | 16,3±0,4 | 3,7±0,1 |
| <i>Chlorella</i> sp. (P-1) h. str. | 1969 | 26,0±0,7 | 6,7±0,2 | — | — |
| <i>Scenedesmus obliquus</i> -УА-2-6а | 1968 | 31,0±0,8 | 18,1±0,4 | — | — |
| " | 1969 | 29,5±1,0 | 23,0±0,6 | 8,1±0,1 | — |

В условиях средней полосы в культуре часто используют штаммы сценедесмуса. В Чехословакии и Болгарии в массовой культуре в открытых бассейнах используется в основном штамм сценедесмуса *Scenedesmus acutus* (Zahradnik, 1967; Дилов, 1977). Этот же штамм распространен в массовой культуре в условиях Италии. Продуктивность его в открытых установках составляет 11—15 г/м² сухого вещества в сутки.

По данным некоторых исследователей (Kanazawa, 1955; Накатига, 1960; и др.), несколько больше размеры культиватора, настолько ниже продуктивность водорослей. Т. Каназавы (1955) в установках с поверхностью 19,6—78,5 м² в апреле—октябре получил в среднем 10—12,5 г/м² сухого вещества в сутки, Н. На-

катага (1960) в установке площадью 4000 м² за этот же период— всего 2,5 г/м². Значительная разница в урожайности водорослей, на наш взгляд, связана не с размерами бассейнов, а с отсутствием оптимальных условий для выращивания водорослей в этих бассейнах. Авторы приводят различные данные по продуктивности протококковых водорослей в установках под открытым небом (г/м² сухого вещества в сутки).

| Объем суспензии, л | Урожай | | Автор |
|--------------------|-----------------|--------------|--------------------------|
| | средне-суточный | максимальный | |
| 300 | 2,7—7,2 | — | Wasink и др. (1953) |
| 100 | 5,6—8,4 | 12,6 | Bjorkman и др. (1955) |
| 200 | 10,2 | 13,0 | Moyse (1956) |
| 1960—3550 | 8,8 | 19,4 | Kanazawa (1958) |
| 21 0 | 18,4 | — | Mayer et al. (1958) |
| 135000 | 4,2 | — | Nakamura (1961) |
| 100—1700 | 7,0—14,0 | 21,0 | Tamiya (1961a, б) |
| 650—4000 | 26,0—9,0 | 11,0 | Littl (1953) |
| 400 | — | 12,0 | Kapana (1964) |
| 120 | 18,0—22,0 | — | Баранов (1966) |
| 100—1700 | 7,0—14,0 | 21,0 | Русина, (1961a, б) |
| 15200 | 7,3—10,0 | 15,1 | Пиневич и др. (1963) |
| 800—5000 | 9,5—18,4 | 27,0 | Васильев и др. (1961) |
| 800—5000 | 9,5—18,4 | 27,0 | Васильева и др. (1954) |
| 100—10000 | 10,2—14,5 | 33,0 | Милоградова и др. (1966) |
| 500—1500 | 11,7—14,0 | 28,0 | Махамадбеков (1965) |
| — | 8,4 | 13,8 | Карагулян и др. (1968) |
| 650—800 | 8,0—12,2 | 18,8 | Глазачева (1968) |
| 500—9000 | 11,9—14,8 | 25,0 | Zahradnik (1968) |

По мнению чешского ученого J. Zahradnik (1967), продуктивность водорослей зависит не от размеров бассейна, а от условий культивирования тех или иных штаммов или видов. При культивировании водорослей на установке с поверхностью 900 м² в опытах автора урожайность достигла 11—15 г/м² в сутки.

Приводим данные по продуктивности протококковых водорослей, выращенных одинаковым способом, в бассейнах разного размера (г/м² сухого вещества в сутки).

| Месяц | Размер установки, м ² | | | |
|----------|----------------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|
| | 19,6—75,5 (Kanazawa, 1958) | 4000 (Nakamura, 1960) | 50 (Zahradnik, 1967) | 900 (Zahradnik, 1957) |
| Январь | 1,6 | 1,0 | — | — |
| Февраль | 2,2 | 0,7 | — | — |
| Март | 5,5 | 0,6 | — | — |
| Апрель | 11,5 | 2,0 | — | — |
| Май | 18,5 | 2,2 | 18,6 | — |
| Июнь | 14,0 | 2,9 | 19,3 | 11,9 |
| Июль | 9,1 | 3,6 | 16,4 | 14,2 |
| Август | 13,4 | 2,1 | 16,4 | 14,2 |
| Сентябрь | 12,3 | 2,1 | 9,6 | 7,0 |
| Октябрь | 9,0 | 2,8 | — | — |
| Ноябрь | 5,0 | 1,6 | — | — |
| Декабрь | 2,0 | 0,5 | — | — |

Следовательно, создавая оптимальные условия для культивируемых микроводорослей, можно получить высокий урожай при любом объеме бассейна.

В наших опытах при культивировании водорослей в лотковых условиях рабочей емкостью 1000 л и 10000 л получен почти одинаковый урожай — 20—22 г/м² сухого вещества в сутки. В то же время в круглых цементированных бассейнах, где перемешивание суспензии водорослей было недостаточным, урожай оказался значительно ниже — 10—15 г/м² сутки.

По мнению многих исследователей (Иерусалимский, 1966; Работнова, 1977; Перт, 1978; и др.), при массовом культивировании микроорганизмов наиболее эффективным является непрерывно-проточный способ, позволяющий обеспечить относительное постоянство условий среды, накопление биомассы микроорганизмов, а также поддерживать культуру на высоком жизненном уровне.

При непрерывно-проточном способе культивирования в открытых бассейнах лучшие результаты получены при комбинированных посевах термофильных или термотолерантных и мезотермных штаммов, так как при постоянно меняющихся условиях культура одного и того же штамма не может обеспечить непрерывность культивирования в открытых бассейнах.

| <i>Культура</i> | <i>Продолжительность опыта, сутки</i> | <i>Плотность культуры при выходе на плато</i> | <i>Среднесуточный урожай при слое суспензии 10 см, г/м</i> |
|--|---------------------------------------|---|--|
| <i>Chlorella-Co 10 (25)</i> | 7 | 1,27 | 18 1 |
| <i>Scenedesmus obliquus-YA-2-6a</i> | 8 | 1,5 | 18,7 |
| <i>Ch. co 10 (25)+S. obliquus-Ya-2-6a</i> | 9 | 2,2 | 24,4 |
| <i>Ch. sp (P-1) h. str</i> | 7 | 1,3 | 18,5 |
| <i>Ch. sp. (P-1) h. str. S. obliquus Ya-2-6a</i> | 8 | 1,3 | 16 5 |
| <i>Ch. vulgaris-157</i> | 7 | 1 45 | 20,7 |
| <i>Ch. vulgaris-157+S. obliquus-YA-2-6a</i> | 7 | 1,72 | 21,5 |

При открытых условиях непрерывно-проточное культивирование отъемно-доливным способом во многих случаях не дает желаемого результата, так как культура постепенно загрязняется старыми мертвыми клетками, пылевыми и другими частицами.

Лучшие результаты получены при культивировании водорослей батарейным способом, когда используется несколько культиваторов, из которых поочередно ежедневно суспензия полностью реализуется. Соблюдается и очередность посева водорослей в культиваторах. При таком способе культивирования суспензия не загрязняется старыми и мертвыми клетками, пылевыми частицами, обеспечивается получение свежей плотной товарной суспензии. Суточная производительность установки из 7 лотковых культиваторов (емкость каждого 10 т) достигает 10 т при плотности клеток 150 млн/мл и более. Комбинирование штаммов также дает лучшие результаты, чем посев альголически чистым штаммом.

Положительная роль смешанных штаммов в массовой культуре водорослей показана и другими исследователями (Баранов, 1964; Пиневич и др., 1965; и др.). По мнению В. В. Пиневича (1965), комбинированное выращивание водорослей способствует более полному выносу биогенных элементов из питательной среды и повышению общего урожая. О преимуществе смешанных штаммов в открытой культуре по сравнению с чистыми штаммами писал и Н. Nakatuga (1963).

Хлорелла, сценедесмус и другие протококковые водоросли относятся к высокопроизводительным растительным организмам. Известно, что обычные культурные растения потребляют всего 0,1% солнечной энергии при биохимических превращениях, а хлорелла — 2,5%, т. е. в 25 раз больше. При создании оптимальных условий культивирования использование хлореллой солнечной энергии достигает 10—12% (Бартош, 1975). По мнению многих исследователей (Бартош, 1972; Мошкова, Беренштейн, 1968; Таубаев, 1977; и др.), урожайность водорослей 15—20 г/м² сухого вещества в сутки можно считать экономически оправданной.

Продуктивность микроводорослей, выращенных на производственной установке (производительность 2,5—5 т суспензии в сутки) Ташкентской центральной скотобазы Главскотпрома УзССР (1967, 1968 гг.), достигает следующих величин:

| Месяц | Продолжительность культивирования, дни | Средняя плотность сухой биомассы, г/л | Урожайность микроводорослей в месяц в пересчете на сухую массу, кг | Урожайность микроводорослей в месяц в пересчете на писту, кг |
|----------|--|---------------------------------------|--|--|
| 1967 г. | | | | |
| Март | 24 | 0,4 | 24,00 | 120,0 |
| Апрель | 30 | 0,5 | 60,00 | 300,0 |
| Май | 28 | 0,8 | 56,00 | 280,0 |
| Июнь | 24 | 0,87 | 114,80 | 574,0 |
| Июль | 30 | 1,2 | 162,00 | 810,0 |
| Август | 28 | 1,3 | 163,00 | 815,0 |
| Сентябрь | 30 | 1,2 | 126,00 | 630,0 |
| Октябрь | 26 | 0,76 | 57,00 | 285,0 |
| Ноябрь | 30 | 0,5 | 52,20 | 261,0 |
| Декабрь | 26 | 0,5 | 52,00 | 260,0 |
| 1968 г. | | | | |
| Январь | 29 | 0,4 | 5,20 | 261,0 |
| Февраль | 24 | 0,6 | 64,80 | 324,0 |
| Всего | 328 | | 984,04 | 4920,2 |

Изучение биологической продуктивности естественных и культурных растительных сообществ — одна из важнейших задач современной ботаники. Необходимо не только определение продуктивности, но и создание биоценозов или фитоценозов с максимальной производительностью в тех или иных условиях, а также изыскание новых биологических ресурсов.

БИОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОТОКОККОВЫХ ВОДОРОСЛЕЙ В КУЛЬТУРЕ

Биохимические особенности микроводорослей в культуре зависят от многих факторов, особенно от состава питательной среды и способа выращивания. При автотрофном способе водоросли выращивают на чистых минеральных средах, при миксотрофном или гетеротрофном — в той или иной мере используются органические источники питательных веществ. В ФРГ, Болгарии и Чехословакии в основном распространен автотрофный метод культивирования водорослей. В Японии — миксотрофный и гетеротрофный. При гетеротрофном способе водоросли культивируют в темноте в ферментерах с использованием глюкозы, уксусной кислоты или этилового спирта (Takechi, 1971). Нередко в среду добавляют мясной или дрожжевой экстракт и гидролизат казеина.

В органической среде часто повышается содержание жира, крахмала и других форм углеводов (Рахимов, Якубов, 1971), в минеральной — наоборот, их количество уменьшается, а содержание белковых веществ несколько повышается.

В биомассе хлореллы (*Chl. regularis*), полученной при культивировании гетеротрофным способом, содержание белка достигает 45—65% (Endo et al., 1972).

По мнению некоторых исследователей (Weber, 1959, 1961; Soeder et al., 1970), состав белка хлореллы и сценедесмуса почти идентичен составу структурного белка хлоропластов, изолированных из листьев высших растений. После обработки биомассы водорослей ее переваримость составляет 75—85%, а биологическая ценность — 60—78% (Mitsuda, 1959; Krauff et al., 1966; Endo, 1972).

По биологической ценности 124 г белка водорослей (*Scenedesmus* sp.) соответствует 100 г яичного белка.

При добавлении метионина белки микроводорослей по питательной ценности приближаются к белкам животного происхождения (Шаркань, 1975).

В составе *Scenedesmus acuminatus* содержится 62,04% белка (Серенков и др., 1957), а *Chlorella ellipsoidea* — 37,5—46,7% (Wamura et al., 1955).

При увеличении концентрации азота (0,01—0,001 М) в биомассе протококковых водорослей содержание белка повышается на 60—40%, иногда на 75%. При содержании азота в среднем менее 0,001 М в клетках усиливается накопление жиров (Spoehr, Milner, 1956).

Аминокислотный состав белков хлореллы и сценедесмуса приведен в табл. 11.

Количество аминокислот зависит от условий культивирования штаммов и обработки клеток.

При хроматографическом анализе гидролизата целых, предварительно высушенных клеток *Ch. ellipsoidea* была обнаружена

а₁ а'-диаминопимелиновая кислота, в *Ch. vulgaris* — аргиноянтарная кислота (Walker, 1952). Содержание нуклеиновых кислот в *Scenedesmus acuminatus* достигает 6% сухой массы (Серенков и др., 1957).

Сера необходима для клеточного деления и синтеза ДНК. Она встречается в составе различных нуклеотидов (Wedding, Black, 1960).

Таблица 11

Аминокислотный состав протококковых водорослей
(% белкового азота)

| Аминокислота | <i>Chlorella vulgaris</i> | | | <i>Chorella pyrenoidosa</i> | | <i>Scenedesmus acuminatus</i> |
|-----------------------|---------------------------|----------------------------|------------------------------|-------------------------------|--------------|-------------------------------|
| | Fowden (1952) | Tangl, Machay (1956, 1957) | Schlier, Meclure Duml (1953) | Schlier, Meclure, Duml (1953) | Cambs (1952) | Tangl, Machay (1956, 1957) |
| Аланин | 7,7 | 20,2) | 5,24 | 5,59 | — | 29,10 |
| Аспарагиновая кислота | 6,4 | 4,65 | 6,32 | 7,91 | — | 9,5) |
| Аргинин | 15,8 | 2,62 | 3,82 | 6,07 | 5,97 | 3,22 |
| Цистин | 0,2 | — | 0,61 | 0,83 | — | — |
| Глутаминовая кислота | 7,8 | 8,20 | 7,60 | 8,65 | — | 5,17 |
| Глицин | 6,2 | 2,01 | 4,80 | 4,25 | 5,50 | 2,59 |
| Гистидин | 3,3 | 1,10 | 1,42 | 2,0 | 1,62 | 1,16 |
| Изолейцин | 3,5 | — | 5,93 | 5,31 | 4,23 | — |
| Лейцин | 6,1 | 9,90 | 8,37 | 8,71 | 8,66 | 12,30 |
| Лизин | 10,2 | 4,65 | 2,32 | 5,13 | 6,08 | 5,17 |
| Фенилаланин | 2,8 | 1,60 | 11,58 | 4,91 | 4,14 | 1,42 |
| Пролин | 7,2 | 7,65 | 3,48 | 3,90 | — | 4,52 |
| Треонин | 2,9 | 2,70 | 2,26 | 4,32 | 7,78 | 3,65 |
| Триптофан | 2,1 | — | 1,11 | 1,22 | 1,05 | 0,65 |
| Тирозин | 2,8 | — | 3,2) | 1,77 | — | 1,94 |
| Валин | 5,5 | 7,45 | 5,72 | 5,65 | 3,22 | — |
| Орнитин | — | 0,93 | — | — | — | 1,2) |
| Серин | 3,3 | 18,60 | — | — | — | 13,60 |
| Пептиды | — | 7,25 | — | — | — | 1,62 |
| Оксипролин | 0,0 | — | — | — | — | — |
| Азот амидов | 6,1 | — | — | — | — | — |
| Сумма азота | 101,3 | 99,57 | 74,51 | 76,83 | 48,50 | 100,54 |

Часть аминокислот (аспарагиновая, глутаминовая, аланин, пролин, валин, тирозин, серин, глицин, лейцин и изолейцин) находится не только в свободном, но и в связанном состоянии (табл. 12, 13, 14).

По определению В. П. Костиной (1963), в *Chlorella pyrenoidosa* содержится 33—40 и более процентов белка, до 16,7% жира, 8—10% золы.

Содержание аминокислот в микроводорослях, г/кг воздушно-вещества

| Аминокислота | <i>Chlorella vulgaris</i> -157 | <i>Chlorella pyrenoidosa</i> -YA-1-1 | <i>Chlorella sp.</i> co-10 | <i>Chlorella sp.</i> 1-5 | <i>Scenedesmus obliquus</i> YA |
|-----------------------|--------------------------------|--------------------------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------------|
| Лизин | 8,78 | 10,03 | 14,21 | 5,72 | 1,00 |
| Гистидин | 1,51 | 1,19 | 3,22 | 0,72 | 1,00 |
| Аргинин | 8,17 | 9,53 | 15,76 | 4,92 | 10,00 |
| Аспарагиновая кислота | 25,66 | 27,31 | 39,81 | 29,03 | 43,00 |
| Серин | 11,60 | 18,34 | 17,92 | — | 19,00 |
| Трионин | 13,66 | 21,84 | 19,67 | 16,15 | 21,00 |
| Глутаминовая кислота | 31,84 | 46,03 | 50,10 | 33,89 | 48,00 |
| Пролин | 9,78 | 13,34 | 19,06 | 5,80 | 42,00 |
| Глицин | 17,02 | 27,15 | 25,35 | 8,45 | 28,00 |
| Аланин | 20,13 | 35,09 | 32,03 | 24,29 | 42,00 |
| Валин | 17,58 | 29,55 | 28,15 | 18,06 | 32,00 |
| Метионин | 4,82 | 3,73 | 2,12 | 2,79 | 5,00 |
| Изолейцин | 11,30 | 19,34 | 10,14 | 7,99 | 10,00 |
| Лейцин | 21,68 | 35,93 | 39,07 | 26,02 | 32,00 |
| Тирозин | 8,25 | 13,23 | 12,02 | 5,32 | 13,00 |
| Фенилаланин | 12,06 | 20,84 | 20,07 | 9,40 | 22,00 |
| Цистин | 7,53 | 5,73 | 5,83 | 3,02 | 5,00 |
| Триптофан | 5,11 | 9,91 | 6,09 | 3,13 | 5,00 |

ците отдельных элементов наблюдаются значительные изменения в динамике аминокислотного комплекса хлореллы (табл. 1).

По содержанию белка хлорелла и сценедесмус превосходят пшеницу и некоторые другие растения. Они содержат белки, углеводы и другие вещества. В состав белка водорослей входят важные серусодержащие аминокислоты и фактически полный набор аминокислот (лизин, треонин, валин, фенилаланин, лейцин, изолейцин, метионин, триптофан). По содержанию белка хлорелла превосходит пивные дрожжи, соевую муку, обезжиренное сухое молоко. Хлорелла богата каротином. Его количество в 3 раза больше, чем в травяной муке (Geoghegan, 1954), в 500 раз больше, чем в молоке (Накамура, 1963). Витамин С в хлорелле столько же, сколько в лимоне (Geoghegan, 1954), в 100 раз больше, чем в молоке (Накамура, 1963).

Е. С. Милько (1963) установил, что при культивировании *Dicapaliella salina* повышение температуры с 27 до 34° и освещения с

Таблица 13

Содержание аминокислот в хлорелле и некоторых кормах (г/кг)

| Корм | Лизин | Метионин | Триптофан | Аргинин | Гистидин | Лейцин + изолейцин | Фенилаланин | Треонин | Валин |
|--|-------|----------|-----------|---------|----------|--------------------|-------------|---------|-------|
| Хлорелла (<i>Chlorella vulgaris</i>) | 51,5 | 9,7 | 12,4 | 61,0 | 14,6 | 70,8 | 29,4 | 26,9 | 39,1 |
| Мука травяная люцерновая | 10,1 | 2,0 | 3,1 | 8,3 | 4,7 | 18,8 | 6,2 | 8,2 | 8,2 |
| Мука травяная виковая | 6,2 | 2,6 | 2,6 | 9,9 | 4,4 | 19,4 | 8,4 | 7,8 | 11,3 |
| Мука сенная гороховая | 7,1 | 3,6 | 4,3 | 10,4 | 5,4 | 2,4 | 9,2 | 6,8 | 9,6 |
| Зерно вики | 14,6 | 2,7 | 1,8 | 22,9 | 8,8 | 27,4 | 7,2 | 9,4 | 8,1 |
| Зерно гороха | 13,4 | 2,6 | 1,1 | 14,2 | 7,1 | 20,5 | 9,5 | 8,4 | 8,6 |
| Дрожжи гидролизные кормовые | 32,6 | 6,3 | 4,1 | 23,6 | 8,5 | 41,0 | 19,3 | 21,9 | 22,9 |
| Жмых подсолнечниковый | 24,3 | 7,6 | — | 18,3 | — | 42,4 | 9,2 | 19,4 | 12,0 |
| Шрот льняной | 12,9 | 5,4 | 5,7 | 29,7 | 7,2 | 39,8 | 15,7 | 12,9 | 19,7 |
| Молоко | 33,5 | 8,8 | 2,7 | 15,9 | 8,4 | 43,0 | 9,8 | 15,5 | 11,5 |
| Рыбная мука | 49,4 | 13,5 | — | 42,4 | 12,3 | 63,6 | 25,4 | 23,4 | 38,2 |
| Мясо-костная мука | 21,3 | 5,5 | — | 2,5 | 8,1 | 39,2 | 11,9 | 11,5 | 17,5 |
| Мясная мука | 31,0 | 5,2 | 5,8 | 33,1 | 8,4 | 38,8 | 14,2 | 25,2 | 25,2 |
| Яйца куриные | 8,2 | 4,3 | 2,1 | 8,2 | 3,0 | 19,8 | 7,1 | 6,2 | 9,5 |

2200 до 12000 лк позволяет увеличить содержание каротина более чем в 10 раз.

Таблица 14

Химический состав воздушно-сухой биомассы некоторых штаммов протококковых водорослей

| Штамм | Органическое | Протеин, % | Жир, % | Клетчатка, % | БЭВ, % | Зола, % | Каротин, мг/кг | Калорийность |
|-----------------------------------|--------------|------------|--------|--------------|--------|---------|----------------|--------------|
| <i>Chlorella</i> sp (P-1) h. str. | 91,39 | 42,35 | 12,85 | 5,82 | 30,36 | 8,61 | 1341 | 4,154 |
| Ch. Sp.-Co-10 | 90,99 | 50,79 | 8,74 | 3,63 | 27,82 | 9,01 | 1126 | 4,075 |
| Ch. vulgaris-157 | 90,70 | 36,84 | 8,86 | 3,47 | 29,53 | 9,30 | 646 | 3,398 |
| Ch. л-5 | 90,25 | 33,88 | 16,78 | 8,51 | 31,08 | 9,75 | 660 | 4,230 |

По данным Morimura (1954), в биомассе протококковых водорослей содержится 3000 мкг/г каротина, по Стотику (1960) — 545. Содержание пиридоксина, по данным указанных авторов,

составляет соответственно 9 и 26 мкг/г. Причиной этих различий в содержании витаминов, по-видимому, является то, что исследования проведены с разными штаммами, выращенными при различных условиях.

Различия в содержании витаминов наблюдались и в наших определениях. Содержание каротина, токоферола, тиамина, рибофлавина, пиридоксина, никотиновой кислоты и холина определяли в различных штаммах и видах водорослей, выращенных на минеральной, органо-минеральной и органической средах.

По нашим данным, содержание каротина в зависимости от вида и штамма водорослей колеблется от 668 до 1341 мкг/г (табл. 16). Высоким содержанием каротина (1126—1340 мкг/г) характеризуются штаммы *Chlorella* Sp. (P-1) h. str, *Ch. pyrenoidosa*-YA-1-1 и *Ch.-Co*-10.

При культивировании *Ch. vulgaris*-157 непрерывно-проточным способом в июле — августе (ежедневно брали 1/5 урожая) содержание каротина в первые 15 дней колебалось от 580 до 767 мкг/г, затем оно постепенно снижалось и к концу опыта (на 29-й день) составляло 200 мкг/г. При батарейно-накопительном способе культивирования содержание каротина в биомассе водорослей стабильнее, чем при непрерывно-проточном, так как обновление культуры здесь идет полнее. При этом содержание каротина составляло 583—667 мкг/г.

Содержание каротина в толченой (мука из хлореллы) и нетолченой хлорелле определяли в разные периоды хранения. Большие потери (53,3%) каротина в толченой хлорелле происходят в 1-й месяц хранения, во 2-й месяц его количество снижается до 68,7%, в 3-й — до 79,8%. Таким образом, в нетолченой хлорелле каротин сохраняется дольше, чем в толченой.

По содержанию каротина водоросли превосходят все растительные корма. В водорослях много токоферола, рибофлавина и никотиновой кислоты. Тиамин и пиридоксин водоросли содержат столько же, сколько кукуруза, ячмень, джугара и овес (табл. 17).

Биомасса водорослей, выращенная на минеральной и органической средах, по содержанию витаминов мало отличается от биомассы, выращенной на минеральной среде 04 (Музафаров и др., 1974). При применении импульсного концентрированного солнечного света в массовой культуре хлореллы и сценедесмуса содержание каротина в них увеличивается почти в 2—2,5 раза по сравнению с контролем.

Как известно, витамины B_{12} и D в зеленых растениях не синтезируются. Эти витамины в биомассе хлореллы и сценедесмуса обнаружены в значительном количестве. Так, в 100 г сухой хлореллы содержится 7—9 мкг витамина B_{12} , 100 мг витамина D.

В биомассе хлореллы и сценедесмуса найдены также витамины K, C и другие, имеющие важное физиологическое значение для организма человека и животных. По некоторым данным, в

хлорелле и сценедесмусе содержится более 14 витаминов (Нака-тига, 1963). В сценедесмусе, хлорелле и спиролине больше белка и каротина, чем в других основных кормовых и пищевых растениях.

| Культура | Сухая биомасса, т/га | Белок, т/га | Каротин, кг/т |
|---|----------------------|-------------|---------------|
| Пшеница | 3—6 | 0,4—0,8 | 0,03—0,06 |
| Кукуруза | 7—8 | 0,8—2,0 | 0,50—1,26 |
| Сахарная свекла | 15—30 | 1,0—3,0 | — |
| Люцерна | 15—20 | 2,8—3,6 | 1,50—2,00 |
| Соевые бобы | 6—7 | 1,8—2,5 | 0,24—0,42 |
| Сценедесмус (в странах с жарким климатом) | 70 | 35—40 | 105 |
| Спирулина максима (Франция) | 40—45 | 25—29 | 80—90 |
| Хлорелла (Узбекистан) | 30—50 | 12—25 | 54—90 |

В клетках хлореллы, сценедесмуса и других микроводорослей содержатся также липидные соединения. Ю. И. Маслов (1966)

Динамика аминокислотного комплекса хлореллы при дефиците

| Аминокислота | Отсутствующий | | | | | | | |
|-----------------------|---------------|------|------|-------------------------|------|------|------|-------------------------|
| | азот | | | | сера | | | |
| | 0 ч | 12 ч | 24 ч | % торможения биосинтеза | 0 ч | 16 ч | 32 ч | % торможения биосинтеза |
| Глутамин | 0,6 | 0,4 | Сл. | 100 | 1,7 | 0,3 | Сл. | 100 |
| Глицин | 0,3 | 0,2 | 0,1 | 80 | 0,2 | 0,3 | 0,2 | 25 |
| Аланин | 4,4 | 3,2 | 1,8 | 59 | 5,9 | 3,9 | 3,1 | 47 |
| Глутамин, треонин | 6,5 | 6,1 | 2,7 | 58 | 7,0 | 3,6 | 3,8 | 61 |
| Валин | 2,8 | 1,8 | 1,3 | 55 | 3,1 | 2,2 | 1,5 | 52 |
| Цистин | 0,9 | 0,7 | 0,4 | 55 | 1,0 | 0,6 | 0,3 | 73 |
| Аргинин | 6,7 | 4,4 | 3,1 | 51 | 6,6 | 4,8 | 4,5 | 31 |
| Лейцин + изолейцин | 5,8 | 4,1 | 2,7 | 53 | 6,4 | 4,6 | 2,8 | 56 |
| Аспарагиновая кислота | 0,9 | 0,7 | 0,4 | 53 | 1,0 | 0,7 | 0,7 | 29 |
| Метионин | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 50 | 0,3 | 0,1 | 0,1 | 67 |
| Серин | 1,2 | 1,3 | 0,6 | 50 | 1,5 | 1,4 | 1,0 | 35 |
| Лизин гистидин | 7,8 | 7,2 | 4,1 | 48 | 9,0 | 6,9 | 5,4 | 41 |
| Тирозин | 0,7 | 0,5 | 0,4 | 40 | 0,8 | 0,6 | 0,8 | — |
| Фенилаланин | 0,5 | 0,6 | 0,3 | 25 | 0,5 | 0,3 | 0,3 | 25 |
| Сумма аминокислот | 39,3 | 31,3 | 18,6 | 53 | 41,8 | 30,3 | 23,7 | 47 |
| Азот аминокислот | 8,5 | 6,4 | 3,7 | 57 | 9,1 | 6,0 | 4,9 | 46 |

разделяет липиды зеленых водорослей на следующие группы: I) группа нейтральных малополярных липидов, включающая триглицериды, каротин, стеролы; II) зеленые и желтые пигменты; III) нейтральные полярные липиды; IV) ионообразующие полярные липиды (эти липиды, в свою очередь, можно делить на фосфолипиды).

пиды и сульфо-фосфолипиды; сульфо-фосфолипиды строго приурочены к фотосинтетическим структурам).

Ю. И. Маслов показал увеличение триглицеридов в биомассе хлореллы при культивировании ее в условиях азотного или сероного голодания. Установлено также снижение содержания галактолипидов и фосфолипидов при недостатке фосфора, сульфолипидов — при недостатке серы, галактолипидов — при недостатке железа.

По данным М. Я. Сальниковой (1977), содержание жира в хлорелле колеблется от 8 до 18%. В составе жиров хлореллы, помимо жирных кислот, характерных для высших растений (стеариновая, олеиновая, линолевая), найдены и очень редкие в природе жирные кислоты (Moysel, 1956). Жир протококковых водорослей ценен высоким содержанием незаменимых жирных кислот.

При анализе липидов при помощи хроматографии на колонке определили, что из эфирной вытяжки в спирт переходит больше

Таблица 15

азота, серы, фосфора, магния и калия (% сухой массы)

| элемент | | | | | | | | | | | |
|---------|------|------|-------------------------|--------|------|------|-------------------------|-------|------|------|-------------------------|
| фосфор | | | | магний | | | | калий | | | |
| 0 ч | 12 ч | 24 ч | % торможения биосинтеза | 0 ч | 24 ч | 48 ч | % торможения биосинтеза | 0 ч | 24 ч | 48 ч | % торможения биосинтеза |
| 4,4 | Сл. | Сл. | 100 | 4,6 | 1,8 | 0,7 | 84 | 1,9 | Сл. | Сл. | 100 |
| 0,2 | 0,8 | Сл. | 100 | 0,5 | 1,2 | 1,8 | 350 | 0,2 | 0,7 | 0,5 | 25 |
| 5,7 | 4,7 | 3,4 | 41 | 5,5 | 4,3 | 4,0 | 27 | 5,9 | 4,7 | 4,1 | 31 |
| 7,7 | 5,7 | 2,8 | 64 | 7,4 | 6,2 | 5,0 | 32 | 6,7 | 6,7 | 5,2 | 24 |
| 3,6 | 2,5 | 1,7 | 55 | 3,0 | 2,2 | 1,8 | 42 | 2,7 | 2,6 | 2,2 | 19 |
| 1,5 | 1,3 | 1,2 | 22 | 1,6 | 1,0 | 1,3 | 17 | 1,5 | 1,3 | 1,2 | 33 |
| 7,2 | 6,2 | 6,0 | 17 | 7,7 | 8,4 | 5,9 | 23 | 8,8 | 6,6 | 6,9 | 22 |
| 5,4 | 3,8 | 2,6 | 52 | 6,3 | 4,5 | 4,2 | 33 | 6,8 | 3,8 | 3,7 | 47 |
| 0,7 | 0,7 | 0,7 | — | 0,9 | 0,8 | 0,6 | 37 | 0,7 | 0,8 | 0,5 | 64 |
| 0,3 | 0,3 | 0,1 | 67 | 0,7 | 0,3 | 0,3 | 72 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 11 |
| 1,5 | 1,3 | 0,9 | 44 | — | — | — | — | 2,0 | 1,6 | 1,3 | 37 |
| 9,9 | 7,8 | 6,4 | 36 | 9,6 | 8,4 | 7,5 | 22 | 9,2 | 8,4 | 7,3 | 25 |
| 1,2 | 1,1 | 0,4 | 67 | 1,3 | 0,5 | 1,0 | 20 | 1,4 | 0,8 | 0,7 | 46 |
| 0,7 | 0,4 | 0,1 | 89 | 0,7 | 0,2 | 0,2 | 67 | 0,7 | 0,8 | 0,6 | 17 |
| 50,13 | 6,22 | 6,5 | 47 | 49,7 | 39,8 | 34,1 | 31 | 49,3 | 39,2 | 34,5 | 30 |
| 10,2 | 7,5 | 5,5 | 43 | 10,1 | 8,4 | 6,9 | 32 | 10,0 | 7,4 | 7,1 | 29 |

50% веществ, оказавшихся триглицеридами. Остаток состоял из пигментов, восков, фосфотидов, углеводов, стеролов и стеридов (Барашков, 1963).

В жире хлореллы 53,9% ненасыщенных кислот с 18 атомами углерода, 25,5% с 16 атомами, 16,6% пальмитиновой и 4% стеа-

риновой. В хлорелле и сценедесмусе найдено около 0,23% хондрилластерина — вещества, необходимого для получения гормона коры надпочечников — кортизона.

По мнению многих исследователей (Milner, 1948; Deuticke et al., 1949; Сальникова, 1977; и др.), хлорелла, сценедесмус и

Таблица 16

Содержание витаминов в водорослях, выращенных на среде 04 (мкг/г сухого вещества)

| Штамм | Каротин | Е | В ₁ | В ₂ | РР | В ₆ |
|-----------------------------|---------|-----|----------------|----------------|-----|----------------|
| Ch. sp. (p-1) h. str | 1341 | 180 | 4,2 | 7,0 | 140 | 5,3 |
| Ch.-Co-10 | 1126 | 285 | 4,8 | 12,1 | 130 | 7,4 |
| Ch. pyrenoidosa УА-1-1 | 1130 | 252 | 5,0 | 14,3 | 158 | 8,8 |
| Ch. vulgaris-157 | 646 | 140 | 4,6 | 11,2 | 142 | 4,8 |
| Ch. sp. А-5 | 660 | 152 | 2,6 | 8,2 | 122 | 6,3 |
| Scenedesmus obliquus-УА-2-6 | 663 | 180 | 4,2 | 8,5 | 110 | 5,3 |

другие протококковые водоросли характеризуются лабильным типом обмена веществ. Н. А. Spoehr, Н. W. Milner (1949), изменяя состав питательной среды, добивались то повышения, то

Таблица 17

Содержание витаминов в водорослях, некоторых кормовых и зерновых растениях (мкг/г)

| Корм, водоросли | Каротин | Е | В ₁ | В ₂ | РР | В ₆ |
|-----------------------------------|---------|------|----------------|----------------|------|----------------|
| Chlorella sp. (P-1) h. str. | 1341 | 180 | 4,2 | 7,0 | 140 | 5,3 |
| Ch. sp-Co-10 | 1126 | 285 | 4,8 | 12,1 | 130 | 7,4 |
| Ch. pyrenoidosa УА-1-1 | 1130 | 252 | 5,0 | 14,3 | 153 | 8,8 |
| Ch. vulgaris-157 | 646 | 140 | 4,6 | 11,2 | 112 | 4,8 |
| Ch. sp.-i-5 | 660 | 152 | 2,6 | 8,2 | 122 | 6,3 |
| Scenedesmus obliquus-УА-2-6 | 668 | 180 | 4,5 | 8,5 | 110 | 5,3 |
| Зеленая люцерна 1-го укоса высуш. | 180 | 125 | 2,4 | 5,5 | 25,4 | 4,6 |
| Люцерна 2—3-го укосов | 35 | 28 | 1,8 | 6,4 | 25,1 | 4,0 |
| Силос кукурузы | 22 | 16 | 0,6 | 2,1 | 7 | 3,3 |
| Мука из камыша | 100 | 125 | 2,6 | 2,7 | 27,1 | 4,0 |
| Ячмень | 0,4 | 20 | 3,8 | 1,8 | 37 | 4,4 |
| Джугара | 3,2 | 31,9 | 4,0 | 2,0 | 40,5 | 3,7 |
| Овес | 0,3 | | 9,6 | 2,2 | 12,4 | 5,0 |

снижения содержания некоторых компонентов клеток хлореллы (Ch. pyrenoidosa). При снижении количества азота в питательной среде (Aach, 1952; Namoto et al., 1955) получена биомасса хлореллы с высоким содержанием (85%) липидов. Установлена возможность повышения содержания углеводов при изменении состава питательной среды в культуре хлореллы (Клячко-Гурвич, 1964).

Показана возможность повышения содержания запасного масла в клетках хлореллы с 3—4% до 40% в пересчете на сухую массу (Пиневиц и др., 1965).

Снижение начальной дозы азота в среде приводит к уменьшению сухой биомассы и содержания в ней белка хлорофиллов и полярных липидов, к увеличению количества нейтральных липидов и углеводов.

По мнению некоторых авторов, выделяемые в среду вещества могут быть стимуляторами или ингибиторами роста и развития организмов. Выяснение этого вопроса особенно важно тогда, когда культуру выращивают в условиях многократного возврата культуральной жидкости в среду.

Таутс и др. (1976) обнаружили в культуральной среде *Ch. sp. k.* индольные, фенольные соединения. В индольной группе соединений

Таблица 18

Состав и питательная ценность водорослей биомассы и некоторых пищевых продуктов

| Продукт, растение | Химический состав, % к сухому веществу | | | Калорийность 100 г продукта и водорослевой биомассы |
|------------------------|--|----------|------|---|
| | белки | углеводы | жиры | |
| Пшеница | 13,8 | 66,6 | 1,8 | 343,4 |
| Мука гречневая | 8,5 | 73,8 | 1,8 | 354,2 |
| Грибы белые | 36,7 | 34,5 | 2,7 | 317,0 |
| Хлорелла и сценедесмус | 45,0 | 35,0 | 12,0 | 439,6 |

обнаружено вещество, по стимулирующему действию сходное с индолуксусной кислотой. Однако эти фитогормоны встречаются в незначительных количествах.

В биомассе протококковых микроводорослей обнаружены жирные кислоты, обладающие антибиотической активностью (Ахунов и др., 1978). Широким спектром антибиотического действия характеризуется выделенная из фракций жирных кислот липидов *Scenedesmus obliquus*-УА-2-6-4, 7, 10, 13 гексадекатетраеновая кислота. Она особенно активна по отношению к дрожжам и грамположительным бактериям.

Хлорелла при выращивании на среде с меченым бикарбонатом выделяет в среду 3—10% общего фиксированного углерода. Выделяемые вещества частично состояли из гликолевой кислоты (Tolbert, Lill, 1956, 1957).

Среди углеводов хлореллы и сценедесмуса встречаются целлюлозы, крахмал, ксилан, глюкофруктозан и аморфные вещества типа гемицеллюлоз и пектиновых веществ. Среднее содержание углеводов в расчете на органическое вещество составляет 30—35%. В составе отдельных штаммов хлореллы содержание углеводов достигает 37—40%. Большинство их — полисахариды и водорастворимые сахара.

Содержание хлорофиллов в хлорелле и сценедесмусе достигает 5% сухой массы. Хлорофилл используется в качестве дезодоратора. Зола около 10% (Aach, 1955; Champigny, 1957). Протококковые водоросли энергично аккумулируют из водного раствора железо, цинк, цирконий, кобальт, рубидий и другие микроэлементы.

При содержании 12% липидов калорийность 100 г органического вещества водорослей составляет 472 калорий. По калорийности протококковые превосходят многие наземные растения (табл. 18).

По данным В. П. Костиной (1966), штаммы хлореллы, выращиваемые на среде 04, имеют белково-жировое направление. Автор указывает значительное изменение биохимического состава хлореллы при добавлении в среду отдельных микроэлементов (Zn, Mn, V и др.). Кроме того, при этом стимулируется рост хлореллы, повышается ее урожай, улучшаются кормовые качества биомассы.

МЕТОДЫ ОТДЕЛЕНИЯ БИОМАССЫ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ ОТ КУЛЬТУРАЛЬНОЙ ЖИДКОСТИ И СПОСОБЫ ЕЕ ХРАНЕНИЯ

Хлореллу, сценедесмус и другие микроводоросли в настоящее время в основном используют в виде суспензии с различной плотностью клеток. Однако при промышленном способе культивирования микроводорослей возникает необходимость отделения биомассы водорослей от культуральной жидкости, так как они используются в сухом виде или в виде пасты. Паста — сухая или переработанная биомасса — удобна для транспортировки и для заготовки впрок. Комплексная переработка биомассы необходима для получения препаратов из водорослей в промышленном масштабе.

Существуют различные методы отделения биомассы водорослей от культуральной жидкости (Музафаров, Таубаев, 1974). Наиболее распространенный — отделение при помощи сепараторов и центрифуг. Однако метод центрифугирования дорог и мало рентабелен.

Используется также метод фильтрации вакуумным контактным и камерным фильтровальным прессом. Во избежание закупоривания на фильтр толщиной 2—3 см наносят слой картофельного крахмала. Однако, по мнению некоторых исследователей (Дилов, 1980), этот метод нельзя принять для *Chlorella* и *Scenedesmus*.

З. Берг (1979) усовершенствовал метод фильтрации биомассы водорослей, применяя предварительно электрофлокуляцию аланом. Получаемая при этом кашеобразная масса содержит 7—8% сухого вещества. Затем эта масса подкисляется до pH 5, нагревается до температуры 90—100°C, и в результате получается тестообразная водорослевая масса с влажностью 76—79%.

При химических способах отделения биомассы водорослей от

культуральной среды используются химические реактивы, вызывающие седиментацию водорослевой биомассы в культуре. Эти способы широко изучены в Китае, Японии, США.

В качестве активных осадителей используют кислоты (HCl и др.), щелочи (KOH, NaOH), известь и минеральные соли (NaCl, $TiCl_4$ и др.).

По мнению Н. Nakamiga (1959), наиболее эффективным и экономически рентабельным коагулянтом является тетрахлорид титана в концентрации 0,001%, а также серноокислый марганец,

Таблица 19

Осаждаемость клеток водорослей и изменение их биохимического состава при различных способах отделения биомассы от культуральной жидкости

| Способ осаждения | Кол-во клеток суспензии до осаж. н-я, млн/мл | Время осаждения, ч | Кол-во клеток в культуральной жидкости после осаж. ния, млн/мл | Изменение биохимического состава биомассы после осаждения | | |
|----------------------|--|--------------------|--|---|-------------------|-----------------|
| | | | | сырой протеин, % | каротиноиды, мг/г | хлорофилл, мг/г |
| Рясковый покров | 18,1 | 12 | 2,5—3,0 | 51,9 | 14,2 | 26,0 |
| Темнота | 18,1 | — | 3,0 | 53,8 | 9,3 | 29,3 |
| MnO_4 (10% 4 мл/л) | 18,1 | — | 0 | 14,5 | 1,0 | 12,9 |
| Известь (1% 70 мл/л) | 18,1 | — | 0 | 17,9 | 4,0 | 20,0 |
| Сепарирование | 18,1 | — | 3,0 | 49,9 | 10,3 | 26,6 |

10% раствор которого используют для осаждения по 4 мл на 1 л суспензии. Эффективно действует на клетки водорослей гашеная известь, применяемая из расчета 0,5—1 г на 1 л суспензии. Названные осадители безвредны для человека и животных (Nakamiga, 1959; и др.).

Для получения пастообразной биомассы микроводорослей мы использовали суперцентрифугу СГО-100, молочные электрические сепараторы, из химических реактивов — гашеную известь.

Гашеная известь (1%) через 4—6 ч после добавления в суспензию в соотношении 50—70 мл/л вызывает почти полное осаждение клеток микроводорослей на дно бассейна. Кроме того, «известковое молоко» может являться дополнительным источником кальция для птиц при добавке к их рациону биомассы водорослей, осажденной с его помощью.

Установлено, что при применении гашеной извести в нерастворенном виде седиментации водорослей не происходит. По мнению Н. П. Арутюняна (1966), кальций действует на оболочку клеток и тем самым изменяет их проницаемость. Ион OH при действии на оболочку вызывает гидролиз коллоидных веществ. Все это способствует образованию хлопьев и ускорению процесса седиментации в растворе.

Отделенную от клеток культуральную среду сливали сифоном, после чего осадок фильтровали и подвергали мягкой сушке.

Однако отделение биомассы водорослей от культуральной жидкости при помощи описанных выше методов (центрифугирование, сепарирование, химические способы) сложно, энергоемко, а при использовании некоторых химических реактивов резко снижается качество продукции.

В условиях промышленного культивирования водорослей нередко практически невозможно пропустить большое количество жидкой суспензии через сепаратор или центрифугу. Поэтому необходимо изыскание простых и дешевых способов отделения биомассы от культуральной жидкости.

При сравнительном изучении нескольких методов отделения биомассы водорослей от культуральной жидкости определено, что наиболее эффективно осаждение биомассы водорослей в темноте и под рясковым покровом. В течение 12 ч удалось осадить клетки водорослей до 85—90% по сравнению с плотностью суспензии до начала осаждения. Такое же количество клеток отделялось и при пропускании суспензии водорослей через сепаратор. Осажденные клетки оказались живыми и сохраняли свои биохимические свойства.

Применение химических реактивов позволяет полностью отделить клетки от культуральной жидкости, однако получаемая биомасса характеризуется низким качеством (табл. 19).

Химические реактивы вызывают флокуляцию клеток, и большая часть их содержимого переходит в культуральную жидкость. Клеточное содержимое, перешедшее в культуральную жидкость, трудно отделяется от культуральной среды.

Пастообразную биомассу водорослей сушили на открытом воздухе в тени под навесом, нанося ее тонким слоем на полиэтиленовую пленку или на лист стекла. Пасту нельзя накладывать толстым слоем, так как это задерживает ее сушку и сырая масса, богатая белковыми соединениями быстро портится под влиянием высокой летней температуры и под действием гнилостных микроорганизмов. Пасту водорослей держали в тени до воздушно-сухого состояния, затем хранили в бумажных или полиэтиленовых мешках в сухом месте.

Сушку можно ускорить, поместив биомассу в ток горячего воздуха. Для этой цели используют горячие струи продуктов сгорания природного газа в котельнях (130°C), направляя их при помощи вентиляционной установки из дымохода в сушильное помещение. Однако вопрос об использовании тепловой энергии газовых отходов котельных для сушки биомассы водорослей требует дополнительных исследований, разработки специального сушильного аппарата.

Сушить биомассу на солнце не следует, так как это снижает ее питательные свойства. При сушке на солнце содержание каротина снижается на 85—90%, аскорбиновой кислоты — на 90—

100%. В биомассе хлореллы, высушенной в тени, содержание белка составляло 45—46,4%, каротина — 750 мг/кг, аскорбиновой кислоты — 450,5 мг/кг.

Для хранения пасты необходимо консервировать ее при помощи сорбиновой 0,2% (2 г/кг) или лимонной 0,1% (1 г/кг) кислоты. При длительном хранении качество пасты снижается.

Биомасса водорослей в виде суспензии используется как биостимулятор в животноводстве, шелководстве и рыбоводстве. В рыбоводных прудах суспензия водорослей может служить кормом для карпа, белого амура. С экономической точки зрения применение водорослей в виде суспензии намного эффективнее, чем в виде пасты или сухой массы. Отделение биомассы от культуральной жидкости, консервирование, высушивание, хранение, транспортировка и другие процессы, связанные с практическим применением водорослей, требует значительных дополнительных расходов. При отделении биомассы от культуральной жидкости многие продукты метаболизма водорослей остаются в ней, и в результате снижается качество полученной продукции.

Отделение биомассы водорослей от культуральной жидкости лучше производить в несколько этапов. Сначала суспензию водорослей осаждают в темноте или под рясковым покровом в специальной емкости, затем снимают верхний слой самосливам, оставшуюся биомассу также самосливом пропускают через сепаратор или непосредственно подвергают комплексной переработке. Этот метод намного снижает себестоимость продукции.

По некоторым данным, в пасте хлореллы содержится больше питательных веществ, чем в ее сухой массе. При добавлении пасты хлореллы в рацион цыплят и молодняка кур получены лучшие результаты, чем при использовании сухой хлореллы (Музафаров и др., 1969). Это подтверждается и опытами М. Я. Сальниковой (1966), установившей, что содержание каротина в пасте хлореллы составляет 487,6 мг, в сухой массе — 200—225. Паста микроводорослей повышает активность пищеварительных соков, способствует развитию полезной микрофлоры преджелудков.

Водорослевая биомасса является хорошей питательной средой для многих микроорганизмов. Микроорганизмы разлагают питательные вещества водорослевой биомассы. Для сохранения питательности пастообразной биомассы водорослей необходимо создать такие условия, чтобы прекращалась жизнедеятельность микроорганизмов. Этого можно достигнуть разрушением или инактивированием ферментов хлореллы и сопутствующей микрофлоры. По мнению М. Я. Сальниковой (1966), лучшим химическим консервантом является вещество, инактивирующее окислительно-восстановительные ферменты.

Для инактивирования ферментов используются поваренная соль и соляная кислота. На 1 кг пасты водорослей добавляют 7,5 г соляной кислоты и 30 г поваренной соли. Законсервированная таким образом паста длительное время хранится в закрытой

посуде, сохраняя питательные свойства. Протеин консервированной пасты хлореллы хорошо переваривается животными.

В 1 кг сухого вещества законсервированной пасты хлореллы содержалось больше кормовых единиц (1,41) и перевариваемого протеина (429,8), чем в биомассе лиофильной (1,09 корм. ед. и 316,3 г переваримого протеина) и термической (соответственно 1,23 и 198,4) суши.

Сухая хлорелла трудно усваивается организмом животных. Для повышения переваримости сухой биомассы микроводорослей некоторые исследователи рекомендуют применять дезинтегратор клеточной оболочки (Заградник, 1980).

Сухую массу водорослей можно хранить довольно долго. Качество и питательная ценность сухой биомассы зависят от способа высушивания. В микробиологической промышленности широко применяется метод распылительной суши. Однако себестоимость полученной сухой массы при этом очень высока.

Х. В. Дилов (1980) рекомендует подвергать биомассу водорослей комплексной переработке с целью получения полупродуктов или конечных переработанных продуктов. При этом применяются различные способы экстрагирования (водный, спиртовой) и гидролизные методы.

Мы использовали метод комплексной переработки биомассы микроводорослей с целью получения из нее кормового и пищевого белка, поливитаминных концентратов, хлорофиллов и других физиологически активных соединений. Разработаны способы получения кормового и пищевого белка, каротино-хлорофилловой пасты, хлорофиллина натрия, стеринов и других хозяйственно ценных продуктов.

ЗНАЧЕНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОМАССЫ ПРОТОКОККОВЫХ ВОДОРОСЛЕЙ В НАРОДНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

В литературе подробно освещено значение хлореллы и других протококковых водорослей для народного хозяйства (Fink, 1956; Nakamura, 1961, 1963; Музафаров и др., 1974; Дилов, 1980; и др.). В 1924 г. немецкие ученые Гардер и Уитш отметили необходимость промышленного культивирования водорослей для получения кормовых и пищевых продуктов. Н. Tamiya (1959) и Н. Nakamura (1961) разработали рецепты включения биомассы хлореллы в различные кулинарные изделия.

По мнению Н. Nakamura (1961), хлореллу лучше использовать в сыром виде, так как сырая масса лучше переваривается. Автор рекомендует следующие нормы выкармливания (в сутки на голову): курам — 20 г пасты, свиньям 1,5 кг, коровам — 2—3 кг. В сушеном виде ее можно добавлять в количестве 5%.

По данным М. Hintz, Н. Heitman (1965), свиньи хорошо переваривают хлореллу.

Состав хлореллы

Компоненты, %

*Коэффициент
переваримости*

| | | |
|--|----|----|
| Сырой протеин | 44 | 56 |
| Сырой жир | 6 | 56 |
| Безазотистые экстрактивные вещества | 20 | 84 |
| Сырая клетчатка | 8 | 0 |

М. Я. Сальникова (1965, 1966) изучала переваримость хлореллы кроликами, овцами и свиньями. При добавлении к рациону кроликов по 6 г хлореллы лиофильной сушки в день перевари-

Таблица 20

Расчет общей питательности хлореллы лиофильной сушки

| Показатель | Про- теин | Жир | Клетчатка | БЭВ | Итого |
|---------------------------------------|--------------|-------|-----------|-------|--------|
| В 1 кг. хлореллы, г | 541 | 70 | 50 | 172 | — |
| Коэффициент переваримости | 52,3 | 50,7 | 33,3 | 70,2 | — |
| Переваримых веществ в 1 кг. г | 282,94 | 35,49 | 16,65 | 120,7 | — |
| Ожидаемое отложение жира, г | 66,49 | 21,22 | 4,13 | 29,9 | 111,74 |
| Коэффициент полноценности | — | — | — | — | 97 |
| Отложено фактически, г | — | — | — | — | 108,4 |
| В 1 кг хлореллы содержится, корм. ед. | — | — | — | — | 0,72 |

мость протеина составила 76—78%. При добавлении 8 г кролики отказались от корма.

Переваримость протеина хлореллы овцами составила 52%, жира — 51, клетчатки — 33, безазотных экстрактивных веществ — 70. За 34 дня опыта среднесуточный привес у овец составил 181 г при норме 100.

Расчет общей питательности хлореллы лиофильной сушки, произведенный на основании полученных результатов, приведен в табл. 20.

При добавлении к рациону свиней 167 г консервированной химическим способом хлореллы переваримость протеина составила 85,4%, при добавлении 300 г хлореллы термической сушки — 38,8%. Низкую переваримость протеина сушеной хлореллы автор объясняет снижением доступности белка в результате сушки. Автор рекомендует скармливать животным суспензию или пастообразную биомассу хлореллы.

У. Асраров (1972) также отмечает хорошую переваримость пастообразной биомассы хлореллы. Автор считает, что чем больше в рационе пасты хлореллы, тем выше показатели переваримости и обмена веществ.

| | Контроль | Опыт 1 | Опыт 2 |
|-----------------------|----------|--------|--------|
| Сухое вещество | 62,9 | 61,8 | 72,8 |
| Органическое вещество | 63,1 | 63,4 | 73,6 |
| Протеин | 54,6 | 51,9 | 65,5 |
| Жир | 88,0 | 85,7 | 93,2 |
| БЭВ | 62,5 | 60,5 | 72,4 |
| Клетчатка | 65,7 | 61,4 | 75,2 |

Проводились опыты по изучению влияния сухой и пастообразной хлореллы на продуктивность птиц. Суспензию применяли в плотности 0,25—50 г в 1 л.

При использовании сухой хлореллы яйценоскость увеличилась до 24%, пастообразной массы — до 30, загущенной суспензии — до 23, а обычной суспензии (плотность 0,25—1,5 г/л сухого вещества) — до 15.

По данным многих исследователей (Мошкова и др., 1967; Музафаров и др., 1974), оптимальная норма скормливания хлореллы курам на голову в сутки: сушеная 5—7 г, паста 7—10 г, загущенная суспензия 7—15 мл, обычная суспензия до 50 мл.

При применении суспензии хлореллы прибавка привеса достигает 11%, пасты — 13—16, обычной суспензии — 12—40.

По данным Н. Nakamiga (1963), добавление хлореллы в рацион кур в виде пасты (10%) увеличивало яйценоскость на 20—30%.

В наших опытах (Музафаров, Таубаев и др., 1967) была использована сушеная хлорелла (10% в составе рациона), которая способствовала увеличению яйценоскости кур на 20—30%. Паста (0,5—2 г в день на голову) увеличивала привес цыплят на 26—30,3%, содержание витаминов в печени — в 2—3 раза.

При добавлении по 3 г пасты хлореллы на голову вместо 20 г свежей люцерны и витаминов А, Д и Е привес подопытных птиц увеличился на 13%, яйценоскость — на 9,6% по сравнению с контролем. Подопытные куры съедали корм полностью, а у кур контрольной группы ежедневно 3—4% корма оставалось несъеденным.

В Узбекском НИИ животноводства САО ВАСХНИЛ (Селяметов, 1972) проводили опыты по изучению влияния пастообразной хлореллы на птиц. Пасту включали в рацион птиц в качестве заменителя витамина А и люцерновой муки. Опыты проводили на Бостанлыкской птицефабрике Ташкентской области (20.06—20.09). Подопытные птицы получали по 10 г пасты на каждые 100 г рациона, сбалансированного по существующим нормам. В результате опытов установлено, что хлорелла повышает привесы птиц на 3—10%.

Хлорелла положительно влияла и на биохимические показатели крови.

| Группа | Белок, мг % | Витамин А, мг % |
|---------------|-------------|-----------------|
| I (контроль) | 4,23 | 27 |
| II (контроль) | 4,38 | 24 |
| III (опыт) | 4,87 | 30 |
| IV (опыт) | 5,47 | 35 |
| V (опыт) | 4,46 | 27 |

По данным Р. А. Селяметова (1972), паста хлореллы — отличная белково-витаминная добавка в рацион индюшат. Контрольные и подопытные птицы получали одинаковый рацион, сбалансированный по всем основным питательным веществам. Кроме того, подопытные птицы вместо люцерновой муки получали пас-

ту хлореллы (2% сухого вещества). Коэффициенты использования питательных веществ комбикорма с хлореллой оказались выше, чем с люцерновой мукой. В крови подопытных индюшат содержание общего белка увеличилось до 5,11 мг% (в контроле 4,35 мг%). Привес подопытных птиц увеличился на 10,7% по сравнению с контрольными.

В опытах, где петушкам в суточный рацион добавляли 200 мл суспензии хлореллы, отмечено увеличение привеса на 23—25% по сравнению с контролем. Кроме того, в подопытной группе сэкономлено 15,9—18,5% кормов на единицу привеса.

М. Я. Сальникова (1966) отмечает, что в результате 4-месячного опыта с добавлением сырого концентрата хлореллы по 6 мл (плотность 50 г/л) от подопытных кур получено яиц на 22,7—23,9% больше, чем в контроле. Повысилось товарное качество яиц. Содержание каротина в желтке яиц подопытных кур составило 18,4—22,8 мкг/г, в контроле — 13,1—14,1.

При инкубировании яиц в подопытном варианте вывелось 82,9% птенцов, в контроле — 41%. По объяснению автора, низкий вывод из яиц контрольной группы кур связан в основном с нехваткой в рационе незаменимых аминокислот и каротина.

Опыты по изучению влияния хлореллы на птиц проводили также И. А. Абакумова и др. (1967). Авторы включили биомассу хлореллы в рацион растущих цыплят. В опыте 25—50% кормов белкового комплекса (по переваримому протеину), что составляет 14—27% от массы основного рациона, было заменено лиофильно высушенной биомассой хлореллы. К концу опыта (70 дней) масса цыплят первой группы была на 10—14% выше, а во второй и третьей, где 26—27% основного рациона было заменено сухой хлореллой, на 7—15% ниже, чем в контроле. При увеличении нормы хлореллы повышается содержание каротина в печени подопытных птиц.

С. R. Gran, N. Klein (1957) включали в рацион 10-дневных цыплят вместо 10—80% кукурузы или соевой муки смесь хлореллы и сценедесмуса. Содержание биомассы водорослей в первом опыте составляло 3,75—11,2%, во втором — 14,1%. В результате опытов установлена возможность замены кукурузы или соевой муки биомассой микроводорослей. Перед опытом водоросли осаждали алюминиевыми квасцами или центрифугированием.

Приводим данные по росту цыплят (% в день) при замене части зерна кукурузы смесью хлореллы и сценедесмуса, обработанных разными способами.

| Содержание водорослей в рационе, % от зерна кукурузы | Рацион без водорослей | Центрифугирование | Осаждение алюминиевыми квасцами | Осаждение квасцами и нейтрализация |
|--|-----------------------|-------------------|---------------------------------|------------------------------------|
| 0 | 7,1 | — | — | — |
| 10 | — | 6,9 | 6,6 | 7,0 |
| 20 | — | 6,9 | 5,9 | 6,2 |
| 30 | — | 6,7 | 5,3 | 4,9 |

Ниже показан рост цыплят при замене в рационе соевой муки (14,0% от рациона) водорослями.

| <i>Компонент рациона</i> | <i>Алюминий в рационе, %</i> | <i>Прирост цыплят в день, %</i> |
|--|----------------------------------|-------------------------------------|
| Соевая мука | Не опр. | 7,1 |
| Мука из центрифугированных водорослей | 0,014 | 6,4 |
| Водоросли, обработанные алюминиевыми квасцами | 0,49 | 7,3 |
| Водоросли, обработанные алюминиевыми квасцами и нейтрализованные | 0,62 | 5,2 |

Влияние сценедесмуса на рост цыплят изучали и в Чехословакии (Стотик, 1960). При замене соевой муки водорослями (10% от массы рациона) средняя масса 10-недельных цыплят была на 53 г больше, чем контрольных.

По данным Н. А. Мошковой и А. Ф. Беренштейна (1967), у кур-несушек, получавших в сутки по 300 мл суспензии хлореллы, яйценоскость повысилась на 14%, средняя масса яиц — на 14,5%. При добавлении к рациону кур 5 г пастообразной биомассы хлореллы в сутки яйценоскость увеличивалась на 21,5%, содержание каротина в желтке — на 5%.

Положительные результаты по применению протококковых водорослей получены и в производственных условиях. По данным М. Я. Сальниковой (1977), на межколхозной птицефабрике Краснопартизанского района Саратовской области суспензия хлореллы повысила яйценоскость кур на 12—15%. Привес цыплят при использовании хлореллы на Волгоградской областной сельскохозяйственной станции увеличился на 12,8%, в колхозе «Кавказ» Краснодарского Края — на 30—40%. В колхозе «Путь к коммунизму» Астраханской области суспензия хлореллы не только увеличила яйценоскость и привес птиц, но и сократила падеж на 7%. В колхозе «Червоный маяк» Харьковской области применение суспензии хлореллы в птицеводстве позволило сократить падеж на 20—23%.

По данным японских исследователей (Nakamura, 1963), скармливание пастообразной биомассы хлореллы поросётам в 2 раза увеличило их привес, а вскармливание свиноматкам по 1,5 кг пасты в день на голову увеличило их молочность и плодовитость, масса отъемышей была на 25% больше, чем в контроле.

Аналогичные данные получены и в опытах других авторов (Баккай, 1966; Селяметов и др., 1970; Ильинский, 1972; Сальникова, 1977; и др.).

Биомасса хлореллы по питательности приравнивается к кормам животного происхождения. Ею можно заменить до 12% протеина в рационе свиней. У подсвинков хлорелла повышает привес на 10—25%, у поросят-отъемышей — на 12—30%, у поросят-сосунков — в 2 раза. Расход кормов сокращается на 7%.

В Узбекистане добавление в рацион свиней по 2 л суспензии хлореллы на голову в сутки позволило получить привес на 33% выше, чем в контрольной группе (Милоградова и др., 1966).

Опыты по изучению влияния суспензии хлореллы на рост и обмен веществ у свиней проводил Р. А. Асанов (1968, 1970, 1971). Свиньи подопытной группы получали 1—2—3 л суспензии хлореллы с плотностью клеток 20 млн/мл. Через 80 дней свиньи контрольной группы дали 722 г среднесуточного привеса, второй, третьей и четвертой подопытных групп — соответственно 742, 762, 778 г. В других опытах свиньям подопытной группы давали 3 л суспензии хлореллы на голову в день. Через 81 день привес в подопытной группе оказался на 22,5% больше, чем в контроле.

Опыты, проведенные во ВНИИК, показали, что при добавлении суспензии хлореллы в рацион каракульских овец повышается степень переваримости хлопчатниковых кормов. У животных, получавших добавку суспензии хлореллы (0,5—2 л), привесы на 8,5—43,7% выше, чем в контроле.

Добавление суспензии хлореллы в рацион овец улучшает переваримость и других грубых кормов. При добавлении 0,5 л суспензии хлореллы к суточному рациону каракульских валухов, состоящему из 1,2 кг ячменной соломы и 0,3 кг хлопкового шрота, улучшилась переваримость питательных веществ рациона и на 10,1% повысилась его общая питательная ценность (Амарянц, 1969).

В Орджоникидзеvском, Самаркандском, Бухарском, Ургенчском и других откормочных хозяйствах Узбекистана скормливание овцам по 1 л суспензии хлореллы (плотность клеток 20—30 млн/мл) увеличило их привес на 15—20% (Нескубо, 1966). В Ленинском откормочном хозяйстве Андижанской области Узбекистана использовали хлореллу при откорме 70 тыс. голов крупного рогатого скота, 12 тыс. голов свиней и 70 тыс. овец. Получен дополнительный привес живой массы 500 т (Арзуманян, Эркебаев, 1972).

Опыты по изучению влияния суспензии хлореллы на овец при пастбищном содержании проводили А. М. Музафаров и Е. И. Милоградова (1965). Подопытными животными служили выбракованные (зубной брак) 7—8-летние овцематки с ягнятами текущего года рождения. Животные, получавшие суспензию хлореллы по 2 л в день в течение 40 дней, дали привес 0,4 кг, а контрольные потеряли по 2,1 кг. Ягнята, получавшие по 1 л суспензии, весили на 1,5—2 кг больше, чем контрольные.

По данным Р. А. Селяметова и др. (1974), использование суспензии хлореллы при кормлении овцематок и валушков позволило повысить живую массу маток на 22,2%, валушков — на 8,1, настриг осенней шерсти увеличился соответственно на 9,4 и 10,3%.

В Институте животноводства САО ВАСХНИЛ в рацион контрольных овец добавляли витамин А, подопытных — по 3 л сус-

пензии хлореллы с плотностью клеток 20—25 млн/мл. Опыты проводились в течение 54 дней на овцах каракульской породы. Рацион содержал 2 кг хлопковой шелухи и 600 г шрота. Увеличение привеса подопытных овец составило 15%. Общий выход мясных продуктов у подопытных овец оказался на 2,3% выше, чем в контроле.

Много данных по изучению влияния биомассы хлореллы на привес крупного рогатого скота. А. М. Музафаров и др. (1965) использовали суспензию хлореллы при откорме скота. В рацион контрольных животных включали хлопковые отходы, подопытных — дополнительно по 3—4 л суспензии хлореллы в день на голову (плотность 30—40 млн. клеток в 1 мл). За 42 дня опыта среднесуточный привес животных контрольной группы составил 760 г, подопытной — 950 г. В другом опыте в рацион бычков добавляли суспензию хлореллы по 3 л в день на голову. За 60 дней опыта среднесуточный привес контрольных бычков составил 623 г, подопытных — 871 г.

В 1967 г. на Ташкентской центральной откормочной базе проводились опыты по применению хлореллы в откорме сельскохозяйственных животных (Селяметов и др., 1970). Контрольные животные получали хлопковый шрот и шелуху, подопытные — дополнительно по 5, 8, 12 л суспензии водорослей. К рациону одной группы добавляли люцерновую муку по 200 г на голову, другой — соли, входящие в состав питательной среды, использованной для культивирования микроводорослей. Через 80 дней среднесуточный привес составил в контрольной группе 100%, в подопытных: по 5 л — 106,3%, по 8 л — 109,2, по 12 л — 122,8; в группе, получавшей люцерновую муку — 106,1, в группе, дополнительно получившей соли, — 96%.

Интересные данные получены при использовании пастообразной биомассы хлореллы в откорме скота (Асраров, 1971, 1972). Проводились 2 серии опытов. В первой к основному рациону подопытных животных добавляли по 100 г и 300 г пасты в зависимости от варианта опытов, в другом — по 150 г. Установлено значительное увеличение привеса подопытных животных.

| | Группа | | |
|--------------------------|-------------|-----------|-----------|
| | Контрольная | Опытная 1 | Опытная 2 |
| Опыт I | | | |
| Живая масса | | | |
| в начале опыта | 220,1 | 220,7 | 220,7 |
| в конце опыта | 273,1 | 263,1 | 265,8 |
| Привес, кг | 23,0 | 42,4 | 45,7 |
| Среднесуточный привес, г | 407 | 507 | 601 |
| Опыт II | | | |
| Живая масса | | | |
| в начале опыта | 215,2 | 227,3 | — |
| в конце опыта | 252,2 | 296,3 | — |
| Привес, кг | 37,3 | 69,0 | — |
| Среднесуточный привес, г | 525 | 960 | — |

Исследователи (Макотро, Шалорьян, Нескубо, 1972) откармливали скот в течение 210 дней хлопковыми кормами, добавляя суспензию хлореллы. В результате от каждого бычка получено по 160 кг привеса, т. е. 760 г среднесуточного привеса при плане 550 г.

На Ташкентской центральной скотобазе практикуется скармливание хлореллы в первую очередь слабым и больным животным. При добавлении в их рацион по 10—12 л суспензии ежедневно у них через 10—15 дней обычно исчезают симптомы заболеваний.

В 1 кг хлопкового шрота и жмыха содержится 0,79—1 корм. ед. и 200—319 г переваримого белка, в шелухе семян хлопчатника — соответственно 0,35 и 15.

В опытах Т. Т. Таубаева и П. М. Нескубо (1971) с бычками при применении суспензии хлореллы в течение 70 дней получено 21,8 кг дополнительного привеса с каждой головы. Прибыль с каждой головы составила 14 руб.

Хлорелла оказывает положительное влияние на удои коров. По данным Н. Г. Понировского и А. Нурназарова (1972), прибавка молока у коров от применения суспензии составила 17%. Одновременно отмечено повышение привеса подопытных животных на 29,3% по сравнению с контролем.

Увеличение привеса подопытных животных бычков при использовании хлореллы в количестве по 6 л на голову в день отмечено и в опытах Р. А. Саламетова и др. (1972). Опыт продолжался 72 дня. Рацион животных при этом состоял из 1 кг хлопкового шрота, 0,5 кг комбикорма, 7 кг хлопковой шелухи. Среднесуточный привес контрольных животных составил 527 г, подопытных — 710. По мнению авторов, увеличение привесов животных связано, с одной стороны, с биостимулирующим свойством хлорелловой добавки, с другой — с повышением биологической полноценности хлопкового рациона за счет этой добавки.

М. Б. Подкопов (1979) получил заменитель цельного молока на основе использования белка из хлопчатникового шрота, смеси говяжьего и костного жира рафинированного хлопкового масла и суспензии хлореллы. Телята, выращенные с заменой 50 и 75% регенерированного молока, не уступали по живой массе и внешнему виду аналогам из контрольной группы. Средняя живая масса бычков контрольной группы к концу опытного периода (3 мес.) составила 91,5 кг, у животных подопытных групп — соответственно 88,6 и 93,7 кг. Использование заменителя в рационе телят не вызывает отклонений в состоянии здоровья животных.

Выращивание телят с использованием заменителя молока оказалось экономически выгодным. Себестоимость 1 ц прироста живой массы у животных опытных групп была на 9,1 и 13,0% ниже, чем в контроле, кроме того, применение заменителя в рационе

телят (50 и 75%) позволяет высвободить соответственно 131 и 193 кг молока на 1 теленка.

Состав заменителя цельного молока следующий (в 1 л): белок хлопкового шрота—40 г, суспензия хлореллы (плотность клеток 20—30 млн/мл)—927 мл, костный жир (говяжий)—21 г, хлопковое масло—9 г, фитин—2 г, биовит—0,8—1 г. В 1 л заменителя цельного молока содержится: кормовых единиц—0,18 кг, переваримого протеина—34 г, кальция—0,6 г, фосфора—0,3 г, каротина—0,357 г.

Заменитель готовится в сольвилатах (емкость, используемая для приготовления регенерированного молока). В суспензию температурой 40°—45°С добавляют белок хлопчатниковой шроты, смесь животного и растительного жиров, антибиотик и тонизатор. Все это тщательно перемешивается в течение 5—10 мин при 1500 об./мин. Затем в соответствующих пропорциях в смеси с регенерированным молоком, приготовленным из расчета 1 часть порошка на 9 частей воды при температуре 37°—40°С, транспортируется по молокопроводу и выпаивается телятам.

По данным М. Я. Сальниковой (1977), в колхозе «Червоный маяк» Харьковской области суспензию хлореллы использовали в качестве белково-витаминной добавки в рацион телят в возрасте 10—11 мес. по 2—3 л в день на голову. Привес животных составил 40% по сравнению с контролем.

Интересные опыты проведены польскими исследователями. Б. Грыцык (1966) при изучении влияния сырого концентрата хлореллы (25 г сырого вещества в 1 л) на молочных коров установил возможность замещения до 50% концентрированных кормов загущенной суспензией хлореллы. У подопытных животных отмечено увеличение молокоотдачи на 11%. По мнению Б. Дорошевского (1966), водоросли (особенно хлорелла) являются полноценным заменителем белковых кормов в рационе животных и не оказывают отрицательного влияния на качество мяса.

А. Ф. Беренштейн и др. (1964) проводили опыты по применению хлореллы в рационе кроликов. Использовалась сушеная хлорелла и суспензия плотностью 0,3 г в 1 л. Сушеную хлореллу давали кроликам по 1 и 2 г в день на голову, суспензию—по 34 мл. За 30 дней опыта при использовании сушеной хлореллы дополнительный привес подопытных кроликов составил 26—35%, при использовании суспензии—11%. Наиболее высокий привес получен в варианте, где в рацион кроликов добавляли по 1 г сухой хлореллы, а при добавлении по 2 г отмечено снижение масс животных на 9%.

В опытах М. Я. Сальниковой (1977) кролики охотно потребляли суспензию, при этом замечено стимулирование роста и развития. Через 2 недели от начала применения суспензии матки были оплодотворены, а через 30 дней получен ядоровый приплод. Крольчата также охотно потребляли суспензию. Автор подчерки-

вает целесообразность применения хлореллы в виде суспензии для кроликов.

Подробно изучено влияние протококковых водорослей на продуктивность тутового шелкопряда. Опыты по применению водорослей в шелководстве проводились в Узбекистане при участии научных сотрудников Института микробиологии АН УзССР.

Продуктивность гусениц тутового шелкопряда зависит главным образом от питательной ценности листа шелковицы. Снижение содержания того или иного питательного элемента в листьях шелковицы снижает выход продукции. Следовательно, улучшение питательных свойств корма — один из важнейших вопросов современного шелководства. По некоторым данным, в настоящее время уровень агротехники насаждений шелковицы недостаточен. В связи с этим питательная ценность корма не высока (Дехканов, 1975). Качество листьев ухудшается и при недостатке влаги, особенно летом и осенью. В эти сезоны отмечается низкий выход коконов.

С целью улучшения питательных свойств листьев шелковицы проведены исследования по обогащению корма биологическими активными веществами как органической, так и неорганической природы. Однако эти методы не нашли широкого практического применения из-за дороговизны препаратов. Среди питательных веществ особенно ценны белки, так как шелковые нити состоят главным образом из белковых соединений. Высокое содержание белка в листьях шелковицы позволяет получать коконы крупных размеров, содержащие большое количество шелка.

Большой интерес представляет применение в качестве добавки биомассы протококковых микроводорослей, отличающейся высоким содержанием белков, витаминов и других физиологически активных веществ.

В течение нескольких лет мы проводили опыты по выкармке гусениц тутового шелкопряда листьями шелковицы, замоченными в суспензии микроводорослей с плотностью клеток 50—150 млн/мл. Для этого листья, помещенные на полиэтиленовую пленку, при помощи лейки поливали суспензией. Затем листья тщательно перемешивали и отстаивали 5—10 мин. Выкармку гусениц с намоченными в суспензии листьями мы начали со второго возраста. В первом возрасте гусеницы прилипают к листьям и не могут передвигаться. Во втором возрасте такого явления не наблюдалось.

Добавление водорослей в корм способствует повышению продуктивности коконов тутового шелкопряда. В вариантах опыта с применением суспензии водорослей гусеницы в пятом возрасте оказались на 22—28% тяжелее, чем в контроле, масса их была на 13—22% больше. С увеличением массы коконов их шелконосность повышается на 12—23,5%.

| Вариант | Средняя масса 1 кокона, г | Средняя масса шел- коёй обо- лочкн, мг | Шелководность коконов, % |
|--|---------------------------------|---|-----------------------------|
| Контроль (I) | 2.0 | 491 | 100 |
| Выкормка листьями, смочен- ными в суспензии плот- ностью клеток 50 млн/мл (II) | 2.2 | 563 | 112 |
| 100 млн/мл (III) | 2.35 | 545 | 123.5 |
| 150 млн/мл (IV) | 2.35 | 579 | 122.5 |

Для выяснения влияния протококковых водорослей на техно-
логические показатели коконовой оболочки часть коконов опытно-
го и контрольного вариантов разматывали в технологической ла-
боратории Среднеазиатского НИИ шелководства.

| Показатель | Вариант | | % к контролю |
|----------------------------------|---------|-------|--------------|
| | I | II | |
| Средняя масса 1 сухого кокона, г | 0.867 | 0.957 | 110.4 |
| Выход шелка-сырца, % | 40.3 | 42.1 | 104.7 |
| Метрический номер нити | 393.6 | 329.6 | 96.2 |
| Разматываемость, % | 80.98 | 84.0 | 104.0 |
| Производительная длина нити, м | 1032 | 1176 | 107.0 |

По расчетам шелководов, повышение выхода шелка на 1%
позволяет получить дополнительно шелк на сумму более
3 млн. руб. в масштабе Узбекистана. Отмечено также увеличе-
ние разматываемости оболочки коконов, что повышает производи-
тельность шелкомотальных автоматов и качество шелка.

Количество и масса яиц в кладке — важнейшие показатели,
имеющие первостепенное производственное значение для племен-
ных шелководческих станций, особенно гребенных заводов. В свя-
зи с этим было изучено влияние протококковых водорослей на
плодовитость шелкопряда. Бабочки, вышедшие из коконов подо-
пытного варианта, использовались для папильонажа. Как пока-
зали наблюдения, бабочки-самки опытных вариантов отложили
большее количество яиц, чем контрольных. Протококковые водо-
росли оказали благоприятное влияние не только на продуктив-
ность, но и на репродуктивные свойства тутового шелкопряда.

| Вариант | Количество яиц в кладке | % к контролю |
|----------|----------------------------|--------------|
| Опыт | 663 | 109.5 |
| Контроль | 610 | 100 |

В Узбекистане обычно практикуется весенняя выкормка гусе-
ниц тутового шелкопряда. Летом и осенью качество листьев шелко-
вицы намного ниже, чем весной. Кроме того, в условиях засушли-
вого климата Узбекистана затруднительно проведение повторной
выкормки.

Мы изучали влияние протококковых водорослей на продуктив-
ность тутового шелкопряда при летних и осенних выкормках.
Здесь также листья шелковицы смачивали суспензией хлореллы

и сценедесмуса при плотности клеток 80—100 млн/мл. Как и в предыдущих опытах, в опытном варианте получены лучшие результаты:

| Показатель | Опыт | Контроль | % к контролю |
|--|------|----------|--------------|
| | Лето | | |
| Средняя масса 1 кокона, г | 1,48 | 1,20 | 122,4 |
| Средняя масса шелковой оболочки 1 кокона, мг | 308 | 205 | 150 |
| Шелконосность, % | 21,3 | 17,3 | 123,0 |
| Осень | | | |
| Средняя масса 1 кокона, г | 1,81 | 1,60 | 113,1 |
| Средняя масса шелковой оболочки 1 кокона, мг | 416 | 303 | 137,1 |
| Шелконосность, % | 23,0 | 18,9 | 121,6 |

Продуктивность коконов подопытного варианта летней и осенней выкормок не ниже, чем продуктивность контроля весенней выкормки. Это показывает, что в Узбекистане с помощью хлореллы

Таблица 21

Влияние протокочковых водорослей на продуктивность гусениц тутового шелкопряда

| Вариант | Средняя масса кокона, г | | | Средняя масса шелковой оболочки, мг | | | Средний процент оболочки | | |
|--|-------------------------|--------------|------------------------|-------------------------------------|--------------|------------------------|--------------------------|--------------|------------------------|
| | абс. | % к контролю | достоверность различий | абс. | % к контролю | достоверность различий | абс. | % к контролю | достоверность различий |
| I, паста | 1,60 | 153,0 | 0,999 | 338 | 163,3 | 0,999 | 21,0 | 106,1 | |
| II, суспензия | 1,57 | 150,5 | 0,999 | 329 | 159,0 | 0,999 | 21,0 | 106,1 | |
| III, паста, консервированная сорбиновой кислотой | 1,50 | 144,0 | 0,999 | 308 | 147,5 | 0,999 | 20,5 | 103,5 | |
| IV, центрифугат | 1,43 | 137,2 | 0,999 | 233 | 141,4 | 0,999 | 20,6 | 104,0 | |
| V, среда 04 | 1,54 | 148,0 | 0,999 | 313 | 156,6 | 0,999 | 21,0 | 106,1 | |
| VI, лист, увлажненный водой | 1,47 | 141,0 | — | 303 | 146,3 | — | 20,5 | 103,5 | |
| VII, обычный лист без обработки | 1,04 | 100,0 | — | 207 | 100 | — | 19,8 | 100,0 | |

и сценедесмуса можно успешно проводить повторные летние и осенние выкормки гусениц тутового шелкопряда.

В наших опытах использовались в основном суспензия смешанной культуры хлореллы (*Chlorella pyrenoidosa*-УА-1-1) и сценедесмуса (*Scenedesmus obliquus*-УА-2-6). Однако в производственных условиях при использовании суспензии возникают затруднения, связанные с ее транспортировкой и хранением. Для тран-

спортировки и хранения более удобна пастообразная биомасса, полученная путем сепарирования товарной суспензии. В связи с этим, необходимо было проверить возможность применения пастообразной биомассы хлореллы и сценедесмуса при выкормке гусениц тутового шелкопряда. Опыты по выкормке гусениц прово-

Таблица 22

Влияние протококковых водорослей на урожайность коконов при осенних выкормках гусениц тутового шелкопряда

| Вариант | Кол-во гусениц, завязавших коконы в 1 коробке грены | Урожайность с 1 коробки грены | | | |
|--|---|-------------------------------|-----------------|-------------|-----------------|
| | | масса коконов | | масса шелка | |
| | | абс., кг | % к II варианту | абс., кг | % к II варианту |
| I, паста | 37300 | 59,0 | 103,5 | 12,5 | 104,5 |
| II, суспензия | 35300 | 57,0 | 100,0 | 11,95 | 100,0 |
| III, паста, обработанная сорбиновой кислотой | 36900 | 58,1 | 101,6 | 12,00 | 100,3 |
| IV, центрифугат | 36200 | 51,8 | 90,8 | 10,61 | 88,8 |
| V, среда 04 | 34100 | 52,5 | 93,2 | 10,65 | 89,2 |
| VI, лист, увлажненный водой | 28900 | 42,5 | 74,6 | 8,76 | 73,2 |
| VII, необработанный лист | 26200 | 27,3 | 47,6 | 5,43 | 45,5 |

дились с применением как свежей пасты, так и биомассы, консервированной при помощи сорбиновой кислоты. Свежую и консервированную пасту разводили в воде и получали суспензию с плотностью клеток 80—100 млн/мл. Одновременно с целью выяснения действующего начала в опытах использовали раствор питательной среды 04 и центрифугат, остающийся после отделения биомассы водорослей от культуральной жидкости при помощи сепараторов (табл. 21). Изучали также влияние водорослей на жизнеспособность гусениц. Установлено положительное влияние суспензии и пастообразной биомассы протококковых микроводорослей на жизнеспособность гусениц тутового шелкопряда. В I, II, IV вариантах опыта жизнеспособность червей оказалась на 38,2—40,8% выше, чем в контроле.

| Вариант | Жизнеспособность гусениц | | |
|--|--------------------------|--------------|------------------------|
| | абс. | % к контролю | достоверность различий |
| I, паста | 69,7 | 140,8 | 0,990 |
| II, суспензия | 68,5 | 138,2 | 0,958 |
| III, паста, обработанная сорбиновой кислотой | 65,0 | 131,2 | 0,973 |
| IV, центрифугат | 68,3 | 137,6 | 0,985 |
| V, среда 04 | 64,3 | 129,8 | 0,983 |
| VI, лист, увлажненный водой | 54,6 | 110,0 | — |
| VII, лист без обработки | 49,5 | 100,0 | — |

Статистическая обработка результатов опытов показала, что разница в массе коконов и шелковой оболочки в I, II, IV вариан-

тах не достоверна. Масса коконов и оболочки в опыте и в контроле различалась существенно ($P=0,999$). Превышение над контролем составило по массе коконов в I варианте 53,0, во II—50,5, в IV—50,5%, по массе шелковой оболочки соответственно 63,3; 59,0 и 57%.

Повышение привеса коконов и шелковой оболочки установлено и в опытах, проведенных осенью. Наиболее высокий урожай коконов и шелка при осенней выкормке получен в вариантах I и II, где для смачивания листьев шелковицы использовались свежая паста и суспензия. Наиболее низкая жизнеспособность червей наблюдалась в вариантах VI и VII, где листья смачивали водой или подавали в обычном виде (табл. 22).

Ниже приводим данные по влиянию биомассы водорослей на среднюю массу 1 гусеницы в начале четвертого и пятого возрастов.

| Вариант | Средняя масса 1 гусеницы, г | |
|---------|------------------------------|--------------------------|
| | В начале четвертого возраста | В начале пятого возраста |
| I | 0,220 | 0,784 |
| II | 0,218 | 0,764 |
| III | 0,236 | 0,766 |
| IV | 0,208 | 0,758 |
| V | 0,208 | 0,747 |
| VI | 0,209 | 0,488 |

Увеличение массы коконов и шелковой оболочки в подопытных вариантах — результат хорошего роста и развития гусеницы в период выкормки. При применении свежей пасты и суспензии масса гусениц значительно выше, чем в контроле.

Из данных опыта видно, что результаты, полученные при использовании пасты, такие же, как при использовании суспензии микроводорослей.

Совместно с работниками конструкторского бюро «Шелк», САНИИШ, Среднеазиатского отделения ВАСХНИЛ во всех областях Узбекистана в 1973—1975 г. мы проводили научно-производственные испытания применения протококковых водорослей при выкормке гусениц тутового шелкопряда. Урожайность коконов на 1 коробку грены при производственных выкормках тутового шелкопряда с применением суспензии смешанной культуры хлореллы и сценедесмуса оказалось на 8—15 кг больше, чем в контроле.

| Область, хозяйство | Кол-во коробок в опыте | Урожай коконов с 1 коробки грены, кг | | Разница между опытом и контролем, кг |
|------------------------|------------------------------|---|----------|--|
| | | опыт | контроль | |
| 1973 г. | | | | |
| Ферганская обл. | | | | |
| совхоз „Риштан“ | 7,3 | 85,3 | 68,0 | 17,3 |
| колхоз им. Ахунбабаева | 9,5 | 74,6 | 66,1 | 8,5 |

Наманганская обл.

| | | | | |
|---------------------|------|------|------|------|
| колхоз им. Калинина | 9,31 | 88 | 68 | 20 |
| „Ленинград“ | 2,66 | 73 | 61,5 | 11,5 |
| им. Ленина | 2 | 90 | 67,5 | 22,5 |
| им. Жданова | 2,7 | 76,7 | 64,6 | 12,1 |

Андижанская обл.

| | | | | |
|-------------------------|----|------|------|------|
| колхоз им. Карла Маркса | 15 | 88,7 | 71,7 | 17 |
| „Коммунизм“ | 2 | 78,0 | 66,2 | 11,8 |

Хорезмская обл.

| | | | | |
|------------------------|---|------|----|-----|
| колхоз им. Ахунбабаева | 3 | 75 | 64 | 11 |
| им. Куйбышева | 2 | 83,6 | 74 | 9,6 |

Бухарская обл.

| | | | | |
|-------------------|---|----|----|----|
| колхоз „Маданият“ | 3 | 88 | 70 | 18 |
|-------------------|---|----|----|----|

Сырдарьинская обл.

| | | | | |
|------------------------|---|-------|----|------|
| колхоз им. Ахунбабаева | 2 | 105,0 | 84 | 21 |
| им. Ленина | 3 | 106,5 | 76 | 30,5 |

Сурхандарьинская обл.

| | | | | |
|-----------------|---|----|----|----|
| совхоз „Сурхан“ | 5 | 70 | 60 | 10 |
|-----------------|---|----|----|----|

1974 г.

Ферганская обл.

| | | | | |
|---------------------|----|------|------|------|
| колхоз им. Энгельса | 1 | 75 | 71 | 4 |
| им. Калинина | 12 | 69,8 | 62,6 | 7,2 |
| им. Куйбышева | 16 | 76,0 | 71,3 | 4,7 |
| им. Ленина | 14 | 76,5 | 70,4 | 6,1 |
| „Коммунизм“ | 11 | 77,3 | 66,5 | 10,8 |
| им. XXII партсъезда | 17 | 83,3 | 70,8 | 12,5 |

Наманганская обл.

| | | | | |
|---------------------|----|------|------|------|
| колхоз им. Энгельса | 29 | 65,4 | 59 | 6,4 |
| „Ленинград“ | 19 | 74,0 | 47,5 | 26,5 |

Андижанская обл.

| | | | | |
|-------------------------|----|------|------|------|
| колхоз им. Карла Маркса | 20 | 71,1 | 57,2 | 13,9 |
| им. Ахунбабаева | 30 | 68,0 | 60,5 | 7,5 |

Джизакская обл.

| | | | | |
|----------------------|----|----|------|------|
| колхоз им. Алимджана | 20 | 80 | 68,3 | 13,7 |
|----------------------|----|----|------|------|

Сырдарьинская обл.

| | | | | |
|-------------------------|-----|------|------|------|
| колхоз „Красный Восток“ | 4,8 | 79,3 | 68,7 | 10,6 |
| им. Ахунбабаева | 4 | 102 | 88 | 14 |

Бухарская обл.

| | | | | |
|---------------------|---|----|----|-----|
| колхоз им. Калинина | 3 | 80 | 71 | 8,6 |
| „Маданият“ | 3 | 85 | 68 | 17 |

Сурхандарьинская обл.

| | | | | |
|-----------------|---|----|------|------|
| совхоз „Сурхан“ | 5 | 63 | 49,6 | 13,4 |
|-----------------|---|----|------|------|

Самаркандская обл.

| | | | | |
|-----------------------|----|------|------|------|
| колхоз „Меҳнат-Раҳат“ | 2 | 85 | 62,8 | 22,2 |
| им. Куйбышева | 12 | 92,4 | 69,3 | 23,1 |

| | | | | |
|----------------------------|------|-------|-------|-------|
| им. Навои | 1 | 90,0 | 66,5 | 23,5 |
| „Октябрь“ | 2 | 84 | 59,1 | 24,9 |
| им. М. Горького | 8 | 80 | 60 | 20 |
| им. Свердлова | 1 | 90 | 63,1 | 26,9 |
| „Самарканд“ | 10 | 80 | 65,6 | 14,5 |
| Ташкентская обл. | | | | |
| колхоз им. Ленина | 3,3 | 87,57 | 54,4 | 33,17 |
| „Октябрь“ | 5,7 | 51 | 46 | 5 |
| Каракалпакская АССР | | | | |
| колхоз им. Навои | 13 | 61,8 | 45,5 | 16,3 |
| Ферганская обл. | | | | |
| совхоз им. Жданова | 9 | 66,7 | 60,4 | 6,3 |
| им. Калинина | 60 | 64,0 | 59 | 5 |
| колхоз „Ок-Олтын“ | 40 | 65,6 | 47,7 | 9,1 |
| им. Энгельса | 26 | 61,6 | 67,6 | 6 |
| „Пахта-Кайнар“ | 8 | 66,1 | 59,9 | 6,2 |
| совхоз „Риштан“ | 140 | 59,7 | 51,4 | 4,3 |
| „Комсомол“ | 34 | 65,2 | 60,3 | 4,9 |
| „Коммунизм“ | 5 | 58,2 | 63,8 | 2,6 |
| им. Навои | 15 | 62 | 59,3 | 2,7 |
| им. Куйбышева | 51 | 61,2 | 51,1 | 2,1 |
| колхоз „Коммунизм“ | 24,2 | 72,9 | 56,4 | 16,5 |
| им. Калинина | 10,5 | 79,7 | 59 | 20,7 |
| им. Карла Маркса | 10,7 | 82,5 | 63 | 19,5 |
| им. XXII партсъезда | 60 | 79,5 | 69,2 | 10,3 |
| Самаркандская обл. | | | | |
| колхоз „Москва“ | 100 | 85,3 | 60,80 | 24,5 |
| „Узбекистан“ | 4 | 75,2 | 60 | 15,2 |
| им. Ленина | 1,2 | 87 | 49 | 38 |
| „Октябрь“ | 4,5 | 81 | 53,5 | 27,5 |
| „Победа“ | 1,2 | 72 | 61,5 | 10,5 |
| Сырдарьинская обл. | | | | |
| колхоз „Узбекистан“ | 8 | 76,0 | 54,8 | 21,2 |
| Ташкентская обл. | | | | |
| совхоз „Ахангаран“ | 69 | 63,2 | 57,5 | 5,67 |
| Бухарская обл. | | | | |
| колхоз „Каган“ | 20 | 69 | 52 | 17 |
| Джизакская обл. | | | | |
| колхоз „Конзавод“ | 10 | 52,2 | 42,2 | 9,8 |
| Андижанская обл. | | | | |
| колхоз „Правда“ | 30 | 75,0 | 66,5 | 8,5 |
| им. Ахунбабаева | 15 | 74,8 | 61,2 | 13,6 |
| Хорезмская обл. | | | | |
| колхоз им. Куйбышева | 50 | 69,3 | 63,2 | 6,1 |
| Наманганская обл. | | | | |
| колхоз им. Энгельса | 40 | 62,0 | 51 | 11 |
| Каракалпакская АССР | | | | |
| совхоз им. Бёруни | 70 | 82 | 63 | 19 |

Ферганская обл.

| | | | | |
|---------------------|------|------|------|------|
| совхоз им. Калинина | 25 | 74,7 | 69 | 5,7 |
| им. Жданова | 17 | 81,0 | 76 | 5,0 |
| „Октябрь“ | 410 | 75,0 | 66,4 | 8,6 |
| колхоз „Победа“ | 15,5 | 77,0 | 60,8 | 16,2 |
| им. Калинина | 20 | 75,3 | 61,3 | 14 |

Андижанская обл.

| | | | | |
|-----------------|----|------|------|------|
| совхоз „Москва“ | 8 | 76,9 | 66,6 | 10,3 |
| им. Калинина | 55 | 98,2 | 84,2 | 14 |

Наманганская обл.

| | | | | |
|-------------------|----|------|------|-----|
| колхоз им. Ленина | 2 | 37 | 71 | 16 |
| им. Энгельса | 40 | 76,4 | 69,2 | 7,2 |

Самаркандская обл.

| | | | | |
|-----------------|------|------|------|------|
| колхоз „Москва“ | 86,6 | 81,1 | 58,2 | 22,9 |
| „Иттифак“ | 122 | 82,6 | 67,4 | 15,2 |
| „Победа“ | 106 | 78,3 | 67,2 | 11,1 |
| „Октябрь“ | 104 | 79,8 | 61,1 | 18,7 |
| „Узбекистан“ | 67 5 | 88,7 | 67,6 | 21,1 |

Сурхандарьинская обл.

| | | | | |
|------------------------|----|----|----|----|
| колхоз им. Баймурадова | 10 | 70 | 50 | 20 |
|------------------------|----|----|----|----|

Кашкадарьинская обл.

| | | | | |
|--------------------------|------|------|------|-----|
| колхоз им. XX Партсъезда | 37,5 | 68,3 | 64,2 | 4,1 |
| совхоз им. Ленина | 50 | 67,8 | 58 5 | 9,3 |

Бухарская обл.

| | | | | |
|----------------------|-----|------|------|-----|
| колхоз „Шафиркан“ | 56 | 72,8 | 63,4 | 9,4 |
| им. Тельмана | 200 | 80 | 60 | 20 |
| им. 100-летия Ильича | 180 | 80 | 53 | 25 |
| „Ленинград“ | 250 | 82 | 60 | 22 |

Хорезмская обл.

| | | | | |
|----------------------|----|------|------|-----|
| колхоз им. Куйбышева | 23 | 66,5 | 61,5 | 5 |
| „Правда“ | 30 | 69,7 | 64 | 5,7 |
| им. Ленина | 45 | 70 | 62 | 8 |
| „Маданият“ | 13 | 70 | 65 | 5 |
| им. Хамзы | 3 | 75 | 72 | 2 |
| им. Чапаева | 30 | 68 | 64 | 4 |
| „Узбекистан“ | 13 | 69 | 64 | 5 |
| им. „Фрунзе“ | 20 | 70 | 63 | 7 |
| „Огахи“ | 10 | 67 | 61 | 6 |
| им. Кирова | 10 | 66 | 62 | 4 |
| им. Нариманова | 40 | 68 | 63 | 5 |

Сырдарьинская обл.

| | | | | |
|--------------------|----|----|----|----|
| колхоз „Ленинград“ | 8 | 85 | 70 | 19 |
| „Правда“ | 11 | 80 | 75 | 9 |
| „Узбекистан“ | 5 | 85 | 70 | 15 |
| „Коммунизм“ | 5 | 70 | 68 | 2 |

Джизакская обл.

| | | | | |
|----------------------|----|------|------|-----|
| колхоз им. Алимджана | 50 | 69,1 | 62,1 | 7 |
| „Конзавод“ | 10 | 81 | 55 | 26 |
| им. Жданова | 60 | 70 | 62,8 | 7,2 |

Ташкентская обл.

| | | | | |
|----------------------------|-----|------|------|------|
| совхоз „Ахангаран“ | 70 | 67 | 55,7 | 11,3 |
| Каракалпакская АССР | | | | |
| совхоз им. Беруни | 100 | 72,9 | 62,3 | 10,6 |
| „40 лет УзССР“ | 10 | 73 | 62 | 11 |

В научно-производственных испытаниях объем выкормленных червей из года в год увеличивался.

Водоросли выращивали в основном в открытых лотковых установках.

Различия в результатах в колхозах и совхозах Узбекистана объясняются многими причинами: нарушение режима культиви-

Таблица 23

Изменение живой массы норок

| Период | Группа | | | |
|-----------------|------------|------------|-------------|-------------|
| | I | II | III | IV |
| Начало опыта, г | 627,6±24,4 | 616,3±29,1 | 648,6±25,1 | 618,7±21,6 |
| Через 1 мес., г | 746,0±31,6 | 783,7±33,5 | 842,7±33,3 | 861,3±29,8 |
| % | 100,0 | 105,0 | 112,9 | 115,4 |
| Через 2 мес., г | 899,1±37,5 | 916,8±45,3 | 1015,8±27,3 | 1024,3±36,9 |
| % | 100,0 | 102,0 | 113,0 | 113,9 |
| Через 3 мес., г | 921,1±49,1 | 946,6±51,9 | 1045,8±29,9 | 1109,7±71,0 |
| % | 100,0 | 102,8 | 113,5 | 120,5 |

рования водорослей (отсутствие некоторых питательных солей, культивирование водорослей без углекислого газа), нарушение технологии кормления гусениц замоченными в суспензии водорослей листьями; повышенная влажность в помещениях, где проводится выкормка гусениц; нехватка кадров, подготовленных для производственного выращивания водорослей; в некоторых хозяйствах установки не отвечают требованиям производственного культивирования водорослей и не позволяют получать высокоплотную качественную суспензию.

Однако во всех опытах установлено положительное влияние протококковых микроводорослей на продуктивность тутового шелкопряда.

Интересные результаты получены при использовании биомассы протококковых водорослей в качестве кормовой добавки в рацион американской норки (Хайрутдинов и др., 1980) (табл. 23, 24). Опыты проводились в Бостанлыкском звероводческом хозяйстве Ташкентской области УзССР. Из отсаженного молодняка 2-месячного возраста отобрали 120 особей, которых разделили на 4 группы по 30 в каждой. Животных отбирали по принципу аналогов с учетом возраста, живой массы и происхождения. I группа служила контролем и содержалась на хозяй-

ственным рационе; II, III и IV группы получали с кормосмесью соответственно 5, 15, и 25 г пасты хлореллы на 1 кг живой массы.

Опыты показали, что подкормка хлореллой значительно повышает белковый обмен, стимулирует рост и развитие. Через 3 мес. после начала опытов содержание общего белка в крови животных II группы находилось на уровне контроля, у животных III группы количество общего белка превышало контроль на 7,6%, IV — на 11,6%. Под влиянием хлореллы изменяется и фракцион-

Т а б л и ц а 24.

Белковая картина крови норок

| Группа | Общий белок, % | Альбумины | Альфа-глобулин, % | Бета-глобулин, % | Гамма-глобулин, % |
|------------------------|-------------------|------------|----------------------|---------------------|----------------------|
| До подкормки хлореллой | | | | | |
| I | 7,59±0,22 | 57,74±0,79 | 18,56±0,42 | 12,85±0,47 | 10,85±0,25 |
| II | 7,87±0,18 | 57,15±0,82 | 18,13±0,64 | 12,65±0,54 | 12,07±0,72 |
| III | 7,44±0,18 | 56,87±0,52 | 18,50±0,31 | 12,94±0,39 | 11,70±0,48 |
| IV | 7,76±0,12 | 57,25±0,41 | 18,84±0,95 | 12,58±0,25 | 11,33±0,99 |
| Через 2 мес. | | | | | |
| I | 8,70±0,14 | 56,41±0,32 | 15,23±0,22 | 14,17±0,19 | 14,21±0,19 |
| II | 8,79±0,15 | 54,31±1,08 | 15,87±0,40 | 14,80±0,51 | 14,81±0,56 |
| III | 9,21±0,23 | 56,46±0,96 | 15,02±0,60 | 12,76±0,49 | 15,71±0,30 |
| IV | 9,73±0,18 | 53,29±0,72 | 15,84±0,45 | 15,33±0,33 | 15,56±0,53 |
| Через 3 мес. | | | | | |
| I | 9,17±0,18 | 56,27±0,30 | 14,44±0,20 | 14,50±0,16 | 14,49±0,25 |
| II | 9,21±0,10 | 55,19±0,81 | 15,13±0,35 | 13,78±0,78 | 15,91±0,45 |
| III | 9,87±0,14 | 55,87±0,95 | 14,19±0,54 | 13,49±0,49 | 16,45±0,26 |
| IV | 10,23±0,16 | 53,43±0,62 | 14,69±0,43 | 15,38±0,20 | 16,50±0,53 |

ный состав сывороточных белков, в основном глобулиновая фракция. Уровень гамма-глобулиновой фракции у норок III и IV групп увеличился на 8,1—9,4% по сравнению с контролем. У подопытных животных III группы прирост массы тела колебался в пределах 12,9—13,5%, IV группы — 15,4—20,5%.

Подкормка хлореллой способствовала повышению качества и увеличению размера шкурок. Так, у норок IV группы количество бездефектных и крупных шкурок составляло 80%, у контрольных — 68,7%.

Биомасса хлореллы и сценедесмуса — ценный корм и стимулятор в пчеловодстве. Как правило, после длительной зимы пчелы голодают и к весне нередко погибают. Искусственная подкормка пчел (в основном сахар) содержит мало белка и витаминов. Этот недостаток восполняет биомасса хлореллы и сценедесмуса. По данным чехословацких ученых, пчелы, получавшие биомассу микроводорослей, отличаются высокой жизненностью, охотно питаются водорослевым кормом, их продуктивность намного выше, чем у контрольных пчел, получавших при подкормке сахар с примесью меда.

Биомассу водорослей использовали также при культивировании микроорганизмов. В новых условиях эти микроорганизмы росли лучше, чем в мясном субстрате.

Положительные результаты получены при использовании водорослевых продуктов в качестве заменителя мяса и кормовых дрожжей в микробиологических средах. Расчеты показывают, что стоимость хлорелло-пептонного агара в 5—10 раз ниже стоимости мясо-пептонного агара, при этом на каждой тонне среды экономится около 500 кг пищевого белкового сырья и снижается расход пептона.

По некоторым данным (Soeder, 1969), биомасса протококковых водорослей — ценный корм для зеркального карпа. Рыбы содержались в аквариумах при температуре 20—22°C. Рацион подопытных рыб состоял на 75% из муки *Scenedesmus obliquus* и на 25% из пшеничной дробы. В начале опыта подопытные рыбы весили по 65 г каждая, через 2 года — в среднем 2 кг, а контрольные в начале опыта 65 г, через 2 года 400 г.

Таким образом, водоросли, несомненно, имеют большое кормовое значение для прудового рыбоводства. Если учесть, что некоторые виды рыб, например толстолобик, в основном питаются водорослями, то экономический эффект от применения протококковых водорослей должен быть высоким.

В наших опытах установлено, что при регулярном внесении суспензии водорослей в рыбоводные пруды увеличивается количество кормовых водных организмов, улучшается гидрохимический, особенно кислородный режим водоемов, что увеличивает продуктивность рыбных прудов в поликультуре (толстолобик, белый амур, карп) на 25—35%.

В другом опыте в результате регулярного внесения пастообразной биомассы хлореллы и сценедесмуса (смешанная культура) в мальковые пруды общая продуктивность их достигала 45—46 ц/га, а средняя масса одного толстолобика — 92 г, карпа — 35—45 г. В контрольных прудах соответственно 43 и 15,2 г.

По данным института гидробиологии АН УССР, на подогретых сбросных водах Киевской ТЭЦ-5 использование аминокислотного концентрата из биомассы сестона, получаемого из различных водохранилищ, ускорило темп роста рыб на 38,4%. При переработке биомассы водорослей усвояемость белка может достигать 80—95% (Сиренко и др., 1978).

Исследовалась возможность использования биомассы водорослей в качестве пищевых продуктов (Тамуга, Тапа, 1958; и др.). В Японии сухая хлорелла применяется при изготовлении молочного напитка «якулт».

В Японии хлореллу добавляют в хлеб, кондитерские изделия и другие продукты для обогащения их питательными веществами. Сухой порошок хлореллы и сценедесмуса применяют в качестве биостимулирующего средства. Олейник, Богвид и др. (1970) использовали водоросли в дозе 1—2 г в сутки как общеукрепляющее средство, особенно для ослабленных больных.

Водоросли повышают урожайность сельскохозяйственных культур (Музафаров, Таубаев, Джуманиязов, 1978). По данным М. М. Голлербаха (1946), А. М. Музафарова (1949, 1953) и др., водоросли обогащают почву органическими веществами, улучшают ее структуру, стимулируют рост полезных почвенных микроорганизмов. Кроме того, они являются источником физиологически активных веществ, играющих важную роль в почвенных процессах, влияют на pH почвенной среды. В почвах, богатых водорослями, pH всегда нейтральна. Под влиянием водорослей водоудерживающая способность почв повышается на 40% и более.

Водоросли обогащают почву макро- и микроэлементами. Кроме того, они являются продуцентами антибиотически активных веществ. По мнению Н. А. Красильникова (1952), антибиотики в почвах благоприятно влияют на рост и развитие растений.

В почвах содержится много видов азотфиксирующих сине-зеленых водорослей, обогащающих почву азотом. В литературе подробно освещено значение сине-зеленых азотфиксирующих водорослей как зеленого удобрения в повышении урожайности хлопчатника и других сельскохозяйственных культур (Музафаров, 1965, 1967; Горюнова, 1969; и др.). Однако участие протококковых водорослей в почвенных процессах, методы обогащения орошаемых почв этими водорослями и значение в повышении их биологической активности и урожайности сельскохозяйственных культур изучены недостаточно. Между тем, протококковые водоросли нередко доминируют в почвах под хлопчатником, люцерной и другими сельскохозяйственными культурами почти во все сезоны года.

По мнению некоторых исследователей (Мусаев, 1960; Умарова, 1964; и др.), весной, летом и осенью водоросли в почвах представлены богатым видовым составом. В бурном развитии их важную роль играют орошение и обработка почвы. Кроме того, многие водоросли попадают на поля с оросительной водой и развиваются в почве и на поверхности.

Изучены способы обогащения сине-зелеными водорослями полей, занятых сельскохозяйственными культурами (Prasad, 1949; Watanaba, 1959; Ли Шан Хао и др., 1959). Одни авторы предлагают использовать для повышения урожайности рисовых полей естественные ассоциации этих водорослей (Die, 1936; Sun, 1961; Subrahmanyan, 1964; и др.), другие — активные производственные штаммы путем предварительного выращивания в специальных установках. В этом случае водоросли предварительно культивируются, затем в виде суспензии вводятся в почву. Watanaba (1959) рекомендует культивировать для этих целей азотфиксирующие сине-зеленые водоросли (*Tolypothrix tenuis*), М. А. Кучкарова (1977) и др. — использовать сине-зеленые водоросли (*Nostoc muscorum*) для замочки семян риса перед посевом. Этот вид водорослей более активен, чем другие.

В течение 1972—1977 гг. мы исследовали влияние протокок-

ковых водорослей на биологическую активность почв и урожайность хлопчатника. Разработано несколько способов обогащения почв под хлопчатником протококковыми водорослями.

Способ замочки семян хлопчатника перед посевом суспензией протококковых водорослей. Семена хлопчатника замачивают в воде, а затем на 12—16 ч в суспензии сценедесмуса с плотностью клеток 30—60 млн/мл. При замочке оболочка семян впитывает суспензию и значительно обогащается клетками. При высокой плотности клеток водорослей в суспензии поверхность семян приобретает зеленый или зеленоватый цвет.

Способ многократного внесения суспензии в почву. Это наиболее эффективный способ обогащения почвы водорослями. За вегетационный период водоросли вносятся на поля в виде суспензии 1, 3 и более раз перед поливом. После внесения они как автотрофные организмы продолжают расти и развиваться в почве и на поверхности. До следующего внесения биомасса увеличивается в 10—15 раз.

Способ осенне-зимнего и весеннего накопления биомассы водорослей в почве. При этом способе суспензию вносят в почву после осенней пахоты. При наступлении теплых дней (выше 10°C), особенно после дождей и полива, водоросли развиваются наиболее бурно. Перед внесением в суспензию рекомендуется добавлять вытяжку навоза или куриного помета в концентрации 3—5 г/л сухого навоза в 1 л.

Изучение альголизации орошаемых земель и ее влияние на биологическую активность почв и урожайность сельскохозяйственных культур показало высокую эффективность применения этого метода в растениеводстве.

Опыты проводились в нескольких вариантах и в различных условиях: в чашках Петри, в вегетационных сосудах, на мелких делянках и на полях площадью 3—20 га и более. Изучали влияние суспензии хлореллы и сценедесмуса с различной концентрацией клеток (20, 30, 40, 50, 60, 80 и 100 млн/мл) на всхожесть семян хлопчатника, его рост, развитие и урожайность. В некоторых вариантах семена хлопчатника замачивали перед посевом, затем в почву вносили суспензию хлореллы и сценедесмуса с плотностью клеток 30—40 млн/мл.

Рассмотрим, какое влияние оказала замочка семян хлопчатника перед посевом суспензией водорослей и последующее внесение ее в почву из расчета 6 т/га в 2 срока по 3 т (в фазы 5—6 листьев, в бутонизацию) на биологическую активность почв под хлопчатником.

При замочке семян хлопчатника суспензией водорослей и при последующем внесении в почву при помощи дождевальной установки содержание органических веществ повышалось в 1,5—2, минеральных форм азота — в 2 раза по сравнению с контролем.

Во всех вариантах вносили основные виды удобрений в соответствии с агротехническими требованиями.

Отмечено, что внесение протококковых водорослей в почву способствует увеличению количества микроорганизмов: на опытных делянках до 400 млн клеток и более, в контроле — 180—190 млн. в 1 г гумуса. По прямому учету Виноградского, на полях, где применялась суспензия хлореллы, число микроорганизмов достигало 273—425 млн. клеток в 1 г почвы, в контрольном варианте — от 93 до 110. Причем увеличивается и количество полезных микроорганизмов. Например, в опытных вариантах число аммонификаторов в 2,5—3 раза (300 млн. клеток в 1 г почвы) больше, чем в контроле. Аналогичное явление отмечено для микроорганизмов, усваивающих минеральный азот и олигонитрофилы. По нашим данным, в опытных вариантах содержание живых клеток водорослей оказалось в 5—10 раз больше, чем в контроле.

Главный показатель повышения биологической активности почв — высокая активность ферментов, например полифенолоксидазы и пероксидазы. В опытных вариантах содержание гумусовых веществ в почве на 47—60% выше, чем в контроле.

Как правило, при повышенной биологической активности почв наблюдаются активный рост, развитие растений и увеличение их урожайности.

В опытах и производственных испытаниях установлена положительная роль альголизации почв. Повышалась всхожесть семян хлопчатника, ускорялись его рост и развитие, повышалась урожайность. Всхожесть семян хлопчатника в опытных вариантах достигала 95—100%, в контроле — 70—85. В опыте цветение началось на 4—6 дней раньше, чем в контроле. Количество живой фитомассы в опытных вариантах в период цветения составляло — 27—42 ц/га, в контрольном — 11,8. Среднее количество полноценных коробочек на одном кусте хлопчатника опытных полей — 17—20, в контроле — 14—16.

В полевых условиях при замочке семян хлопчатника перед посевом суспензией протококковых микроводорослей урожайность хлопчатника при соблюдении агротехнических требований повысилась на 4—6 ц/га. При замочке семян хлопчатника перед посевом суспензией протококковых микроводорослей и последующем внесении ее под хлопчатник урожайность оказалась еще выше — 7—8 ц/га.

Стимулирующее действие суспензии сценедесмуса проверено и в опытах с пшеницей, рисом. Семена также вначале замачивали водой на 2—3 ч, затем суспензией сценедесмуса (*Scenedesmus obliquus*) при плотности клеток 20, 40, 60, 80 млн/мл. В каждом варианте израсходовано 15 кубиков суспензии. Семена находились в чашках Петри с фильтровальной бумагой при температуре 25—28°C. Суспензию добавляли к фильтровальной бумаге до пропитки. Контрольные семена смачивали водой. На 5-е сутки опыты были прекращены из-за массового прорастания семян в опытных вариантах.

У семян, смоченных суспензией водорослей с плотностью кле-

ток до 20—40 млн/мл, всхожесть достигла 96%, а при плотности клеток 60—80 млн/мл — 100%, в контроле — 80%. Биомасса растений увеличилась почти в 1,5—2 раза. В полевых условиях при замочке семян перед посевом урожай пшеницы и риса возрос на 10—20% по сравнению с контролем. Повысилась кустистость пшеницы и риса (Кучкарова, Машарипов, 1976).

Результаты опытов показали, что при замочке семян перед посевом и при последующем внесении суспензии в почву растения вырастали крепкими, здоровыми и устойчивыми к болезням. В контрольных вариантах часто наблюдалось массовое заражение всходов хлопчатника корневой гнилью, в опытах этого почти не отмечалось. На контрольных полях из-за массового поражения растений корневой гнилью приходилось проводить пересевы. Поражение хлопчатника вилтом на опытных полях также значительно снизилось. Хотя опыты проводились на специально зараженных вилтом полях, переход инфекции в растения резко уменьшился. По-видимому, отсутствие вилта в растениях опытных полей, где проводилась замочка семян хлопчатника суспензией водорослей и затем суспензию вносили в почву, может быть связано с увеличением запаса органических веществ в ней под влиянием регулярной альголизации полей в период вегетации. Кроме того, подавление вилта может быть обусловлено антибиотической активностью водорослей в отношении фитопатогенных микроорганизмов. Таким образом, метод альголизации полей протококковыми водорослями эффективен в борьбе с болезнями сельскохозяйственных культур, особенно с вилтом хлопчатника.

Альголизация почв и семян сельскохозяйственных культур суспензией водорослей приемлема в каждом хозяйстве. Применение этого нового метода, несомненно, открывает широкие перспективы в повышении плодородия почв и урожайности сельскохозяйственных культур.

Как видно из изложенного, значение хлореллы и других протококковых микроводорослей в народном хозяйстве огромно. Задача современной альгологии — выявить новые области применения водорослей, найти наиболее эффективные методы их промышленного культивирования, привлечь новые высокопродуктивные и хозяйственно ценные виды и штаммы в сферу массового культивирования и превратить водорослеводство в одну из экономически выгодных отраслей народного хозяйства.

МИКРОВОДОРОСЛЕВЫЙ КОМПЛЕКС И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕГО РАЗВИТИЯ

Альгокультура, или, как принято иногда ее называть, водорослеводство, — новая отрасль народного хозяйства. В настоящее время из них в промышленном масштабе получают альгиновую кислоту, карагенин, агар, некоторые фармацевтические продукты, а также используют в качестве удобрения (Дилов, 1980).

В Болгарии начиная с 1972 г. довольно быстрыми темпами развивается промышленное культивирование хлореллы и сценедесмуса. В последние годы здесь ежегодно производят до 5 т сухой биомассы водорослей.

По некоторым данным, в настоящее время в районах Юго-Восточной Азии насчитывается 45 предприятий по культивированию и производству биомассы микроводорослей (Kawaguchi, 1978). Производительность установок достигает 1 т сухой массы в месяц.

В Мексике годовое производство биомассы микроводорослей превышает 16 тыс. т. Там планируется создание еще одной установки производительностью до 10 тыс. т абсолютно сухого вещества в год.

Установки производственного культивирования микроводорослей созданы в КНР, Индии. Методы промышленного культивирования водорослей изучаются в Чехословакии, Польше, Вьетнаме, Франции, Италии, ФРГ и других странах. Довольно широко они изучены и в СССР (Пиневич и др., 1965; Музафаров, Милоградова, 1966; Мошкова, Беренштейн, 1968; Музафаров, Таубаев, 1974; и др.). В нашей стране для массового культивирования водорослей используются главным образом открытые реакторы мощностью 5—50 т. Средний урожай микроводорослей, получаемый на единицу площади, — 15—20 г/м², максимальный — 30—40 г/м² сухого вещества в сутки.

В СССР построены и функционируют более 800 установок-реакторов, предназначенных для производства товарной суспензии хлореллы, сценедесмуса и других микроводорослей. Товарная суспензия стимулирует рост, развитие и продуктивность животных и других организмов. В условиях Узбекистана она имеет плотность клеток 20—30 млн/мл и более.

В Узбекистане и в некоторых других республиках суспензию микроводорослей используют в качестве белково-витаминной добавки в рацион сельскохозяйственных животных, птиц и гусениц тутового шелкопряда.

Практикуется получение пастообразной биомассы микроводорослей с помощью сепараторов или центрифуг. Нередко используют химические осадители. Водорослевая паста применяется в птицеводстве, рыбководстве и в качестве маточной культуры в биологических прудах, предназначенных для очистки сточных вод (Асраров, 1977; Юзвенко, 1981; и др.). Некоторые исследователи (Асраров, 1977) применяли пасту в качестве кормовой добавки в рацион крупного рогатого скота.

В США, Мексике и некоторых других странах сухую массу водорослей используют в качестве источника промышленных продуктов. В Болгарии исследуются методы получения из нее ароматических соединений и других липидных фракций, имеющих лечебное значение.

В последнее время разрабатываются методы комплексной пе-

переработки биомассы микроводорослей с целью получения кормового и пищевого белка, поливитаминных концентратов, хлорофиллов и других физиологически активных соединений (Дилов, 1974; Таубаев, Ахунов, 1980; и др.). В Институте микробиологии АН УзССР разработаны способы получения кормового и пищевого белка, каротино-хлорофилловой пасты, хлорофиллина натрия, поливитаминного концентрата, стеринов и других хозяйственно ценных веществ.

Считается, что наиболее экономически выгодно и рентабельно промышленное культивирование водорослей на сточных водах (Os-wald, 1963; Дилов, 1980; Таубаев, Буриев, 1980; и др.). Однако при этом возникает вопрос токсичности водорослей, выращенных на сточных водах. По мнению некоторых исследователей (Yappai et al., 1978), биомасса водорослей, полученная при культивировании на сточных водах, не токсична для птиц. Установлено, что имеющиеся в биомассе токсические соединения проходят через пищеварительный тракт птиц и выбрасываются с фекалиями.

Однако биомасса водорослей применяется не только для птиц, но и для других животных, а также для человека. В этом случае непосредственное использование биомассы водорослей в кормовых и пищевых целях требует соблюдения осторожности.

Таким образом, промышленное производство биомассы водорослей является комплексным предприятием, охватывающим целый ряд производственных процессов: культивирование, отделение биомассы от культуральной жидкости, сушка, переработка полученной биомассы, ее дезинтегрирование, а также расфасовка и хранение. В Узбекистане (Музафаров, Таубаев, 1974, 1980) к настоящему времени в основном решены вопросы промышленного культивирования хлореллы и других микроводорослей в широком масштабе. Экономическая рентабельность производства биомассы микроводорослей зависит главным образом от эффективности ее применения в различных консистенциях. Многочисленные опыты и широкие производственные испытания суспензии и пастообразной биомассы хлореллы и сценедесмуса в животноводстве, шелководстве, рыбоводстве, птицеводстве и растениеводстве показали высокую эффективность их в этих отраслях народного хозяйства.

О биостимулирующем свойстве протококковых микроводорослей имеются данные в литературе. Во многих хозяйствах страны суспензию микроводорослей используют в качестве витаминной добавки, стимулирующей рост, развитие и продуктивность сельскохозяйственных животных. При выпаивании суспензии микроводорослей по 8—10 л в день на одну голову крупного рогатого скота в течение 60—80 дней хозяйство может получить не менее 10—16 руб. чистой прибыли. Стоимость суспензии, затраченной на откармливание одной головы крупного рогатого скота, составляет всего 30—40 коп.

Хорошие результаты получены при применении хлореллы и сценедесмуса в шелководстве. Замоченные суспензией водорослей листья шелковицы в подопытных выкормках охотно поедались гусеницами тутового шелкопряда. Водоросли способствовали повышению урожайности шелковичных коконов на 20—22%, шелковой оболочки — на 20—25%. Затратив около 1000 л суспензии на выкормку 1 коробки грены, можно произвести дополнительно 10 кг коконов или получить 75 руб. прибыли по государственной закупочной цене. По данным Института экономики АН УзССР, изучавшего экономическую эффективность хлореллы и других микроводорослей, при массовом их применении в животноводстве и шелководстве в Узбекистане ежегодно можно получать более 290 млн. руб. чистой прибыли.

Многочисленные эксперименты и научно-производственные испытания замочки семян хлопчатника перед посевом в суспензии водорослей и последующее одно- или двухразовое внесение ее в почву под хлопчатник показали высокую эффективность этого метода в повышении биологической активности почв и урожайности хлопчатника на 4—5 ц/га и более по сравнению с контролем. Биостимулирующие свойства хлореллы и других микроводорослей установлены и на других культурах — рисе, винограде.

Намечены следующие перспективные отрасли применения микроводорослей в народном хозяйстве: животноводство, птицеводство, шелководство, зерноводство, рыбководство, аквакультура, растениеводство, медицина, пчеловодство. Кроме того, биологическую суспензию или пастообразную массу можно использовать для очистки сточных вод.

Биомасса водорослей используется в различных консистенциях: в виде суспензии, пастообразной массы, сухого натурального вещества, переработанной массы. Промышленные установки могут быть предназначены для производства любых из этих хозяйственно ценных продуктов — жидких, высушенных и переработанных.

Необходимо создать крупные централизованные установки по производству биомассы микроводорослей в масштабе нескольких хозяйств, районов, областей, птицефабрик или животноводческих комплексов. В условиях Узбекистана и других Среднеазиатских республик в течение 7—9 мес. можно выращивать хлореллу, сценедесмус и другие микроводоросли на базе использования солнечного света, без использования электрического света и специальных тепличных укрытий.

Установлена возможность применения продуктов сгорания природного газа в промышленных котельных в качестве источника тепла и углекислоты, импульсного концентрированного солнечного света в качестве физического стимулятора роста и повышения продуктивности микроводорослей в культуре.

Использование дымовых отходов в массовой культуре водорослей позволяет удешевить себестоимость производимой про-

дукции на 20—25%. При импульсном светооблучении водорослей повышаются фотосинтетическая активность, биохимические свойства, биологическая продуктивность на 30—35% по сравнению с контролем.

Нами разработаны методы культивирования хлореллы, сценедесмуса и других микроводорослей на сточных водах городской канализационной сети, на вытяжках куколок тутового шелкопряда, куриного помета и навоза.

Продуктивность водорослей при культивировании их на городских сточных водах и отходах сельскохозяйственного производства составляет 17—25 г/м² сухого вещества в сутки, что не ниже продуктивности водорослей на стандартных минеральных питательных средах. При этом одновременно происходит очистка сточных вод. По нашим данным (Таубаев, Буриев, 1977), степень очистки вод водорослями по БКП₅ за 6—8 дней культивирования достигает 95—100%.

При культивировании протококковых микроводорослей сточные воды очищаются и от бактериальных загрязнений. Гибель инфекционных микробов в присутствии водорослей обусловлена выделением ими в окружающую среду антибиотически активных веществ.

Промышленное производство биомассы микроводорослей можно организовать на основе широкого использования природных энергетических ресурсов — солнечного света, тепла, а также импульсного концентрированного солнечного света, отходов промышленных предприятий и сельскохозяйственного производства.

При этом стоимости 1 т суспензии не превышает 40—50 коп., 1 кг пастообразной массы — 30—40 коп., 1 кг сухой массы — 50—80 коп. С 1 т суспензии водорослей выход сухой массы достигает 2—4 кг. Исследователи отмечают большую энергоемкость процесса отделения биомассы водорослей от культуральной жидкости (Пиневиц, 1963; Музафаров, Таубаев, 1974; Дилов, 1980; и др.). При пропускании большого количества суспензии через сепаратор или центрифугу наблюдается значительный расход электроэнергии.

Нами разработан способ гравитационного осаждения биомассы водорослей в специальных емкостях. При этом суспензия сливается в специальную емкость, где в течение 10—12 ч отстаивается под рясковым покровом или в темноте в закрытых условиях. 2/3 суспензии сверху самосливом переливают в другую емкость или возвращают в культиватор, а оставшуюся на дне емкости загущенную часть суспензии пропускают через сепаратор. В этом случае затрата электроэнергии сокращается почти в 2—2,5 раза.

Культуральную жидкость можно также использовать в различных хозяйственных целях. Во-первых, без снижения продуктивности водорослей до 10—12 и более раз можно возвращать культуральную жидкость в культиватор для оборотного исполь-

зования в качестве дополнительной питательной среды. Эта жидкость — ценная питательная среда для выращивания ряски — кормового растения и дафний — кормового вида зоопланктона. При этом с 1 га водной поверхности дополнительно можно получить до 1 т зеленой массы ряски и 20—24 кг сухой массы дафний в сутки.

Культуральная жидкость водорослей может быть использована также в качестве маточной культуры. В ней после отделения биомассы путем осаждения или сепарирования все еще остается около 2,5—3 млн/мл молодых клеток, которые могут служить посевным материалом для культивирования в специальных установках-реакторах.

Таким образом, производство микроводорослей можно считать безотходным производством, что важно для охраны окружающей среды от загрязнения различными стоками и другими отходами.

При использовании биомассы водорослей в качестве биостимулятора в животноводстве прибыль, получаемая с 1 руб. затрат, составляет в среднем не менее 30 руб.

Особенно важно использование биомассы водорослей в качестве кормового и пищевого белка. При открытых способах культивирования на органо-минеральной или чисто минеральной среде содержание белка в биомассе протококковых водорослей достигает 45—55%. При отделении от биомассы пигментов и липидных соединений остается кормовой белок или углеводно-белковый комплекс с содержанием белка 60—65%.

В натуральной биомассе водорослей содержание лизина достигает 10%. Добавление 0,3% лизина в корм животных позволяет сократить его расход на 20% и увеличить производство мяса.

На отдельных заводах производят кормовой концентрат с содержанием лизина 7—15%. Биомасса микроводорослей представляет большой интерес в качестве источника лизина. Если учесть, что в кормовом белке из микроводорослей содержание лизина больше, чем в натуральной биомассе, то возможность его использования в качестве лизинового концентрата очевидна.

В установке-реакторе с водной поверхностью 100 га ежедневно можно производить около 20 т биомассы микроводорослей, или около 10 т кормового белка. Ежегодный объем производства кормового белка составляет около 4 тыс. т. Стоимость 1 кг кормового белка из водорослей составляет 0,6—1,5 руб. в зависимости от способа культивирования микроводорослей в различных установках.

Говоря о возможностях применения водорослей, следует отметить широкие перспективы использования альгокультуры. Установлена возможность получения из водорослей жидкого топлива, биогаза. Водоросли способны также синтезировать тяжелую воду, деградировать глюкозиды (Дилов, 1980). Культура микроводорослей как активно фотосинтезирующая система может играть

важную роль в обогащении природной среды кислородом, в очистке воздуха от вредных газовых смесей.

Хлорелла и другие микроводоросли по сравнению с высшими растениями имеют ряд преимуществ: они богаче полезными веществами, в их клетках фотосинтез идет интенсивнее. Усвоение ими солнечной энергии можно довести до 7—10% и более. Процесс выращивания микроводорослей технически легко управляем. Все процессы производства водорослевой биомассы можно механизировать и автоматизировать. При соответствующих условиях культивирование легко проводить круглый год. Установки-реакторы для культивирования водорослей можно строить в любом месте, непригодном для земледелия. Их можно поместить даже на крышах домов, промышленных и сельскохозяйственных объектах, на водной поверхности и др.

Удельное потребление воды в производстве водорослевой биомассы в 20—50 раз меньше, чем в культуре высших растений.

Фотоавтотрофный биосинтез, осуществляемый с помощью зеленых микроводорослей в специальных реакторах, в отличие от обычных микробиологических способов синтеза органических веществ, позволяет производить ценнейшие белковые и витаминные продукты на базе использования минеральных источников питания и лучистой энергии.

Даже широко рекламируемые в настоящее время способы промышленного синтеза белков с помощью гетеротрофных микроорганизмов имеют некоторые недостатки. Для них необходимы значительные ресурсы готовых органических веществ, однако они ограничены.

В принципе культуру микроводорослей можно организовать в любой климатической зоне. Однако при открытом способе выращивания наиболее подходящими для организации водорослеводства районами являются субтропические, южные районы страны. Здесь обилие солнечного света, тепла, наличие богатых микроэлементами и углекислотой минеральных источников и других природных энергетических ресурсов позволяет организовать крупномасштабное и наиболее рентабельное производство биомассы водорослей в достаточном для народного хозяйства количестве.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- Абакумова И. А., Кондратьев Ю. И., Ушаков А. С. Исследование кормовой ценности одноклеточных водорослей. — В кн.: Проблемы создания замкнутых экологических систем. М.: Наука, 1967, с. 60—64.
- Авилов И. А. Использование различных источников углерода водорослями рода *Chlorella* в темноте. — Вестник ЛГУ, сер. биол., 1963, вып. 3, № 15, с. 62—68.
- Авилов И. А. Аминокислоты как источник азота для водорослей рода *Chlorella*. — В кн.: Изучение интенсивной культуры водорослей. Прага, 1965, с. 168—176.
- Авилов И. А. Усвоение некоторых углеводов водорослями рода *Chlorella*. — В кн.: Вопросы микробиологии. Труды Петергофского биол. ин-та. Л.: изд. ЛГУ, 1965, № 19, с. 131—136.
- Амарянц А. Г. Использование хлореллы при откорме каракульских овец. Автореф. дис.... канд. биол. наук. Фрунзе, 1969. 18 с.
- Андреева В. М. Род *Chlorella*. Л.: Наука, 1975, с. 88.
- Артари А. П. К вопросу о влиянии среды на форму и развитие водорослей. — Изв. Имп. Моск. техн. училища. М.: Б. и., 1902, с. 3—93.
- Артари А. П. Метод чистых культур и его научное значение. — Научное слово, кн. V, 1904, с. 19—41.
- Асанов Р. А. Влияние суспензии хлореллы на рост свиней. — В кн.: Культивирование водорослей и высших водных растений в Узбекистане, Ташкент: Фан, 1971, с. 55—59.
- Асанов Р. А. Влияние хлореллы на некоторые показатели промежуточного обмена веществ, рост, развитие и мясную продуктивность свиней. Автореф. дис.... канд. биол. наук. Ташкент, 1971. 18 с.
- Арутюнян Н. П. Первый опыт размножения одноклеточных зеленых водорослей в открытых водоемах. — Изв. АН АрмССР, биол. науки, 1961, т. 14, № 5, с. 85—91.
- Арутюнян Н. П. Культивирование одноклеточных водорослей. Ереван: Изд-во АН АрмССР, 1966, с. 3—86.
- Асраров У. Белково-витаминная паста из хлореллы при откорме бычков на рационах из хлопчатниковых кормов. — В кн.: Культивирование водорослей и высших водных растений в Узбекистане. Ташкент: Фан, 1972, с. 58—62.
- Баранов С. А. и др. Опыт культивирования микроводорослей на выделениях некоторых животных и человека в условиях накопительных культур. — В кн.: Управляемое культивирование микроводорослей. М.: Наука, 1964, с. 86—97.
- Баранов С. А. Культиватор для питательного и массового культивирования кормовых водорослей на естественном и комбинированном освещении. — Труды Всес. НИИ прудового рыбного хозяйства. М.: Б. и., 1966, с. 187—196.
- Баранов С. А. Глазачева И. В. Некоторые физиологические аспекты массового интенсивного культивирования хлореллы. — В кн.: Охрана и рациональное использование ресурсов дикой живой природы. Алма-Ата: Б. и., 1966, с. 187—188.
- Баславская С. С., Блиновская Л. М., Русина О. И. Изучение фотосинтеза *Chlorella vulgaris* в условиях массовой культуры. — Матер.

- Всес. совещ. по культивированию одноклеточных водорослей (тез. докл.) Л.: Б. и., 1961, с. 55.
- Батов В. А. Влияние температуры на интенсивность биосинтеза хлореллы при разных уровнях освещенности. — В кн.: Непрерывное управляемое культивирование микроорганизмов. М., 1967, с. 144—153.
- Белл А. Н., Меринова Т. П. Фотознергетика хлореллы при насыщенных интенсивностях света. — Физиол. раст., 1963, т. 10, вып. 5, с. 505—512.
- Белл А. Н., Букина Г. С. О режимах работы амперметрических ячеек, используемых для изучения обмена кислорода и биологических объектах. — Биофизика, 1967, т. 12, вып. 6, с. 1043—1049.
- Белянин В. Н., Сидько Ф. Я., Ерошин Н. С. Зависимость максимальной продуктивности от облученности. — В кн.: Непрерывное управляемое культивирование микроорганизмов. М.: Б. и., 1967, с. 78—82.
- Белянин В. Н., Сидько Ф. Я., Тренкешу А. П. КПД фотосинтеза двух видов микроводорослей в различных световых режимах. — Тез. докл. научного симпозиума. XI научно-коорд. совещ. по теме 1—18—4 СЭВ. Л., 1974, с. 8—9.
- Бердыкулов Х. А. Фотосинтез *Chlorella vulgaris* Beijer при массовом культивировании в открытых бассейнах Узбекистана. — В кн.: Вопросы биологии и краевой медицины. Ташкент, Б. и., 1963, вып. 4, с. 123—128.
- Бердыкулов Х. А. Некоторые данные по изучению фотосинтеза хлореллы при массовом культивировании в открытых бассейнах. — В кн.: О производственной культуре одноклеточных водорослей. Ташкент, 1966, с. 49—59.
- Бердыкулов Х. А. Фотосинтез хлореллы культивируемой под открытым небом. Автореф. дис... канд. биол. наук., Ташкент, 1967, с. 3—15.
- Бердыкулов Х. А., Якубов Х. Ф. Дневной ход фотосинтеза и накопления биомассы микроводорослей при выращивании их на различных питательных средах. — В кн.: Культивирование водорослей и высших водных растений в Узбекистане. Ташкент: Фан, 1971, с. 44—46.
- Бердыкулов Х. А., Рахимов А. Влияние ИКСС на урожайность и некоторые биохимические свойства сценедесмуса в культуре. — В кн.: Культивирование водорослей и высших водных растений в Узбекистане. Ташкент: Фан, 1972, с. 71—76.
- Бриллиант В. А. Фотосинтез как процесс жизнедеятельности растений. М.; Л., 1949. 141 с.
- Бернштейн А. Ф., Асаул З. И. Использование отходов бродильных производств для культивирования одноклеточных водорослей. — Спиртовая промышленность, 1963, № 4, с. 26—27.
- Бойко Н. Н. и др. К вопросу о пищевой ценности одноклеточных водорослей. — Вопросы питания, 1962, т. 4, № 4, с. 76—81.
- Бойко Н. Н., Ключкина Н. С., Кондратьев Ю. И. Об использовании одноклеточных водорослей в питании человека. — Вопросы питания, 1963, т. 22, № 6, с. 3—8.
- Быков О. Д. Выращивание одноклеточных водорослей в атмосфере, содержащей $C^{14}O_2$. — Всес. совещ. по культивированию одноклеточных водорослей: Тез. докл. Л.: Изд. ЛГУ, 1961. 16 с.
- Васигов Т. Массовая культура протококковых водорослей в условиях Юго-Западного Кызылкума и ее значение для отгонного животноводства (каракулеводства). Автореф. дис... канд. биол. наук. Ташкент, 1969, с. 3—20.
- Васигов Т. Опыт массового культивирования одноклеточных водорослей на Кызылкумской пустынной станции. — В кн.: О производственной культуре одноклеточных водорослей. Ташкент, 1966, с. 94—100.
- Васильева Г. Л., Окуньева Е. Л. Краткое сообщение об опыте массового разведения протококковых водорослей. — Водоросли и грибы Западной Сибири. (Труды Центрального сибир. бот. сада). 1964, вып. 8, ч. 1, с. 115—116.
- Ваулина Э. Н., Аникеева И. Д. Оценка продуктивности штаммов хлореллы. — Генетика, 1965, № 5, с. 176.

- Верзилин Н. Н. Культивирование одноклеточных водорослей. — Вестник АН СССР, 1961, № 6, с. 97—99.
- Винберг Г. Г. Массовые культуры одноклеточных водорослей как новый источник пищевого и промышленного сырья. — Успехи современной биологии, 1957, т. 43, вып. 3, с. 332—351.
- Винберг Г. Г. Значение фотосинтетической азотации в процессах самоочищения водоемов. — Труды 5-й конф. по изучению внутренних водоемов Прибалтики. Минск: Б. и., 1959, с. 251—256.
- Винберг Г. Г. Культивирование зеленых планктонных водорослей на сточной жидкости. — Микробиология, 1964, т. 33, № 3, с. 508—515.
- Винберг Г. Г. и др. Биологические пруды в практике очистки сточных вод. Минск: Беларусь, 1966, с. 3—216.
- Владимирова М. Г. Динамика развития бактериальной микрофлоры при культивировании хлореллы. — Микробиология, 1961, т. 30, вып. 3, с. 431—435.
- Владимирова М. Г., Семененко В. Е. Интенсивная культура одноклеточных водорослей. М.: Изд-во АН СССР, 1962, с. 3—58.
- Владимирова М. Г., Семененко В. Е., Ничипорович А. А. Сравнительное изучение продуктивности различных форм одноклеточных водорослей. — В кн.: Проблемы космической биологии. М.: Наука, 1962, т. 2, с. 314—325.
- Вознесенский В. А., Заленский О. В., Семихатова О. А. Методы определения фотосинтеза и дыхания растений. М.; Л.: Наука, 1965. 272 с.
- Гаевская Н. С. О методах выращивания корма для рыб. — Труды Моск. техн. ин-та рыбной пром. и хоз., 1941, вып. 10, с. 3—16.
- Гаевская Н. С. О некоторых новых методах в изучении питания водных организмов. Новый метод получения бактериологически чистых культур водорослей в короткие сроки времени. — Бюл. Моск. об-ва исп. природы (отд. биол.), 1946, т. 51, № 2, с. 13—20.
- Гаевская Н. С. Выращивание массовых культур протококковых водорослей для рыбного хозяйства. — Труды Всес. гидробиол. об-ва, Изд-во АН СССР, 1953, т. 5, с. 72—108.
- Гаевская Н. С. Проблемы использования одноклеточных водорослей. — Природа, 1956, № 4, с. 43—51.
- Гаевская Н. С. О массовых культурах водорослей в свете проблем биологического использования солнечной энергии. — 2 Всес. конф. по фотосинтезу: Тез. докл. М.: Изд. МГУ, 1957, с. 146.
- Гительзон И. И. и др. О формах азотного питания хлореллы в условиях непрерывного культивирования. — В кн.: Управляемое культивирование микроводорослей. М.: Наука, 1964, с. 47—54.
- Гительзон И. И., Лисовский Г. М., Терсков И. А. О конкурентной способности культуры микроводорослей в сравнении с высшими растениями. — В кн.: Управляемый биосинтез. М.: Наука, 1966, с. 68—75.
- Гительзон И. И. и др. Изменения в скорости роста и химическом составе микроводоросли хлорелла, вызванные лимитированием биосинтеза биогенными элементами. — В кн.: Управляемый биосинтез. М.: Наука, 1966, с. 110—116.
- Гительзон И. И., Кузьмина Р. И., Базанова М. И. Потребность хлореллы в биогенных элементах и влияние их концентрации в фоновой среде на скорость биосинтеза. — В кн.: Непрерывное управляемое культивирование микроорганизмов. М.: Наука, 1967, с. 126—136.
- Глазачева И. В. Влияние разных режимов выращивания на продуктивность массовых культур микроводорослей. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1968. 25 с.
- Голлербах М. М. Водоросли, их строение, жизнь и значение. М.: Изд. Моск. об-ва исп. природы, 1951. 180 с.
- Горюнова С. В., Овсянникова М. Н. О методах выделения из природы активных штаммов хлореллы. — Микробиология, 1962, т. 31, № 3, с. 520—525.

- Горюнова С. В., Насонова М. В. Явление сезонной периодичности роста и развития у одноклеточных зеленых водорослей. — Микробиология, 1955, т. 24, № 2, с. 193—198.
- Грыцык Б. Оборудование для массового культивирования водорослей под открытым небом. — В кн.: Материалы 4-го коорд. собрания и научно-го симпозиума по теме VI—5,5 СЭВ. Краков, 1966, с. 36—39.
- Грыцык Б. Опыт замещения концентрированных кормов в кормлении молочных коров загущенной суспензией хлореллы. — В кн.: Материалы 4-го коорд. собрания и научно-го симпозиума по теме VI—2,5 СЭВ. Краков, 1966, с. 52—56.
- Гришина Г. С. Применение амперметрического метода для определения обмена кислорода у водных растений и суспензии хлоропластов. — В кн.: Биофизические методы в физиологии растений. М.: Наука, 1971, с. 34—43.
- Гусева К. А. Действие марганца на развитие водорослей. — Микробиология, 1937, т. 6, № 3, с. 292—307.
- Гусева К. А. Методы эколого-физиологического исследования водорослей. — В кн.: Жизнь пресных вод СССР. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1956, т. 4, с. 122—159.
- Девятин В. А. Методы определения витаминов. М.: Пищепромиздат, 1954. 64 с.
- Девятин В. А. Методы химического анализа в производстве витаминов. М.: Медицина, 1964. 83 с.
- Далецкая И. А., Чулановская М. В. Влияние температуры на рост и фотосинтез хлореллы. — Бот. журн., 1964, т. 49, № 8, с. 1147—1159.
- Заленский О. В. Фотосинтез растений в естественных условиях. — В кн.: Вопросы ботаники. М.; Л., 1954, вып. I, с. 61—73.
- Иерусалимский Д. Н. Принципы регулирования скорости роста микроорганизмов. — В кн.: Управляемый биосинтез. М.: Наука, 1966, с. 5—19.
- Кабирова И. Опыты по культивированию хлореллы на производственной жидкости Ташкентской шелкоматальной фабрики. — В кн.: О производственной культуре одноклеточных водорослей. Ташкент: Фан 1966, с. 123—131.
- Караваева Н. Н., Садыкова А. Ш. Влияние импульсного концентрированного солнечного света на содержание свободных аминокислот в сценедесмусе. — В кн.: Физиолого-биохимические аспекты культивирования водорослей и высших водных растений в Узбекистане. Ташкент: Фан, 1976, с. 77—81.
- Каримов Х. К. Сточные воды заводов первичной обработки кенафа. — В кн.: О производственной культуре одноклеточных водорослей. Ташкент: Фан, 1966, с. 113—123.
- Карпов В. Л. Применение зеленых одноклеточных водорослей для биосинтеза меченных аминокислот. — Всесоюзное совещание по культивированию одноклеточных водорослей: Тез. докл. Л.: Изд. ЛГУ, 1961, с. 67.
- Квитко К. В. Получение культур от отдельных клеток у хлореллы. — В кн.: Исследования по генетике. Л.: Изд. ЛГУ, 1961, № 1, с. 50—54.
- Клячко-Гурвич Г. Л. К вопросу о направленном биосинтезе белков, углеводов и липидов у хлореллы. — В кн.: Управляемый биосинтез. М.: Наука, 1966, с. 116—121.
- Клячко-Гурвич Г. Л., Семенов В. Е. Физиолого-биохимические аспекты направленного получения ценных метаболитов в условиях интенсивной культуры водорослей. — В кн.: Биология автотрофных микроорганизмов (Труды Моск. об-ва исп. природы). Изд. МГУ, 1966, т. 24, с. 154—159.
- Константинов А. С. Общая гидробиология. М.: Высшая школа, 1967. 428 с.
- Кордюм В. А. Перспективы массового выращивания водорослей в целях получения кормовой биомассы. — В кн.: Управляемый биосинтез. М.: Наука, 1966, с. 61—68.
- Кордуб Н. В. К вопросу о применимости металлизированной полимерной пленки для концентрации солнечной энергии. — ДАН УзССР, 1964, № 3, с. 18—20.

- Коршиков О. А. Визначник прісноводних водоростей Української РСР. 5. Підклас протококові. Київ, 1953, с. 253—276.
- Костина В. П. Результаты биохимических исследований *Chlorella vulgaris* и *Chlorella pyrenoidosa* при массовом культивировании в открытых бассейнах. — В кн.: О производственной культуре одноклеточных водорослей. Ташкент: Фан, 1966, с. 59—65.
- Красножен С. В., Антонюк М. П., Терсков И. А. Влияние концентрации CO_2 в подаваемом воздухе на интенсивность биосинтеза при непрерывном культивировании микроводорослей. — В кн.: Непрерывное управляемое культивирование микроорганизмов. М., 1967, с. 137—139.
- Курсанов Л. И., Комарницкий А. Н. Курс низших растений, М., 1947, с. 3—487.
- Лебедева Е. К. и др. Опыт культивирования хлореллы на минерализованных биологическим путем продуктах жизнедеятельности человека. — В кн.: Проблемы создания замкнутых экологических систем. М.: Наука, 1967, с. 102—107.
- Лебедев С. И. Фотосинтез. Киев: Наукова думка, 1961, 145 с.
- Лисовский Г. М. и др. Выращивание водорослей на среде из выделений уток. — В кн.: Проблемы создания замкнутых экологических систем. М.: Наука, 1967, с. 44—51.
- Линькова Е. А. Изучение морфологических фаз в жизненном цикле синхронной культуры хлореллы. — В кн.: Управляемый биосинтез. М., 1966, с. 140—144.
- Ляхнович Я. П. и др. Рост и накопление пигментов у хлореллы на среде Тамия с добавлением картофельного сока. — Ботаника. Минск, 1967, вып. 9, с. 70—74.
- Макотро В. Г. и др. Рекомендации по производству и эффективному использованию хлореллы при откорме скота. Ташкент: УЗИНТИ, 1970, с. 3—18.
- Маслов Ю. И., Пиневич В. В. Влияние условий азотного питания на биохимический состав клеток. — В кн.: Материалы 4-го коорд. собрания и научного симпозиума по теме VI—5,5 СЭВ. Краков, 1966, ч. 19—23.
- Махамадбеков С. М., Хаитова Л. Т. Продуктивность хлореллы и перспективы ее использования в хозяйственных целях. — В кн.: Физиология растений — сельскому хозяйству. Душанбе: Изд-во АН ТаджССР, 1965, с. 55—63.
- Махамадбеков С. М. Опыты массовой культуры протококковых водорослей в условиях Таджикистана. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Душанбе, 1966, с. 3—15.
- Мелешко Г. И. К вопросу о повышении фотосинтетической продуктивности хлореллы для биологической регенерации воздуха. — В кн.: Проблемы космической биологии. М.: Наука, 1964, т. 3, с. 410—413.
- Мелешко Г. И. Некоторые характеристики популяции хлореллы как звена замкнутой экологической системы. — В кн.: Проблемы создания замкнутых экологических систем. М.: Наука, 1967, с. 73—78.
- Мелешко Г. И., Красотченко Л. М. Условия углеродного питания хлореллы в интенсивной культуре. — В кн.: Проблемы космической биологии. М.: Наука, 1965, т. 4, с. 676—682.
- Милоградова Е. И., Худайбердыева Р. Опыт культивирования *Chlorella pyrenoidosa* Chien, *Chlorella vulgaris* Beijer. — Узб. биол. ж., 1961, № 5, с. 36—39.
- Милоградова Е. И. и др. К методике массового культивирования хлореллы. — Узб. биол. ж., 1963, № 3, с. 38—41.
- Милоградова Е. И., Музафаров А. М. Массовое культивирование хлореллы в Узбекистане и использование в народном хозяйстве. — В кн.: О производственной культуре одноклеточных водорослей. Ташкент: Фан, 1966, с. 9—45.
- Милоградова Е. И., Бердыкулов Х. А. Влияние температуры и интенсивности освещения на фотосинтез (*Chlorella pyrenoidosa* Chick.)

- в установках под открытым небом. — В кн.: Дикорастущие и вводимые в культуру растения Узбекистана. Ташкент: Фан, 1966, с. 5—10.
- Милько Е. С. Влияние освещенности и температуры на пигментообразование *Dunaliella salina*. — Микробиология, 1963, т. 32, № 4, с. 590—597.
- Михайлова Е. К. Методика получения бактериологически чистых культур синезеленых водорослей из родов *Oscillatoria* и *Phormidium*. — Узб. биол. журн., № 4, 10, 1961, с. 10—14.
- Мошкова Н. А., Бернштейн А. Ф. Массовое культивирование хлореллы на отходах бродильных производств поверхностным способом при солнечной радиации (рекомбинация). Киев: Изд-во АН УССР, 1967, с. 3—51.
- Музафаров А. М. Флора водорослей водоемов Средней Азии. Ташкент: Наука, 1965. 544 с.
- Музафаров А. М. и др. Опыт культивирования хлореллы в Узбекистане. — Узб. биол. ж., 1961, № 3, с. 16—21.
- Музафаров А. М., Милоградова Е. И. Массовое культивирование хлореллы в Узбекистане и ее использование в народном хозяйстве. — В кн.: Изучение интенсивной культуры водорослей. (3 коорд. совещ. по проблеме 9,9 СЭВ). Прага, 1965, с. 106—114.
- Музафаров А. М., Милоградова Е. И. Массовое культивирование хлореллы. Ташкент: УЗИНТИ, 1965, с. 3—16.
- Музафаров А. М., Таубаев Т. Т. Массовое культивирование хлореллы и ее использование в животноводстве. Ташкент: Фан, 1968, с. 3—18.
- Музафаров А. М. и др. Хлорелла — ценный витаминный корм для домашней птицы. — Узб. биол. ж., 1969, № 2, с. 34—36.
- Музафаров А. М., Таубаев Т. Т., Талипов К. А. Массовое культивирование хлореллы с использованием продуктов сгорания природного газа в промышленных котельных. Ташкент: Фан, 1970. 11 с.
- Музафаров А. М., Таубаев Т. Т. Хлорелла (методы массового культивирования и применения). Ташкент: Фан, 1974. 121 с.
- Музафаров А. М. и др. Культивирование микроводорослей на сточных водах — эффективный способ получения их дешевой биомассы и биологической очистки воды от загрязнения. — Тез. докл. Л.: Б. и., 1974, с. 32—33.
- Музафаров А. М. и др. Применение суспензии протококковых водорослей при выкормке гусениц тутового шелкопряда. — В кн.: Алгофлора и микрофлора Средней Азии. Ташкент: Фан, 1976, с. 177—182.
- Накура Х. Хлорелла как корм для домашних животных и птиц. М.: ИЛ, 1964. 23 с.
- Нескубо П. М. Хлорелла повышает привес скота. — Сельское хозяйство Узбекистана, 1965, № 6, с. 53—55.
- Нескубо П. М., Селяметов Р. А. Эффективность применения хлореллы при откорме бычков на хлопчатниковых кормах. — В кн.: Обогащение биостимуляторами рационов сельскохозяйственных животных и птиц. Ташкент: УЗИНТИ, 1968, с. 9.
- Нескубо П. М. Применение суспензии хлореллы в качестве биологического стимулятора при откорме скота в откормочных хозяйствах Узбекистана. — В кн.: О производственной культуре одноклеточных водорослей. Ташкент, 1966, с. 103—107.
- Ничипорович А. А. О производственной культуре одноклеточных водорослей. М.: Знание, 1961, с. 3—40.
- Ничипорович А. А. Фотосинтез и урожай растений. М.: Наука, 1966. 46 с.
- Ничипорович А. А., Владимирова М. Г., Семененко В. Е. Интенсификация фотосинтетической продуктивности культуры одноклеточных водорослей. — Изв. АН СССР. Сер. биол., 1962, № 2, с. 163—172.
- Омелянский В. Л. Практическое руководство по микробиологии. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1940. 427 с.
- Паламарь-Мордвинцева Г. М., Костлан Н. В. О явлениях, сопровождающих культуру хлореллы при выращивании ее на мочеvine. — Укр. бот. ж., 1964, т. 21, с. 36—42.

- Паламарь-Мордвинцева Г. М., Костлан Н. В. Влияние различных источников азота на развитие и образование белка у хлореллы. — Укр. бот. ж., 1965, т. 23, № 4, с. 96—100.
- Перт Д. Ж. Основы культивирования микроорганизмов и клеток. М.: Мир, 1978, 257 с.
- Пиневич В. В., Верзилин Н. Н. Культура одноклеточных водорослей для производственных целей. Кормовые белки и биостимуляторы для животноводства. — Сб. работ по получению кормовых веществ при помощи массовых культур микроорганизмов. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1961, с. 96—102.
- Пиневич В. В., Верзилин Н. Н. Культивирование протококковых водорослей в установках под открытым небом. — Вестник ЛГУ. Сер. биол., 1963, т. 15, № 3, с. 75—97.
- Пиневич В. В., Верзилин Н. Н., Степанов С. И. Типовая установка для массового культивирования одноклеточных водорослей. — Физиология растений, 1964, т. 11, вып. 6, с. 1084—1089.
- Пиневич В. В. и др. Некоторые вопросы регулирования минерального питания одноклеточных водорослей в условиях массового культивирования. — В кн.: Теоретические основы регулирования минерального питания растений. М.: Наука, 1964, с. 15—17.
- Пиневич В. В. и др. Итоги трехлетних опытов по массовому культивированию хлореллы под открытым небом. — В кн.: Изучение интенсивной культуры водорослей. (3 коорд. совещ. по проблеме 9,9 СЭВ), Прага, 1965, с. 15—26.
- Попондопуло П. Х. Методика определения каротина в кормах. — Труды ВНИИЖ. М.: Сельхозгиз, 1969, т. 16, с. 74.
- Прянишников Д. Н. Об удобрении полей и севооборотах. — Избранные статьи. М., Наука, 1962, 254 с.
- Рабинович Ч. Е. Фотосинтез, т. 2. М.: ИЛ, 1963. 600 с.
- Рахимов А. Р., Якубов Х. Ф. О некоторых биохимических свойствах штаммов хлореллы и сценедесмуса, выращенных в различных условиях питания. — В кн.: Культивирование водорослей и высших водных растений в Узбекистане. Ташкент: Фан, 1971, с. 47—51.
- Риффо К. Будущее — океан. Л.: Гидрометеиздат, 1978, 271 с.
- Русина О. Н. Массовое культивирование хлореллы при различных способах перемешивания. — Всес. совещ. по культивированию одноклеточных водорослей. (Тезисы докл.) Л.: Изд. ЛГУ, 1961, с. 10.
- Русина О. Н. Простейшая техника лабораторного выращивания хлореллы. — Биология в школе, 1964, № 2, с. 38—39.
- Садикова Г. И., Гительзон И. И., Терсков И. А. Азот питательной среды как фактор управления биосинтезом хлореллы. — В кн.: Непрерывное управляемое культивирование микроорганизмов. М.: Наука, 1967, с. 113—136.
- Сальникова М. Я. Изучение кормовых достоинств хлореллы и методов ее массового культивирования. Автореф. дис... канд. биол. наук. Казань, 1966. 18 с.
- Сальникова М. Я. Хлорелла — новый вид корма. М., 1977. 87 с.
- Сапожников Д. И. и др. Количественное определение пигментов зеленого листа с помощью бумажной хроматографии. — Физиол. раст., 1956, т. 3, вып. 5, с. 487—489.
- Сейфулина Л. Я., Енилеев Х. Х., Шахов А. А. Светимпульсное облучение семян, продуктивность и водный режим хлопчатника. — В кн.: Светимпульсное облучение растений. М., 1967, с. 173—177.
- Селяметов Р. А. Рекомендация по применению витаминных кормов в животноводстве Узбекистана. Ташкент: УЗИНТИ, 1968, 14 с.
- Селяметов Р. А., Якубов Х. Ф. К изучению витаминного состава хлореллы и сценедесмуса. — В кн.: Культивирование водорослей и высших водных растений в Узбекистане. Ташкент: Фан, 1971, с. 59—60.
- Семененко В. Е. и др. Зависимость роста, продуктивности и интенсивности фотосинтеза хлореллы от концентрации CO_2 в газовой смеси и ко-

- эффicientа вентиляции культуры. — В кн.: Управляемый биосинтез. М.: Наука, 1966, с. 128—136.
- Семененко В. Е. Внутриклеточная регуляция и управление биосинтезом микроводорослей. Автореф. дис. ... докт. биол. наук. М., 1975. 27 с.
- Семененко В. Е., Владимиров М. Г., Попова М. А. К вопросу о выращивании культуры хлореллы в условиях импульсного света. — Физиол. раст., 1960, вып. 4, с. 459—465.
- Сиренко Л. А., Гавриленко М. Я. Цветение воды и евтрофирование. Киев: Наукова думка, 1978, 230 с.
- Сисакян Н. М. и др. Некоторые проблемы изучения и освоения космического пространства. — В кн.: Проблемы космической биологии. М.: Наука, 1962, т. 1, с. 5—16.
- Смирнов Н. Н. Влияние различных химических режимов на развитие кормовых-протококковых водорослей. — Труды Моск. техн. ин-та рыбной пром. и хоз., 1955, вып. 7, с. 102—132.
- Смирнов Н. Н. Зеленые водоросли — источник органических кормов. — В кн.: Производство белковых кормов. М.: Сельхозгиз, 1959, с. 195—198.
- Смирнов И. В. Использование оптимальных температурных режимов термофильного штамма хлореллы. — ДАН СССР, 1966, № 6, с. 1405—1408.
- Сорокин Ю. И. Определение продукции фотосинтеза фитопланктона в рыбном водохранилище при помощи C^{14} . — В кн.: Проблемы фотосинтеза. М.: Наука, 1959, с. 400—408.
- Спектров К. С. Краткий обзор основных исследований, проведенных на синхронных культурах одноклеточных зеленых водорослей в Советском Союзе. — Изучение интенсивной культуры водорослей. Прага, Б. и., 1965, с. 220—230.
- Спектров К. С., Линькова Е. А. О новом упрощенном методе синхронизации культур хлореллы. — ДАН СССР, 1962, т. 147, № 4, с. 967—969.
- Степанова А. М. Влияние светового фактора на рост и фотосинтез хлореллы. — Вестник Ленингр. ун-та. Сер. биол., т. 21, вып. 4, 1963, с. 72—85.
- Станко С. А., Зенченко В. А. Влияние предпосевного облучения семян ячменя импульсным концентрированным солнечным светом на скорость проростков и некоторые процессы обмена веществ. — В кн.: Светоимпульсное облучение растений. М., 1967, с. 109—118.
- Супрун Т. П. Стимулирующее действие экстрактов грибов по отношению к водоросли *Sc. obliquus*. — Научн. докл. высшей школы. (Биол. науки), 1965, № 4, с. 189—192.
- Тагаева С. В., Коршунова В. С., Михневич М. Л. Рост и развитие культуры *Chlorella rupeoidosa* Pringsh.-82-T в зависимости от формы азотного питания. — В кн.: Проблемы создания замкнутых экологических систем. М.: Наука, 1967, с. 78—90.
- Таубаев Т. Т., Худайбердыева Р., Якубов Х. Ф. О методах выделения новых штаммов водорослей из природы и их хранения в коллекционных культурах. — В кн.: Спорные растения Средней Азии. Ташкент: Фан, 1969, с. 99—103.
- Таубаев Т. Т., Нескубо П. М. Применение суспензии хлореллы при откорме крупного рогатого скота хлопчатниковыми кормами. — В кн.: Культивирование водорослей и высших растений в условиях Узбекистана. Ташкент: Фан, 1971, с. 51—55.
- Таубаев Т., Буриев С. Биологическая очистка сточных вод. Ташкент: Фан, 1980, с. 151.
- Тагаева С. В., Брандт А. Б., Коршунова В. С. Оптические свойства суспензии *Chl. rupeoidosa*. — Биофизика, 1961, т. 6, вып. 5, с. 572—581.
- Ткачев И. Ф. Хлорелла — источник белка и витаминов. — Сельскохозяйственное производство Северного Кавказа и ЦЧО, 1965, № 4, с. 42.
- Ткачев И. Ф. Хлорелла — биологический стимулятор роста животных. — Вестник сельскохозяйственных наук, 1966, № 3, с. 81—86.
- Тимирязев К. А. Избранные работы по хлорофиллу и усвоению света растением. М., 1948. 347 с.

- Трухин Н. В. Влияние температуры на световой оптимум роста хлореллы. — ДАН СССР, 1963, т. 149, № 6, с. 1450—1452.
- Трухин Н. В. К определению скорости фотосинтеза водорослей кислородным методом. — В кн.: Лучистые факторы жизни водных организмов. Л.: Наука, 1967, с. 3—9.
- Трухин Н. В., Микрякова Т. Ф. Влияние температуры и интенсивности света на направленность термофильного штамма хлореллы. — Физиол. раст., 1969, т. 16, вып. 6, с. 1002—1007.
- Умаров Г. Я. и др. Методика облучения хлореллы импульсным концентрированным солнечным светом. — Гелиотехника, 1969, № 4, с. 62—65.
- Умбрейт В. В., Бурис Р. Х., Штуффер Д. Р. Манометрические методы изучения тканевого обмена. М., 1951. 347 с.
- Успенский Е. Е. Марганец в растениях. — В кн.: Физико-химические условия среды как основы микробиологических процессов. М.: Изд-во АН СССР, 1963, с. 286.
- Успенская В. И. Экология и физиология питания пресноводных водорослей. — Курс лекций для студентов биол. факультетов Государственных университетов, М.: Изд. МГУ, 1963—1966, с. 3—116.
- Черенкова Е. П., Ефимова Т. П. Опыт использования хлореллы для микробиологических целей. — Всес. совещ. по культивированию одноклеточных водорослей. (Тез. докл.). Л.: Изд. ЛГУ, 1961, 72 с.
- Чесноков В. А., Пиневич В. В., Верзилин Н. Н. Массовое выращивание одноклеточных водорослей. — Сельское хозяйство Северо-Западной зоны, 1959, т. 12, с. 113—122.
- Шавельзон Р. А., Потехина Н. А. Метод первичного отбора продуктивных штаммов хлореллы. — Генетика, 1965, № 5, с. 65—67.
- Шапошников В. Н. и др. О сезонной периодичности развития зеленых водорослей в лабораторных условиях. — Микробиология, 1964, т. 33, вып. 2, с. 221—223.
- Шаркань П. Сельское хозяйство будущего. М.: Колос, 1975, 264 с.
- Шахов А. А. Некоторые биофизические и биохимические аспекты действия фотоимпульсов. — В кн.: Светоимпульсное облучение растений, М.: Наука, 1967, с. 11—33.
- Шахов А. А. Теоретические аспекты преобразования световой энергии в импульсном режиме. — В кн.: Светоимпульсная стимуляция растений. 1971, М.: Наука, с. 9—44.
- с. 145—210.
- Школьник М. Я. Значение микроэлементов в жизни растений и земледелии. М.: Изд-во АН СССР, 1950. 480 с.
- Школьник М. Я. Значение микроэлементов в жизни растений и земледелии Советского Союза. М.: Наука, 1963, с. 85.
- Щелокова С. С., Султанова И. Г. Микробиологические и биохимические процессы при силосовании кукурузы совместно с хлореллой. — В кн.: О производственной культуре одноклеточных водорослей. Ташкент: Фан, 1966, с. 81—84.
- Эргашев А. Э. Определитель протококковых водорослей Средней Азии. Ташкент: Фан, 1979.
- Allen M. B. The cultivation of Mxophyceae. — Arch. Microbiol., 1952, v. 9, p. 17.
- Bialecki A. Comparative feasibility and logist of oxygen. — Preprint 7th Ann. Meet. Amer. Astronaut. Soc., 1961, v. 7, p. 25.
- Björkman L. et. al. Experiments on the culture of Chlorella for food purposes. — Acta Polytechn., Ser., Chem., 1955, v. 4, N 10, p. 18.
- Brackett F. S., Olson R. A., Crickard R. C. Transients in O₂ evolution by Chlorella in light and darkness. I. Phenomena and methods — Res. Photosynthesis. New York—London. Interscience, 1957, p. 412—418.
- Champigny M. Etude de la croissance d'algues monocellulaires en cultures accélérées (Chlorelles et espèces voisines). IV. Variations de la composition en acides aminés de Chlorella pyrenoidosa, selon la nature de l'aliment azoté. — J. rech. Centre nat. rech. sci., 1957, N 38, p. 217—221.

- Combs G. F. The amino acid composition of *Chlorella pyrenoidosa*.— *Science*, 1952, v. 116, p. 317—322.
- Combs G. F. Algae (*Chlorella*) as a source of nutrients for the chick.— *Science*, 1957, v. 116, p. 453—454.
- Davis C. A. A preliminary report on the effects of indolacetic acid and gibberellic acid upon the growth of planktonic algae under semi-field conditions.— *Verein. theoret. and angew. Limnol.*, 1964, v. 15, N 2, p. 410—412.
- Davis E. A. et. al. Laboratory experiments on *Chlorella* culture at the Carnegie institution of Washington department of plant biology.— *Carnegie inst. of Washington*, publ. 600, 1953, p. 105—153.
- Evenari M., Mayer A. M., Gottesmen E. Experiments on culture of algae in Israel.—*Carnegie inst. of Washington*, publ. 600, 1953, p. 197—203.
- Fogg E. C. Relationships between metabolism and growth in Plankton algae.— *J. Gen. Microbiol.*, 1956, N 1, p. 16—19.
- Fowden L. The composition of the bulk proteins of *Chlorella*.— *Biochem. Journ.*, 1952, v. 50, N 3, p. 355—358.
- Geoghegan M. I. Experiments with *Chlorella* at Jealotts Hill.— *Carnegie inst. of Washington*, publ. 600, 1953, p. 182—189.
- Gummert F. Nonsterile large-scale culture of *Chlorella* in greenhouse and open air in Algal culture from Laboratory to Pilot Plant.— *Carnegie inst. of Washington*, publ. 600, Washington DC., 1953, p. 166—176.
- Hase E. et. al. The role of sulphur in the cell division of *Chlorella*.— *Arch. Microbiol.*, 1958, v. 31, N 1, p. 224—230.
- Hase E. et. al. Role of sulphur in the cell division of *Chlorella*. Studies by the technique of synchronous culture.— *Biochem. et Biophys. Acta*, 1959, v. 35, N 1, p. 330—336.
- Ichimura S. On the photosynthesis of natural Photoplankton under field conditions. *Bot. Mag., Tokyo*, 1956, 71, N 837, p. 110—116.
- Jorgensen I., Convit I. Cultivation of complexes of algae with other freshwater microorganisms in the Tropics.— *Carnegie inst. of Washington*, publ. 600, 1953, p. 190—195.
- Kanazawa T. et. al. Mass culture of unicellular algae using the open circulation method.— *J. Gen. Appl. Microbiol.*, 1958, v. 4, N 3, p. 135—152.
- Krauss R. W. Mass culture of algae for food and other organic compounds.— *Amer. Journ. Botany.*, 1962, v. 49, N 4, p. 425—435.
- Krauss R. W., Specht A. W. Nutritional requirements and yields of algae in mass culture.— *Transactions of the international Conference on the use of Solar energy. Photochemical processes. Tucson, Ariz., Univ. Arizona Press*, 1958, v. 4, p. 12—27.
- Little A. D. Pilot-plant studies in the production of *chlorella*.— *Carnegie inst. of Washington*, publ. 600, 1953, p. 235—272.
- Lorensen A. Die photosynthetische Sauerstoffproduktion wachsender *Chlorella* bei langfristig intermittieren der belichtung.— *Flora*, 1959, Bd. 147, N 3, s. 382—404.
- Lorensen H. Temperature in flüsse auf *Chlorella pyrenoidosa* unter besonderes Berücksichtigung der Sellen-Wicklung.— *Flora*, 1963, Bd. 153, N 4, s. 554—592.
- Mayer A. M., Eisenberg A., Evenari M. Studies on the deep mass culture of algae in Israel in *Trans. Conf. on the use of Solar energy.— The Scientific Basis. IV* (Edited by Carpenter E. F.), PP. The Univ. Arizona Press, Tucson, Az., 1958, p. 1—8.
- Milner H. W. The chemical composition of algae.— In: *Algae culture from laboratory pilot-plant*. Edited by J. Burlew. 1953, p. 285—302.
- Minami K. Industrialization of edible *chlorella* in Japan.— *Reports from the Japan Micro algae research Institute Tokyo*, 1959, p. 1—8.
- Mituya A., Nyunoya T., Tamiya H. Pre-pilot-plant experiments on algae mass culture.— *Carnegie inst. of Washington*, publ. 600, 1953, p. 273—281.
- Moyse A. Etude dela croissance d'alguse monocellulaires (*Chlorelles* et espe-

- ces voisines en cultures accelerees).—III Report sur les essais de cultures de Chlorella a siel. ouvert.— J. Rech. C.N.P.S., n° 36, 1956, p. 261—269.
- Myers J. Growth characteristics of algae in relation to the problems of mass culture.— In: Algae culture from laboratory to pilot plant. Edited by I. S. Burlew, Carnegie inst. of Washington, publ. 600, 1953, p. 200—214.
- Nakamura H. Report on the present situation of the Microalgae Research institute of Japan.— Reports from the Microalgae research institute of Japan, 1961, v. 2, N 1, p. 1—12.
- Nakamura H. Chlorella feed for animal husbandry.— Published by International Chlorella Union. Tokyo, Japan, 1964, p. 81.
- Oswald W. I. et. al. Algae symbiosis in oxydation ponds.— II. Growth characteristic of Chlorella pyrenoidosa cultured in sewage. Sewage and Industr. Wasstes, 26, 1953, p. 26—37.
- Oswald W. I. et. al. Water reclamation, algal production and methane fermentation in waste ponds.— Int. J. Air Wat. Pool. 1963, p. 26—44.
- Pirson A., Lorensen H. Photosynthetische sauerstoffentwicklung von Chlorella nach Synchronisation durch. Lichg. Dunkel—Wechsel.—Naturwissenschaften, 1958, Bd. 45, N 20, s. 497.
- Pirson A., Senger H. Synchronisation tufen bei Chlorella in Licht—Dunkel—Wechsel.— Naturwissenschaften, 1961, Bd. 48, N 3, s. 81.
- Sorokin C. Changes in photosynthetic activity in the course of cell development in Chlorella.—Physiol. plantarum., 1957, v. 10, N 4, p. 659—666.
- Sorokin C. Injury and recovery of photosynthesis in cell of sucelssive developmental stages the effect of light intensity.— Physiol. Plantarum., 1960, v. 13, N 4, p. 687—700.
- Spoehr H. A. Chlorella as a source of food.— Proc. Amer. Phylos. Soc. 1951, v. 95, p. 62—67.
- Spoehr H. A., Milner H. W. The chemical composition of Chlorella. Effect of environmental conditions.— Plant. Physiol., 1949, v. 24, N 1, p. 120—147.
- Tamiya H. Role of algae as food.— Reports from Japan Microalgae research Inst., 1959, v. 1, N 1, p. 9—23.
- Tamiya H. et. al. Effect of diurnally intermittent illumination on the growth and some cellular characteristics of Chlorella.— Garnegie inst. of Washington, publ. 600, 1953, p. 76—84.
- Wassink E. C., Kok B., Oorschot J. L. P. The efficiency of linght energy conversion in Chlorella cultures as compared with higher plants.— Carnegie inst. of Washington, publ. 600, 1953, p. 55—62.

А. М. Музафаров, Т. Т. Таубаев

**КУЛЬТИВИРОВАНИЕ
И ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ**

Утверждено к печати

Ученым советом Института микробиологии

Отделением биологических наук АН УзССР

Редактор *Т. А. Шур*

Художник *А. М. Расулев*

Технический редактор *Х. У. Бабамухамедова*

Корректор *Т. В. Кормушина*

ИБ № 3025

Сдано в набор 4.06.84. Подписано к печати 22.06.84. P02926. Формат 60×90^{1/16}. Бумага типографская № 1. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 8,5. Уч.-изд. л. 9,3. Тираж 1100. Заказ 125. Цена 1 р. 40 к.

Издательство «Фан» УзССР, Ташкент, 700047, ул. Гоголя, 70.

Типография Издательства «Фан» УзССР, Ташкент, проспект М. Горького, 79.

Выходит из печати

Г. Хамидов, Ш. Камалов,
З. А. Майлун и др. **Растительный
покров Узбекистана и пути его ра-
ционального использования. Т. 4.**

В IV, завершающем, томе справочного издания охарактеризована растительность гор и высокогорий, отличающаяся большим разнообразием сообществ. Описаны биология, экология, география и фитоценология эдификаторов, распространение их сообществ, освещен вопрос о происхождении основных формаций и типов растительности, способах их охраны. Обобщен материал по хозяйственному значению различных типов растительности.

Для ботаников, географов, почвоведов, специалистов сельского хозяйства.

Выходит из печати

С. С а л и х о в. Красильные растения для пищевой промышленности (ремерия отогнутая и шток-роза розовая).

В монографии описаны пищевые, красильные, а также антоциансодержащие растения флоры Узбекистана. Приведены данные о росте и развитии перспективных красильных растений — ремерии отогнутой и шток-розы розовой, методы их культивирования с целью создания сырьевой базы для промышленного получения красителей, способы получения красящих веществ, физико-химические константы красителей.

Для ботаников-ресурсоведов, специалистов сельского хозяйства, преподавателей биологии, а также работников пищевой промышленности.

*Заявки следует направлять
по адресу:*

Ташкент, 700129, Навои, 30, Узбекское объединение книжной торговли.