

К.М.Сытник, Н.П.Масюк, Н.В.Кондратьева, С.П.Вассер

Институт ботаники им.Н.Г.Холодного АН УССР, Киев

АЛЬГОЛОГИЯ НА ПУТИ В ТРЕТЬЕ ТЫСЯЧЕЛЕТИЕ

Третье тысячелетие нашей эры — это восьмое тысячелетие в истории человеческой цивилизации и только третье столетие в истории альгологии как науки. Какое же место призвана занять молодая альгологическая наука в жизни человечества, вступающего в новое тысячелетие, в жизни социалистического общества, завершающего свое первое столетие?

Решение масштабных и сложных задач, выдвинутых XXVII съездом КПСС, предполагает целенаправленное использование всей творческой мощи науки в интересах ускорения социально-экономического развития страны, преодоление инерции изживших себя подходов, утверждение атмосферы творческого поиска, решительного поворота к потребностям практики. "Важный фактор этого процесса сегодня — политическая ответственность, четко организованная работа по увеличению практического вклада науки в реализацию решений XXVII съезда КПСС, успешное претворение в жизнь стратегии ускорения" (Патон, 1986, с.29).

Еще 30–40 лет назад водоросли были объектом исследования сравнительно немногих ученых-энтузиастов, привлеченных не столько перспективами их практического использования, сколько их неизведанностью, причудливым разнообразием и неповторимым своеобразием, нередко безупречным художественным совершенством линий и форм. Лишь в течение последних десятилетий альгология совершила огромный качественный скачок, выдвинувший ее в ряды актуальнейших наук современности. Совсем недавно стало осознаваться непреходящее научно-методологическое значение водорослей — этих нередко "живых ископаемых", осколков давно исчезнувших с лица Земли флор, "живых свидетелей" эволюции органического мира, — в познании путей и закономерностей его эволюции, в воссоздании научной картины мира. Осознано естественно-историческое значение водорослей в развитии жизни на нашей планете, возникновении кислородной атмосферы, обусловившей доминирование аэробных форм жизни в современной биосфере, развитии растительного мира, возникновении эукариотической клетки, положившей начало разнообразному и вездесущему царству эукариот (Горюнова и др., 1969; Гусев, Гохлернер, 1980; Маргелис, 1983). Не менее важна роль водорослей в современных экосистемах нашей планеты, их место в круговороте веществ, вклад в продукционные процессы, особенно в водных экосистемах (Винберг, 1960; Сиренко, Гавриленко,

1978; Приймаченко, 1981; и др.), их значение в процессах почвообразования, повышения почвенного плодородия, изменения структуры почвы (Голлербах, Штина, 1969; Штина, Голлербах, 1976). Исследования последнего времени открыли широкие перспективы практического использования водорослей в хозяйственных целях. В настоящее время водорослям отводят важную роль в решении ряда глобальных проблем, волнующих все человечество, в том числе продовольственной, энергетической, охраны окружающей среды, освоения космического пространства, недр Земли, богатств Мирового океана, новых источников промышленного сырья, строительных материалов, фармацевтических препаратов, биологически активных веществ, новых объектов биотехнологии (Культивирование и применение..., 1980, 1984; Дилов, 1985; Промысловые водоросли..., 1981; Thomas, 1982; Нооре, 1982; Сиренко, Паршикова, 1985; Масюк, 1986 б и др.).

Наиболее важной из них является проблема охраны окружающей среды. Человечество вступило в новую эру своего существования, когда потенциальная мощь создаваемых им средств воздействия на среду обитания становится соизмеримой с могучими силами природы. Это внушает не только гордость, но и опасения, ибо чревато последствиями, которые могут привести к уничтожению цивилизации и даже всего живого на Земле. Поэтому перед всеми, кто ответственен за научно-технический прогресс и использование его достижений в практических целях, встало объективное требование: учитывать уязвимость природной среды, не допускать превышения ее "пределов прочности", глубже вникать в суть свойственных ей сложных взаимосвязанных явлений, не вступать в противоречие с естественными закономерностями, чтобы не вызвать необратимых процессов.

Проблема окружающей среды имеет три основных аспекта: загрязнение, нарушение экологического равновесия, истощение природных ресурсов. В вопросах охраны окружающей среды от загрязнения водорослям принадлежит двойная роль. С одной стороны, наряду с другими микроорганизмами, они широко используются как показательные (индикаторные) организмы при экологическом мониторинге. Химическая промышленность выпускает десятки тысяч разнообразных препаратов, ассортимент которых неуклонно возрастает. Установить контроль за их содержанием в окружающей среде химическими методами практически невозможно. Кроме того, физико-химические методы индикации состояния окружающей среды не дают непосредственного ответа на вопрос о возможном отклике экосистемы на те или иные загрязнения. Поэтому большое значение приобретают методы биологического анализа вод, почв и воздуха, в системе которых водоросли, благодаря стенотопности многих видов, их высокой чувствительности к условиям окружающей среды, играют важную роль (Méthodes..., 1976; Унифицированные методы..., 1977 и др.). Морские водоросли — удобный тест-объект при исследовании загрязнения моря, в том числе нефтяного и радиоактивного (Bonotto et al., 1977 и др.). Водоросли используются также для определения степени загрязненности почвы пестицидами

и другими токсическими веществами (Маторин и др., 1975 и др.), определения направления антропогенных изменений почвы (Штина, Некрасова, 1985), состояния нарушенных земель (Штина, 1985).

В связи с тем, что индикаторное значение многих видов водорослей нередко зависит от условий их произрастания, в настоящее время признано необходимым учитывать не только наличие конкретных видов-индикаторов сапробности воды, но и их численность, соотношение с другими видами в данной экосистеме (Унифицированные методы..., 1977). Необходимы и другие дополнительные показатели, позволяющие более дифференцированно подходить к использованию конкретных видов водорослей в качестве индикаторов. В частности, целесообразно учитывать данные о состоянии популяций видов-индикаторов (особенности их возрастных и морфологических спектров, частоту встречаемости уродливых структур и др.) Некоторые аномальные структуры, обнаруженные в лабораторных культурах синезеленых водорослей после их острого γ -облучения, можно, например, рассматривать в качестве симптома радиационного заболевания (Кондратьева и др., 1986). По-видимому, в дополнение к существующему атласу сапробных организмов необходимо создать специальный атлас морфологических уродств — показателей загрязнения окружающей среды, которым могли бы пользоваться работники санитарно-гигиенических служб. Разработка тестов морфологического контроля состояния популяций водорослей — один из реальных путей совершенствования методов экологического мониторинга.

С другой стороны, водоросли являются активными агентами процессов самоочищения загрязненных естественных вод и доочистки сточных вод в биологических прудах. Роль их в этих процессах уникальна. Выдерживая присутствие органики, солей тяжелых металлов, радионуклидов и других веществ в дозах, токсических для других организмов, многие виды водорослей не теряют при этом способности к фотосинтезу, сопровождающемуся выделением кислорода, необходимого для бактериального окисления загрязняющих веществ, дыхания всех аэробных организмов, утилизирующих токсические инграденты загрязненной среды (Oswald, 1973; Винберг и др., 1966). Фотосинтез водорослей и бактериальный биосинтез — основные биологические процессы, обеспечивающие самоочищение природных вод и биологическую доочистку стоков. Фотогетеротрофные виды водорослей, кроме того, принимают непосредственное участие в утилизации некоторых органических соединений (глюкозы, сахаров, аминокислот, пептона, ряда органических фосфатов, нуклеиновых кислот, фенола, гексана, циклогексана, бензола, этанола, нефти и др.) (Walker et al., 1975; Viličić, 1979; Кузьменко, 1981; Wardas et al., 1983 и др.). Водоросли обладают высокой аккумулятивной способностью по отношению к тяжелым металлам и радиоактивным элементам (Морская радиоэкология, 1970; Haritonidis et al., 1983; Progress..., 1983; Mann, Fyfe, 1985 и др.). Выращивание их на сточных водах промышленных предприятий способствует очищению стоков от ионов Cd, Ni, Cu, Fe, Zn, Hg, Pb, U и др. (Oswald, 1973 и др.). Получены CN-устойчи-

вые мутанты некоторых штаммов зеленых водорослей с повышенной способностью разрушать цианиды в стоках промышленных предприятий (Пономарева и др., 1979). Выявлена прямая зависимость между нарастанием биомассы водорослей и степенью дезактивации сточных вод от P^{34} , I^{131} , Cs^{137} , Si^{90} , Ce^{141} (Кузнецов и др., 1968). Установлено, что отмершие клетки водорослей, как и живые, способны удерживать радиоактивные элементы, а в некоторых случаях процент десорбции из мертвых клеток ниже, чем из живых (Радиационная..., 1972).

Исследование альгофлоры загрязненных и сточных вод показало, что в ней доминируют зеленые (главным образом, хлорококкальные), эвгленофитовые, диатомовые и синезеленые водоросли (Матвиенко, 1967; Oswald, 1973; Гапочка, 1981; Олейник, 1985 и др.). Доказана возможность интенсификации с помощью водорослей процесса доочистки бытовых и промышленных сточных вод пищевой, текстильной, химической, угольной и металлургической промышленности, отходов птицефабрик, животноводческих комплексов и др. (Винберг и др., 1966; Oswald, 1973; Культивирование..., 1980, 1984; Martin et al., 1985 и др.). В биологических прудах, где производится доочистка сточных вод с помощью водорослей, количество выделяемого кислорода составляет до 100 т O_2 /га в год. Это позволяет очищать бытовые стоки поселка с населением 6–8 тыс. человек. Система уменьшает БПК и содержание фосфора на 93, азота — на 50 %. Продукция биомассы составляет до 100 т/га · год. Из них на водоросли приходится 60 т. Сухой остаток содержит 50 % кормового белка. Рост водорослей сопровождается повышением щелочности среды, отмиранием патогенных микроорганизмов (Shelef et al., 1978 и др.). На основании полученных данных разрабатываются специальные системы альготенков для очистки стоков (Цыганков и др., 1983). За счет функционирования водорослей очищают сточные воды сахарных заводов. На ряде предприятий осуществлен переход на циклическое использование воды; сточные воды служат питательной средой для получения полезной биомассы, обогащающей кормовые, промышленные и энергетические ресурсы (Холл, 1979). Такие предприятия — прообраз будущего безотходного производства.

Интенсивное культивирование водорослей на жидких средах может также способствовать очистке воздуха от выхлопных газов промышленных котельных и от таких высокотоксичных примесей, как сероводород и пары серной кислоты. Водоросли участвуют также в аккумуляции и детоксикации почвенных пестицидов (ордрама, изофоса, тордона, карбофурана, гексахлорциклогексана и др.) (Тодорова-Трифорова и др., 1979 и др.).

Наряду с широким использованием водорослей в целях охраны окружающей среды от загрязнения осознаны возможные негативные последствия их массового развития в естественных и искусственных биотопах и необходимость разработки надежных методов контроля над этими процессами. Биологическое загрязнение водоемов и водотоков, связанное с "цветением" воды ("Цветение" воды, 1968, 1969), "красные приливы" в морях, вызывающие отравление всего живого (Горюнова, Демина, 1974); зараста-

изменяющих проектов. Актуальным является создание государственных коллекций культур микроводорослей и банков их генов (Масюк, 1984б). Необходимо разработать критерии и составление списков редких и исчезающих видов водорослей, которые могут оказаться полезными при обосновании необходимости охраны какого-то конкретного участка территории или водоема (Seaward, 1981). Поскольку охране подлежат не отдельные экземпляры водорослей, а их популяции, необходимо специальное изучение этих популяций, их вегетационных циклов, географического распространения, зависимости от конкретных факторов окружающей среды (прежде всего антропогенных), их изменчивости с использованием математических методов и др.

Ошибочное, наивно-оптимистическое представление о практической неисчерпаемости природных богатств ушло в прошлое. Все чаще высказывается тревога об истощении запасов ископаемых и других природных ресурсов. Хватит ли их для удовлетворения спроса, увеличивающегося с ростом населения и его потребностей? В связи с этим вопросом перед человечеством стоит проблема рационального использования природных ресурсов, в том числе энергетических.

Традиционные источники энергии — нефть, газ, уголь, горючие сланцы, образовавшиеся в результате фотосинтетической деятельности растений (значительная доля в этих процессах принадлежала низшим фотоавтотрофным растениям), в настоящее время считаются практически невозобновляемыми. Поэтому рациональность использования энергетических ресурсов рассматривается как с точки зрения их наиболее экономного расходования, так и с точки зрения возможности использования новых нетрадиционных источников энергии. К числу последних в настоящее время относят энергию Солнца, консервируемую в биомассе фотосинтезирующих растений (биоконсервация солнечной энергии). В отличие от использования атомной энергии, этот источник энергии абсолютно безопасен: он не вызывает нарушения экологического равновесия, не ведет к радиоактивному или тепловому загрязнению среды (Холл, 1979). Из общего количества солнечного излучения, ежегодно достигающего поверхности Земли, растения утилизируют в среднем около 0,1 %. Эта величина почти в 10 раз превышает мировое потребление энергии. Поэтому во всем мире сейчас заговорили о биогазе — топливе, получаемом из органической массы путем ее био конверсии (Green power..., 1983 и др.). Данные физиолого-биохимических исследований свидетельствуют, что наиболее перспективными первичными утилизаторами солнечной энергии являются микроводоросли, позволяющие повысить эффективность преобразования солнечной энергии в среднем до 3–5 %. У видов *Dunaliella Teod.* эффективность фотосинтеза достигает 10 %, у синезеленых максимальные КПД фотосинтеза — 12–18 %, у некоторых зеленых водорослей — 21 %, т.е. более чем в 200 раз превышает среднее значение КПД фотосинтеза на земном шаре (Холл, 1979; Сидько, Белянин, 1980; Белянин, 1984).

Экономически наиболее выгодным процессом считают метанизацию

биомассы водорослей, выращенных на сточных водах (Sauze, 1978; Selected papers..., 1982 и др.). Установки для получения метана из водорослей, выращенных на сточных водах, созданы в США, Японии; их продуктивность составляет соответственно 50 и 80 т/га сухой биомассы в год (Sauze, 1978), а 50–60 т сухой биомассы водорослей могут дать 74 тыс. кВт · ч электроэнергии (Холл, 1979). Изучается возможность разведения гигантских донных бурых водорослей с целью переработки их в метан и другие продукты. Подсчитано, что с площади 400 км², занятой плантациями *Macrocyctis purifera* (L.) Ag., можно получить 620 млн. м³ метана (Wilcox, 1982). В качестве перспективных источников для получения биогаза и метана испытываются также другие морские макроводоросли — виды *Gracilaria* и *Ulva* (Habig et al., 1984). Энергию, получаемую за счет фотосинтеза водорослей с последующей наиболее рентабельной ее конверсией в газ, считают конкурентоспособной в глобальных масштабах с ядерной энергией (Сиренко, Паршикова, 1985). Отходы брожения являются богатым источником питания растений и могут повторно использоваться для получения дополнительной биомассы водорослей или применяться в сельском хозяйстве в качестве удобрений. Таким образом, разработанная биотехнология получения биогаза из биомассы водорослей, выращенной на сточных водах, позволяет одновременно решать вопросы очистки стоков, охраны окружающей среды от загрязнения, получения дополнительных источников энергии и удобрений, позволяющих экономить природные ресурсы.

Одна из наиболее острых проблем, стоящих в настоящее время перед человечеством, — не достаток продовольствия, в первую очередь пищевого и кормового белка. Согласно данным ФАО при ООН, в развивающихся странах свыше 700 млн. человек (из них 30 % дети в возрасте до 10 лет) ведет полуголодный образ жизни. Нормального питания лишены более 30 % людей в Латинской Америке, около 60 % — в Азии. Существует прогноз, согласно которому к 2000 г., когда население Земли превысит 6 млрд. человек, а производство продуктов удвоится, эта проблема решена не будет, ибо прирост производства пищи на одного человека не превысит 15 % при увеличении ее стоимости по крайней мере в 2 раза (Овчинников, 1984). Поэтому проблема продовольствия, обеспечения растущего населения планеты полноценным питанием стала важным экономическим, социальным и политическим фактором в современном мире. В связи с этим растет интерес к новым нетрадиционным источникам белка, жиров, углеводов, витаминов, ферментов и других физиологически активных веществ (Рычков, 1984 и др.).

По своим пищевым качествам водоросли не только не уступают известным сельскохозяйственным культурам, но в некоторых отношениях даже превосходят их. Они содержат высокий процент белка (до 70 % сухого веса), включающего все аминокислоты, необходимые для нормального питания человека, в том числе незаменимые (Fontes et al., 1983; Культивирование..., 1980, 1984 и др.). Благодаря этому белки водорослей могут дополнять белки продуктов, содержащих мало лизина и треонина. Выход

белка на единицу площади за единицу времени при выращивании водорослей на один — три порядка превышает таковой по сравнению с другими традиционными источниками (бобовые, злаки, крупный рогатый скот и др.) (Hopwood, 1978).

Учитывая все возрастающий дефицит белков в продуктах питания (по данным Всемирной организации охраны здоровья, в 1980 г. он составлял 3,5 млн. т, а к 2000 г. увеличится до 60 млн. т.) водоросли как дополнительный источник белковых веществ представляют большой интерес.

Водоросли — богатейший источник витаминов (тиамина, рибофлавина, фолиевой, никотиновой и аскорбиновой кислот, β -каротина), микроэлементов и других физиологически активных веществ (Масюк, 1973; Культивирование..., 1980, 1984; Баянова, Трубачев, 1981). Содержание витаминов в 100 г хлореллы превышает суточную потребность в них человека. Поэтому рекомендуют вводить водоросли в рацион больных сердечно-сосудистыми и желудочно-кишечными заболеваниями.

Большим преимуществом водорослей является физиолого-биохимическое разнообразие и лабильность их химического состава, позволяющие осуществлять управляемый биосинтез ценных химических природных соединений. Так, в одной и той же культуре водорослей, в зависимости от условий питания, можно получить биомассу с содержанием белков от 8 до 58 %; углеводов — от 6 до 37 и жиров — от 4 до 85 %. В зависимости от условий выращивания в значительной степени изменяется также содержание свободных аминокислот, пигментов, витаминов, микроэлементов (Масюк, 1973; Семеновко, Абдуллаев, 1980; Белянин, 1984).

Водоросли, особенно микроскопические, характеризуются наиболее высоким КПД усвоения световой энергии по сравнению с другими фотосинтезирующими организмами (Белянин и др., 1980; Белянин, 1984). Многие виды способны к миксотрофизму (Кузьменко, 1981) и эффективной утилизации света низкой интенсивности. Это позволяет снизить энергетические затраты на единицу получаемой продукции.

Продуктивность водорослей, особенно микроскопических, приближается к потенциально возможной. В закрытых, полностью автоматизированных опытных установках (космического назначения) при искусственном освещении продуктивность хлореллы составляет 100–140 г сухого вещества на m^2 в сутки (Белянин и др., 1980; Белянин, 1984). Это соответствует 1000–1400 кг (сух.)/га в сутки и 360–500 т сухой биомассы/га · год. Средняя продуктивность микроводорослей при их массовом культивировании в установках открытого типа при естественном освещении находится в пределах 14–35 г (сух.)/ m^2 · сут, максимальная достигает 60 г (сух.)/ m^2 · сут. Если исходить из средней суточной продуктивности 20 г/ m^2 и продолжительности вегетационного периода 6 мес, среднегодовая продуктивность установок этого типа должна составить 72 т сухой биомассы/га. Практически такая продуктивность (50–80 т сухой биомассы/га · год) достигнута в разных странах в открытых культиваторах разного типа (Shelef et al., 1978; Sauze, 1978; Venemann et al., 1979; Аманов и др., 1981). Культивирование *Spirulina*

Turg. позволяет получать 128 т белка/га · год (Santillan, 1982). Таким образом, продуктивность культуры микроводорослей на порядок выше по сравнению с продуктивностью пшеничного поля (Аманов и др., 1981). Продуктивность плантаций морских водорослей составляет 60–120 т сырой массы/га · год (Братчиков, 1976).

Водоросли не являются конкурентами высших растений, поскольку их выращивание может осуществляться в водоемах и искусственных установках на площадях, не пригодных для земледелия; их культура менее зависима от климатических условий по сравнению с культурой наземных растений. Не следует забывать также об огромных ресурсах Мирового океана для получения пищи и кормов (Wilcox, 1982; Овчинников, 1984).

Макроскопические морские и пресноводные водоросли используются человеком в качестве пищевых и кормовых продуктов еще с XIII ст. (Ortega, 1972). В настоящее время известно около 170 видов съедобных макроскопических водорослей, из них 81 вид красных, 54 — бурых, 25 — зеленых, 8 — синезеленых (Selected papers..., 1982). Интенсивное использование морских водорослей-макрофитов в хозяйственных целях (в Калифорнии, например, в подводных "лесах" *Macrocystis* Ag. ежегодно собирают до 150 тыс. т биомассы) привело к исчерпанию их природных запасов и поставило перед необходимостью их искусственного выращивания (Wilcox, 1975, 1982; Advance of Phycology..., 1975 и др.). Поэтому в последние 30 лет значительное развитие получила аквакультура водорослей (Vicente, 1981; Спичак, Чернышов, 1984 и др.). В частности, в довольно больших количествах выращиваются виды родов *Porphyra* Ag., *Laminaria* Lamour., *Undaria* Suring., *Macrocystis* Ag., *Gelidium* Lamour., *Gracilaria* Grev., *Pterocladia* J. Ag., *Monostroma* Thur., *Rhodomenia* Grev., *Euclima* J. Ag., *Chondrus* Stack., *Ulva* L., *Enteromorpha* Link, *Spirulina* Turp. и др. (Сиренко, Паршикова, 1985). Среди них наибольшее пищевое значение имеет род *Porphyra*. Ее начали выращивать в Японии еще в XVII ст. и в настоящее время по объему культивирования она занимает первое место в мире (Selected papers..., 1982). В 1945–1951 гг. урожай видов *Porphyra* составлял 3 тыс. т/год, в 1969–1970 гг. — около 18 тыс. т, в последующие — свыше 100 тыс. т (Advance of Phycology..., 1975). Только в Японии ежегодная продукция водорослей в целом возросла с 310 тыс. т в 1960 г. до 690 тыс. т в 1978 г. Из 10 млн. т морских продуктов, получаемых в этой стране ежегодно, 1 млн. т поступает за счет аквакультуры. Уже сейчас в пищевом багаже японцев водоросли составляют почти 20 %. Предполагается, что в будущем доля водорослей в пищевом рационе человека будет неуклонно возрастать. Полученные в Японии штаммы водорослей, японские технологии аквакультуры широко используются в других странах: США, Канаде, Франции, Норвегии, Дании, Великобритании и др. (Сиренко, Паршикова, 1985). В нашей стране морские водоросли выращивают на Дальнем Востоке, на Черном, Белом и Баренцовом морях (Братчиков, 1976; Кондрашова, 1981; Спичак, Чернышов, 1984). Они используются в качестве пищевого продукта как в свежем, так и в консервированном виде, а также при изготовлении хлебо-булочных и кондитерских изделий.

Целесообразность использования морских водорослей в качестве пищевых и кормовых продуктов, а также источников промышленного сырья в настоящее время не вызывает сомнений (Progress..., 1983; Сиренко, Паршикова, 1985). Разработана технология контролируемого получения спор водорослей, использования искусственных субстратов для их выращивания, методы хранения и переработки биомассы, внедряется механизация работ по сбору урожая, проводится селекция продуктивных штаммов, оптимизируется минеральное питание (Lipkin, 1985). Выращивание морских водорослей приобретает промышленный характер и становится все более рентабельной отраслью растениеводства несмотря на некоторые экономические и экологические трудности (Сиренко, Паршикова, 1985). В частности, при освоении шельфа под водорослевые плантации проявляется побочный негативный эффект от применения удобрений, особенно в мелководных лагунах: нарушается экологическое равновесие, уменьшается содержание кислорода в воде, развиваются токсические виды водорослей (Vicente, 1981). Возникают проблемы борьбы с болезнями и адвентивными растениями, засоряющими плантации промышленно ценных видов водорослей.

Значительно медленнее приобретают признание микроводоросли как источник пищи и кормов. В течение сравнительно короткого периода (40 лет) неоднократно изменялись объем и направление научно-исследовательских работ, связанных с изучением возможностей использования микроводорослей в хозяйственной сфере. Так, после второй мировой войны в США, Японии, ЧССР и некоторых других странах микроводоросли усиленно изучали в качестве добавочного источника пищевых и кормовых продуктов. Однако начиная с 60-х годов внимание к ним как к объектам промышленного культивирования значительно снизилось и лишь в Японии, КНР, Мексике и Советском Союзе исследования в этом направлении продолжались и дали практически результаты. Временное разочарование в перспективах использования культур микроводорослей можно объяснить недостаточностью научного обоснования, отсутствием предварительных селекционно-генетических исследований, несовершенством методов выращивания и переработки биомассы водорослей, высокой себестоимостью получаемых продуктов. Не всегда положительными были результаты потребления нативной биомассы водорослей. Низкая перевариваемость водорослей нередко обуславливалась наличием у них крепкой целлюлозной оболочки, нуждающейся в предварительной обработке и разрушении, или токсичностью отдельных объектов (Сиренко, Паршикова, 1985). В 70-е годы число работ по массовому культивированию микроводорослей увеличилось. В качестве объектов используются различные штаммы видов родов: *Chlorella* Beijer., *Scenedesmus* Meyen, *Ankistrodesmus* Corda, *Kirchneriella* Schmid., *Lagerheimia* Chod., *Colastrum* Naeg., *Chlamydomonas* Ehr., *Selenastrum* Reinsch, *Dunaliella* Teod., *Spirulina* Turp., *Synechococcus* Naeg., *Microcystis* Lemm., *Tolythrix* Kuetz., *Phormidium* Kuetz., *Gloeothece* Naeg., *Aphanothece* Naeg., *Porphyridium* Naeg., *Monochrysis* Skuja, *Isochrysis* Parke, *Tetraselmis*

Stein и др. Но в целом культивируемые виды составляют незначительную часть мировой альгофлоры, насчитывающей около 40 тыс. видов.

В настоящее время микроводоросли культивируют в значительных масштабах в ряде стран (Дипов, 1985). Так, на о.Тайвань массовая культура *Chlorella* насчитывает уже более 14 лет, давая ежегодно 1,5 тыс. т сухой биомассы; в Малайзии и на Филиппинах для пищевых целей ежегодно используют более 500 т хлореллы (Selected papers..., 1982). В Мексике за девять лет культивирования *Spirulina* в водах рисовых полей получено свыше 3 тыс. т биомассы; предполагается увеличить урожай до 2 тыс. т в год (Santillan, 1982). В этой стране разработана технология получения из *Spirulina* spp. бесцветного порошка, который в количестве 5–10 % добавляют к хлебобулочным изделиям и другим пищевым продуктам. По данным мексиканских исследователей, белки этих водорослей хорошо усваиваются человеком, не вызывая побочных явлений. Некоторый опыт использования хлореллы и других микроводорослей накоплен также в Японии, Канаде, США, Франции, Новой Зеландии, Австралии, Корее и других странах.

Значительно шире используются водоросли в животноводстве в качестве корма и кормовых добавок в рационе животных (Blunden et al., 1975; Культивирование..., 1977, 1980, 1984 и др.). Эффективность их использования доказана в многочисленных опытах на разнообразных животных. Применение водорослей в животноводстве в качестве источника белка, витаминов и других физиологически активных веществ повышает устойчивость животных к различным заболеваниям, в первую очередь авитаминозам, ускоряет их рост и размножение, повышает объем и качество товарной продукции (Культивирование..., 1977; 1980, 1984 и др.).

В США большие хозяйства для выращивания крупного рогатого скота и птицы обеспечены водорослевыми водоемами, в которых отходы животноводства утилизируются водорослями. При этом 40 % азота из сточных вод снова поступает в биомассу водорослей и поедается животными. Подсчитано, что использование 4 млн. га для создания водорослевых реакторов со средней продуктивностью 12 г сухой биомассы/м² · сут полностью обеспечит потребности США в белке, для получения которого в настоящее время используется 121 млн. га сельскохозяйственных угодий (Холл, 1979). Введение хлореллы в рацион уток, цыплят, бройлеров, кур-несушек, свиней, а также крупного рогатого скота оказалось весьма эффективным в Узбекской ССР (Культивирование..., 1980, 1984; Кузнецов, 1981). Так, ежегодная прибыль от применения микроводорослей при откорме крупного рогатого скота в этой республике составляет 12,96 руб. на голову, подсосунков — 2,12 руб. Благодаря этому строительство промышленных водорослевых реакторов в Узбекистане окупается за 5–6 мес, а ежегодная прибыль от применения водорослей в животноводстве и шелководстве составляет 290 млн руб. (Культивирование..., 1980, 1984). Культуры микроводорослей используются в животноводстве и других республик Советского Союза.

Одно из важных направлений в повышении эффективности кормов — применение хлореллы в качестве биостимулирующей добавки в кормовые

рационы (Рычков, 1984). При добавлении 1,5–2,5 % биомассы хлореллы к белкам зерна биологическая ценность рациона для животных повышается на 60 % (Культивирование..., 1980). Работы в этой области быстро расширяются, особенно на юге нашей страны (Рычков, 1984).

Имеются сведения об использовании водорослей в звероводстве для питания и лечения животных. Так, введение суспензии хлореллы в рацион больных животных способствует реабилитации при острой потере крови и ухудшении ее состава, ускоряет регенерацию костного мозга (Культивирование..., 1980).

Находят применение микроводоросли и в рыбном хозяйстве в качестве белково-витаминных кормовых добавок в рационе рыб и других гидробионтов (Snell et al., 1983; Urban et al., 1984; Горонкова и др., 1985).

Указанные пути использования водорослей для решения продовольственной проблемы являются вместе с тем одним из эффективных путей охраны окружающей среды, поскольку позволяют уменьшить антропогенную нагрузку на наземные экосистемы, являющиеся пока основным источником пищи и кормов.

Существуют и другие возможности применения водорослей для решения продовольственной проблемы, в частности, для повышения культуры земледелия, урожайности традиционных сельскохозяйственных растений. Биомасса морских и пресноводных макро- и микроскопических водорослей, как ныне существующих, так и ископаемых (сапропели), может служить превосходным легко усвояемым органическим удобрением (Blunden et al., 1975; Сиренко, Гавриленко, 1978; Кузьмина и др., 1984 и др.). Установлено, что одна единица площади, занятая водоемом для выращивания водорослей на сточных водах, может обеспечить высококачественным органическим удобрением 10–50 единиц сельскохозяйственных площадей (Холл, 1979). Перспективным является также использование в качестве удобрения биомассы водорослей – возбудителей "цветения" морских и пресных водоемов (Сиренко, Гавриленко, 1978). Разработаны технологии сбора, консервирования и утилизации в качестве удобрений естественных запасов микроводорослей. Показано, что механическое удаление биомассы синезеленых водорослей – возбудителей "цветения" воды – не только возможно, но и рентабельно (Сиренко и др., 1986). Использование извлеченной биомассы на полях позволяет компенсировать затраты на удаление водорослей из водоемов, удешевляя стоимость очистки воды от азота и фосфора по сравнению с существующими физико-химическими методами. Это улучшает санитарно-биологическое состояние эвтрофных водоемов, повышает урожайность сельскохозяйственных растений. Практический опыт по проведению таких мероприятий приобретен на каскаде днепровских водохранилищ (УССР), озере Клир-Лейк (штат Калифорния, США), на некоторых водоемах ФРГ, в лагунах Италии (Сиренко, Гавриленко, 1978).

Еще большее значение для земледелия имеют постоянно обитающие в почве микроскопические водоросли, обогащающие ее легкодоступными для других организмов органическими веществами, витаминами, стимулятора-

ми роста, насыщающие кислородом, необходимым для дыхания корней высших растений и аэробной почвенной микрофлоры, регулирующие влажность, pH, улучшающие структуру почвы, участвующие в почвообразовательных процессах, способствующие повышению почвенного плодородия (Голлербах, Штина, 1969; Advance of Phycology..., 1975; Штина, Голлербах, 1976; Venkataraman, 1982 и др.).

Особое место в почвенной альгофлоре принадлежит азотфиксирующим синезеленым водорослям, обогащающим почву азотом в форме, доступной для других организмов. Современное сельское хозяйство немислимо без достаточного обеспечения растений связанным азотом. Источников здесь фактически только два – химические азотные удобрения и биологическая фиксация азота. Молекулярный азот, составляющий свыше 80 % атмосферы, для эукариот недоступен. На производство азотных удобрений человечество тратит более 1,6 % наличной энергии, при синтезе их потребляются нефть и газ, запасы которых истощаются, а используются эти удобрения, в лучшем случае, на 50 % (Gutschick, 1980). Неиспользованные удобрения после разложения в почве и образования ядовитых окислов азота отравляют окружающую среду. При биологической фиксации азота источником энергии является, как правило, Солнце, и фиксированный азот усваивается практически полностью. Вклад биологической азотфиксации в сельское хозяйство достаточно велик и в целом превосходит вклад химических азотных удобрений (FAO..., 1982). Синезеленые водоросли являются основным поставщиком азота на рисовых чеках (Othman, 1983; ср. Баев, Злотников, 1984). Благодаря их жизнедеятельности в ряде стран (Япония, Китай, Индия, Вьетнам, Корея и др.) получают стабильные урожаи риса без внесения азотных удобрений на поля (Горюнова и др., 1969; Advance of Phycology..., 1975; Venkataraman, 1982 и др.).

Наиболее эффективен процесс азотфиксации в теплых, тропических и субтропических странах (Горюнова и др., 1969). Однако и в умеренной зоне вклад синезеленых в обогащение почв азотом значителен: от 3–12 кг/га азота в год на эродированных почвах до 26 кг – на пойменных. Продукция их биомассы колеблется при этом от 67 до 578 кг/га в год (Панкратова, 1980). Валовое накопление азота в почвах умеренной зоны за счет водорослей составляет около 360 тыс. т в год (Панкратова, 1980). Разработаны технологии искусственного культивирования синезеленых водорослей-азотфиксаторов, внесения водорослевого инокулята и стабилизации его действия на рисовых полях (Горюнова и др., 1969; Advance of Phycology..., 1975; Культивирование..., 1980, 1984; и др.). Их внедрение приносит значительный экономический эффект. Например, ежегодная прибыль от использования микроводорослей при выращивании риса только в Ташкентской обл. составляет свыше 1 млн. руб. в год (Культивирование..., 1980). Вместе с тем некоторые ученые считают, что на современном этапе, в условиях умеренной зоны инокуляция почвы азотфиксирующими водорослями нецелесообразна, поскольку не может заменить внесения азотных удобрений (Cole, 1977).

В настоящее время методами генной инженерии проводится работа по получению новых сортов сельскохозяйственных растений, обладающих геном азотфиксации, способных самостоятельно фиксировать атмосферный азот (Баев, Злотников, 1984). Источником генов азотфиксации служат прокариотические организмы.

В последнее время культуры синезеленых и зеленых водорослей применяют для предпосевной обработки семян сельскохозяйственных растений (риса, хлопчатника и др.), что стимулирует их рост и развитие, повышает урожайность (Кучкарова, Покровская, 1981 и др.). Показано наличие в фильтраатах и суспензиях культур этих водорослей витаминов и других физиологически активных веществ. Из морских водорослей экстрагированы препараты, перспективные для борьбы с паразитарными инвазиями сельскохозяйственных культур (Семаков, 1981 и др.). Водоросли используются также в качестве индикаторных организмов как показатели стадии генезиса и состояния почв, почвенного плодородия (Штина, Голлербах, 1976). Большое значение приобретают водоросли в связи с проблемой рекультивации промышленных отвалов и других техногенных субстратов, обсуждается противозерозивное их значение (Штина, Голлербах, 1976; Штина и др., 1985 и др.).

Дальнейший прогресс в изучении водорослей (в т.ч. почвенных), их флористико-систематического состава, эколого-физиологических, биохимических и генетических особенностей с последующей выработкой рекомендаций агротехнического характера таит в себе значительные резервы повышения культуры земледелия, урожайности сельскохозяйственных растений и будет способствовать решению продовольственной проблемы.

Будущее человечества неразрывно связано с проблемой мирного освоения космического пространства. Советские люди, положившие начало штурму космоса, впервые разбили оковы гравитации, первыми создали ракеты, преодолевшие земное тяготение. Однако в биологическом отношении человек все еще не вышел за пределы Земли. Миллионы лет эволюции приспособили его к жизни на Земле и вместе с тем сделали его рабом Земли. Отправляясь в космос, человек пока еще все необходимое для жизни — кислород, воду, пищу — берет с собой. Чтобы оторваться от Земли в биологическом смысле, осуществить длительное межпланетное путешествие и обжить другие планеты, необходимо космический корабль превратить в маленькую искусственную планету с замкнутым круговоротом веществ. Иными словами, необходимо создать искусственную систему, которая замкнула бы на себя биологическую связь человека с внешним миром и выполняла бы по отношению к нему все функции биосферы Земли. В настоящее время функция фотосинтетического звена в этой искусственной замкнутой экологической системе возлагается на микроскопические водоросли, не нуждающиеся в почве и по своей продуктивности на один — три порядка превышающие макроскопические растения (Белянин и др., 1980; Белянин, 1984). Использование одноклеточных микроводорослей позволило создать высокоэффективные культиваторы, которые при небольшом объеме обес-

печивают суточную потребность человека в кислороде и усвоение выделяемой при дыхании углекислоты. Удалось также замкнуть систему по воде. Так, в долгосрочных опытах продолжительностью 15, 29 и 31 сут для питья, приготовления пищи и туалетных нужд человека использовали конденсат, получаемый на выходе из водорослевого реактора после его обеззараживания и очистки физико-химическими методами. Эти затраты компенсировались возвращением в реактор воды, выделяемой человеком в составе мочи, фекалий и кожно-легочных испарений после их предварительного микробиологического разложения в специальном ферментере, и отгонки. В водорослевый реактор поступали также продукты разложения отходов — углекислота и аммиак; последний обеспечивал около 30 % потребности водорослей в азоте. В пищевой рацион человека ежесуточно добавляли 50 г сухой биомассы хлореллы в виде отдельного блюда, приготовленного с мукой. За 30 сут в изучающейся системе осуществлялось 15 циклов регенерации атмосферы и 1,5 цикла круговорота воды. Степень замкнутости системы по кислороду составляла 100 %, по воде — 90, по пище — 8 % (Шенелев и др., 1974). Недостаток системы состоял в том, что фотосинтетическое звено было представлено только культурой хлореллы при малой доле ее в пищевом рационе человека. В процессе экспериментов была обнаружена способность изучавшейся системы к адаптивному изменению своей структуры в условиях возникавших в ней помех (например, накопление метана). Способность испытанной системы к самонастройке (даже при простой ее структуре) свидетельствует о принципиальном преимуществе биологических систем жизнеобеспечения (БСЖО) (Шенелев и др., 1974). В настоящее время ведутся интенсивные исследования по подбору видов и штаммов микроводорослей, перспективных для использования в БСЖО человека, изучают влияние факторов космического полета на морфолого-генетические и физиолого-биохимические особенности микроводорослей (Сытник и др., 1983 и др.).

Использование водорослей в качестве источника промышленного сырья имеет уже сравнительно длительную историю (Лавитська, 1968). Еще в начале прошлого столетия из морских водорослей-макрофитов начали получать иод, несколько позже — бром, натрий, калий и некоторые другие элементы. Однако водоросли оказались слишком ценным сырьем, содержащим уникальные, остродефицитные соединения органической природы, чтобы расходовать их на получение химических элементов, извлекаемых ныне из морской воды после ее предварительного концентрирования. К наиболее ценным из них принадлежат фикоколлоиды (агар-агар, агаронд, агароза, каррагенан, нори, агаропектин), альгиновая кислота и ее соли — альгинаты, маннит и др.

Фикоколлоиды, являющиеся уникальным продуктом красных водорослей (видов родов *Gracilaria* Grev., *Gelidium* Lamour., *Ahnfeltia* Fries., *Chondrus* Stack., *Phyllophora* Grev. и др.), находят широкое применение в пищевой, кондитерской, фармацевтической, химической, микробиологической, текстильной, бумажной, косметической и других отраслях промышлен-

ности (Лавітська, 1968; Mathieson et al., 1984). В больших количествах потребляется агар-агар для научных целей (бактериологии, экспериментальной микологии и альгологии), санитарно-эпидемиологической службы, техники. Не менее широкое применение имеют альгиновая кислота и альгинаты, уникальными продуцентами которых являются бурые водоросли. Альгинаты используются для стабилизации растворов и суспензий в химической промышленности, при изготовлении растворов и муссажей, фруктовых соков, хлебобулочных и кондитерских изделий, при производстве клея, лаков, красок, пластмасс, синтетических волокон, строительных материалов, в полиграфии, в текстильной и фармацевтической промышленности (при изготовлении растворимых хирургических нитей, паст, лечебных мазей и др.), в парфюмерии, литейном производстве, электросварке и др. (Лавітська, 1968; Петров, 1977). Маннит используют в фармакологии (лекарства для диабетиков), пищевой промышленности (продукты питания для диабетиков), при изготовлении синтетических смол, красок, бумаги, взрывчатых веществ, при выщипке кож и др. Из водорослей изготавливают кормовую муку, использование которой в животноводстве способствует повышению его продуктивности, увеличению содержания иода в продуктах питания. Морские водоросли являются сырьем для получения дорогостоящих дефицитных медицинских препаратов — онкостатических, заменителей крови, препаратов для лечения лучевой болезни и др. (Петров, 1977 и др.). Потенциальные возможности применения морских водорослей-макрофитов шире масштабов их современного использования. Они рассматриваются как перспективный объект для выделения гемагглютининов (Blunden et al., 1975), гликолипидов (Герасименко, 1983), получения полиэлектrolитов (Xlth International..., 1984), простых сахаров, кормовых дрожжей (Дудкин и др., 1965), как сырье для целлюлозно-бумажной промышленности (Kiran et al., 1980) и др. Из морских водорослей выделены метаболиты, обладающие антимикробным, противовоспалительным, антигельминтным, антикоагулирующим воздействием. Полученный из ламинарии ламинин является гипотензивным средством, фукостерин обладает способностью к снижению содержания холестерина в организме млекопитающих. Некоторые комплексные полимеры водорослей являются противоядием против сильнейших токсинов типа кураре. Особый интерес для фармакологии представляют токсинобразующие водоросли (Горюнова, Демина, 1974 и др.).

Бурный рост водорослевой промышленности привел к необходимости учета естественных запасов промысловых водорослей, исследования скорости их естественного возобновления при промышленном использовании (Джус, 1984 и др.). Ведется разведка новых видов сырья и оценка перспектив их использования водорослевой промышленностью. Промысловые водоросли стали объектом марикультуры; разрабатывается технология их искусственного культивирования, сбора урожая, оценки качества сырья, способов его хранения и комплексной переработки (Friedlander, Zelikovitch, 1984; Denizof, 1985 и др.). Морские плантации промысловых водорослей

стали реальностью (Yamada, 1976). Ряд морских держав, таких как Япония, США, Канада, Франция, Дания, СССР, Филиппины, Индонезия и др., особенно те, для которых водоросли являются важной статьей экспорта и государственного дохода, планируют дальнейшее расширение их площадей, интенсификацию методов марикультуры (Yamada, 1976; Джус, 1984; McLachlan, 1985 и др.).

Масштабы использования микроводорослей в качестве промышленного сырья пока ограничены, хотя перспективы практически необозримы. Особенно ценны водоросли как продуценты стеролов, витаминов, пигментов, ферментов, веществ гормональной природы, антибиотиков, альгицидов, инсектицидов, репеллентов и других физиологически активных соединений, как концентраты ценных и редких элементов (Co, Ni, Mo, Au и др.) (Преснякова и др., 1974). Обсуждаются возможности использования микроводорослей для промышленного получения липидов (Dubinsky et al., 1978), углеводов (Bachofen, 1982), водорода (Asada et al., 1982), меченых и дейтерированных соединений (Цоглин и др., 1979), глицерина, полисахаридов (Venemann et al., 1979). Внеклеточные полисахариды микроводорослей могут использоваться как эмульгаторы, флокулянты, сырье для получения очищенной нефти (Venemann et al., 1979). Разрабатывают способы одновременного получения из видов *Dunaliella Teod.* глицерина, каротина и белка (Venemann, 1979).

Микроводоросли находят применение в микробиологической промышленности как биостимуляторы, заменители пищевых продуктов (мяса, молока и др.) в питательных средах, а также для осуществления управляемого биосинтеза различных органических соединений. Заслуживают внимания факты использования микроводорослей в медицинской, пищевой, парфюмерной промышленности в качестве источников жиров, красителей, ароматических соединений, лекарственных препаратов и других веществ (Levinson, 1972). Так, из водорослей получают препараты для обработки незаживающих ран, для лечения желудочно-кишечных и онкологических заболеваний (Paul, Cooksey, 1979 и др.).

Важное значение приобретают водоросли как источник иммобилизованных ферментов (Therpenier et al., 1985; и др.), используемых в пищевой и молочной промышленности, для получения аминокислот, гидрогеназы, применяющейся в искусственных фотосинтетических системах (Brodelius, 1978; Dever, 1978). Обсуждаются перспективы использования водорослей для обогащения руд при извлечении благородных металлов (Юркова, Мишин, 1985).

Широкое использование массовых культур микроводорослей как источника промышленного сырья лимитируется сравнительно высокой стоимостью их биомассы, обусловленной несовершенством методов их выращивания и сбора урожая, применением дорогостоящих сред для их выращивания и др. (Сиренко, Паршикова, 1985). Наиболее рентабельным считают производство промышленного сырья из микроводорослей, сопряженное с очисткой сточных вод (Холл, 1979; Venemann et al., 1979; Промышленное

культивирование..., 1985). Почти в три—пять раз снижается себестоимость биомассы при использовании специально отобраных высокопродуктивных штаммов водорослей. Рентабельность промышленной культуры микроводорослей повышается при использовании биомассы для получения ценных метаболитов, в первую очередь лекарственных препаратов. Дешевым источником промышленного сырья является биомасса водорослей, вызывающих "цветение" воды (Сиренко, Гавриленко, 1978). Разработана технология сбора, консервирования и промышленной переработки биомассы синезеленых водорослей для получения кормовых концентратов, аминокислот, хлорофилл-каротиновой пасты, ароматических соединений, компонентов питательных сред для выращивания кормовых дрожжей, энтомопатогенных микроорганизмов, флокулянтов, репеллентов, антифудантов и др. (Сиренко, Гавриленко, 1978; Сиренко и др., 1986).

Важным промышленным сырьем являются также полезные ископаемые, образовавшиеся в результате фотосинтетической деятельности древних водорослей в минувшие геологические эпохи. К ним принадлежат мощные залежи графита, известняков, мела, диатомитов и трепелов, горючих сланцев и газов, сапропелей, некоторых разновидностей угля, возможно также нефти (Лавітська, 1968). В частности, несколько лет назад на территории Тюменской обл. открыты огромные залежи диатомитов (Нестеров, Переплеткин, 1984). Диатомиты — сырье многоцелевого назначения. Уже сегодня они могут служить источником около 150 разнообразнейших продуктов, в том числе хрусталя, жидкого стекла, шлифовальных материалов, сорбентов, оптического кварца и стекловолокна, необходимых для развития электроники, энергетики и некоторых других отраслей народного хозяйства. Диатомиты используются при изготовлении динамита и бездымного пороха, в парфюмерии, различных отраслях легкой, химической и металлургической промышленности. Это принципиально новый строительный материал — красивый, легкий, дешевый, доступный, огнеупорный, с высокими звуко- и теплоизоляционными свойствами. Обсуждается возможность использования его для получения новых материалов, а также в сельском хозяйстве. Трудно назвать отрасль, в которой бы диатомиты не нашли применения (Лавітська, 1968; Нестеров, Переплеткин, 1984).

Не менее разнообразное применение имеют сапропели. Это источник получения кокса, смолы, бензина, керосина, парафина, горючих газов, органических кислот, спиртов, смазочных масел, аммиака, пластмасс, изоляционных лаков, красок, бумаги, фармацевтических препаратов и др. В больших количествах сапропели используются как топливо, в сельском хозяйстве как высококачественное органическое удобрение и на корм скоту (Лавітська, 1968).

Рассматривая вопросы применения водорослей в промышленности, следует подчеркнуть, что в химическом отношении изучена лишь небольшая часть мировой флоры водорослей, не превышающая 1—2%. Учитывая огромное разнообразие водорослей как наиболее древней группы фотосинтезирующих организмов, представляющих 12 самостоятельных отделов органи-

ческого мира, а также все возрастающий интерес к ним со стороны ученых и практиков народного хозяйства, можно ожидать в недалеком будущем открытие у водорослей новых уникальных органических соединений с полезными для человека свойствами, выделение новых перспективных продуцентов ценных метаболитов, в том числе лекарственных препаратов, выявление новых аспектов их применения в различных отраслях народного хозяйства и медицины. Уже сегодня микроводоросли являются одним из признанных объектов биотехнологии (Воробьев, 1985) и есть все основания предполагать, что они станут одним из основных объектов промышленного фотосинтеза, идея которого, принадлежащая К.А.Тимирязеву, ныне близка к осуществлению.

Таким образом, в рамках науки о водорослях уже сформировался важный в хозяйственном отношении раздел — прикладная альгология, работы в области которой будут расширяться и в третьем тысячелетии займут подобающее место в системе прикладных отраслей знаний.

Необходимую основу для развития прикладных исследований создают результаты разработки фундаментальных направлений альгологии: флористического, систематического, эволюционно-филогенетического, морфологического, онтогенетического, цитологического, генетического, физиолого-биохимического, эколого-ценологического и др. (Кондратьева, 1985а). Интенсификация исследований в этих направлениях, в свою очередь, обусловлена все возрастающими запросами практики, а также общими достижениями науки и техники, позволяющими существенно укрепить их материальную и методологическую базу* и, вместе с тем, зависит от современного стиля научного мышления, характерными чертами которого являются осознание диалектического характера (Сержантов, 1972), повышение роли теоретического мышления, возрастание значимости системного, вероятностного и популяционного подходов, стремление не только к дифференциации, но и к интеграции знаний, повышение значимости математических исследований и др. (Карпинская, 1980 и др.). Все это привело к заметному расширению общего объема альгологических исследований и накоплению новой информации о водорослях, требующей обобщения.

Научной основой охраны и рационального использования растительного мира является знание флоры. Несмотря на то, что флористическое направление было одним из первых в истории альгологических исследований даже первый инвентаризационный этап в изучении флоры водорослей Земли еще очень далек от завершения. Продолжается интенсивный процесс описания все новых и новых видов водорослей. По приблизительным подсчетам, на нашей планете существует около 100 тыс. видов еще не описанных выс-

* Особое значение для развития альгологии в последние десятилетия имело усовершенствование электронно-микроскопической техники и методов биохимического анализа, а также разработка способов выделения аксенических культур водорослей, что стимулировало развитие экспериментальных исследований.

ших, низших растений и грибов, из них десятки тысяч видов принадлежат миру водорослей. Кроме того, до сих пор идет интенсивный процесс описания новых таксонов высшего ранга — от родов до отделов включительно. При нынешних темпах антропогенного изменения флоры существует реальная угроза того, что многие таксоны водорослей исчезнут с лица Земли, прежде чем они будут описаны специалистами. Поэтому в числе неотложных задач, стоящих перед альгологической наукой, одной из важнейших является продолжение флористических исследований, завершение инвентаризации видового состава водорослей, выяснение закономерностей их географического распределения, создание фундаментальных сводок по водорослям. Только упорные многолетние флористические исследования позволят выявить тенденции развития альгофлоры, прогнозировать ее изменения под влиянием антропогенной нагрузки, определить естественные запасы полезных видов, пригодные для практического использования, выявить редкие и исчезающие виды, нуждающиеся в охране.

Для современного этапа развития альгологической флористики свойственно стремление использовать применительно к водорослям теоретические и методические положения, разработанные специалистами по флоре высших растений. Делаются попытки применения количественных методов сравнительной флористики (Асул-Ветрова, 1978; Паламарь-Мордвинцева, 1982 и др.), хорологического изучения видов, выделения экологических и географических элементов флоры, использования полученных альгофлористических данных для районирования изучаемых акваторий и т.д. (Руководство для авторов..., 1984). Так, успехи в изучении морской альгофлоры на зонально-географической основе привели к альгогеографическому районированию океанических вод (Виноградова, 1984). Однако в целом флористическое изучение водорослей намного отстает от флористики высших растений. Это отставание в значительной мере объясняется трудностями, связанными с преимущественно микроскопическими размерами объектов, а также недостаточной разработанностью систематики многих таксонов, неизученностью внутривидовой (в том числе географической) изменчивости и особенностей циклов развития большинства видов водорослей, почти полным отсутствием монографических разработок родов, отсутствием, плохой сохранностью или малой доступностью типовых экземпляров видов, что ведет к разногласию в трактовке объема и систематического положения многих таксонов низшего ранга, к номенклатурной путанице и делает менее убедительными результаты сопоставления альгофлор разных регионов (Руководство для авторов..., 1984).

Перед альгологией стоят серьезные научно-теоретические задачи в области флористического анализа, хорологии, изучения явлений эндемизма, реликтовости, синантропности, формирования флористических комплексов, популяционной структуры элементов флоры, разработки систем географических и флорогенезисных элементов, проведения альгогеографического районирования. Актуальными задачами являются изучение динамики альгофлоры под влиянием антропогенных факторов, разработка вопросов ре-

сурсоведения, изучение динамики естественных альгоресурсов, изыскание путей их наиболее рационального использования, возобновления и обогащения.

Основным фундаментом и венцом всех существующих направлений альгологической науки, включая прикладные, является систематика водорослей, базирующаяся на современных представлениях об эволюции и родственных связях основных систематических групп низших фотоавтотрофных растений. Только при условии точного определения места исследуемого объекта в естественной системе живых организмов получаемые научные результаты могут быть обобщены на уровне общепроизводственных знаний и внедрены в практику народного хозяйства.

Современная систематика и эволюционно-филогенетические исследования водорослей наряду с применением традиционных подходов стремятся к широкому использованию новой информации, полученной с помощью разнообразных современных методов исследования, прежде всего электронно-микроскопических и биохимических. Осознается необходимость использования комплекса критериев, выявления коррелятивных связей между таксономическими признаками как наиболее надежного пути к созданию филогенетической системы водорослей (Масюк, 1973, 1981; Ситник, Богданова, 1981 и др.). Идут интенсивные поиски путей эффективного использования математических методов в классификации водорослей (International symposium..., 1983; Кондратьева, Шапала, 1984 и др.). Обсуждаются философские, методологические аспекты систематики водорослей (Масюк, 1986а).

Большое количество информации, полученной с помощью новых и традиционных методов, привело к совершенствованию диагнозов, открытию новых для науки таксонов всех таксономических рангов, включая наивысшие, к необходимости коренного пересмотра классификации как отдельных таксонов, так и всей группы Algae в целом. Если ранее все водоросли относили к царству растений, то теперь считают целесообразным распределить их между различными царствами, а иногда и надцарствами живых организмов (Зеров, 1972; Тахтаджян, 1974; Кондратьева, 1981; Jeffrey, 1982 и др.). Предлагаются новые системы водорослей, приближающиеся к созданию наиболее информативной и прогностичной филогенетической системы. Существенные изменения предлагают внести в классификацию зеленых, диатомовых, динофитовых и других групп водорослей (Selected papers..., 1982; Макарова, 1986 и др.).

Филогенетические схемы, основанные на новых принципах, подчас кажутся парадоксальными или преждевременными, так как филогенетическая значимость использованных при их построении признаков нередко остается неясной (ср. Moestrup, 1982) или недостаточно большим оказывается объем проведенных исследований.

Информационный взрыв, наблюдающийся в альгологии XX в. в связи с внедрением новых методов, и стремление к обобщению новой информации в филогенетических и систематических построениях в значительной

степени обусловили нестабильность современной систематики водорослей, проявляющаяся в обилии и разнообразии существующих систем водорослей и взглядов на их филогению. Даже количество отделов в системах разных авторов колеблется в значительных пределах, не говоря уже о таксонах более низких рангов (Масюк, 1984а). Несмотря на обилие информации, систематическое положение многих таксонов все еще остается неопределенным (роды *Cyanidium* Geitl., *Porphyridium* Naeg., *Glaucocystis* Itzigs., классы *Raphidophyceae*, *Eustigmatophyceae* Hibberd, *Haptophyceae* Christ., отдел *Glaucophyta* Skuja и др.). Хотя в целом нынешнее состояние систематики водорослей следует оценить как нормальное следствие позитивного процесса ее бурного развития и роста, однако существующая нестабильность систем водорослей является помехой в их использовании для нужд науки и практики (Масюк, 1984а; Кондратьева, 1985).

Причины нестабильности современной систематики водорослей отчасти кроются также в неразработанности общей теории систематики как науки, а также в неопределенности исходных теоретических позиций отдельных исследователей и существующей терминологической путанице (ср. Кондратьева, Чопик, 1979; Масюк, 1984а; Кондратьева, 1985). Особого внимания заслуживают вопросы сущности основных таксономических категорий, специфики вида в альгологии как основной таксономической единицы, особенностей процессов микроэволюции у водорослей и др. Разработке двух последних проблем в значительной степени будет способствовать исследование изменчивости популяций (Внутривидовая..., 1980; Кондратьева, 1986).

При всем разнообразии существующих классификаций и филогенетических схем водорослей почти все они имеют нечто общее, так как базируются на признании дарвиновской концепции дивергентной эволюции, принципе монофилии и поэтому имеют сходную древовидную (или веерообразную) иерархическую структуру. Признание синтезогенеза как одного из путей эволюции органического мира (Воронцов, 1984; Масюк, 1986а) возможности недивергентного происхождения таксонов в результате гибридизации, горизонтального переноса генов или симбиогенеза (Кордюм, 1982; Selected papers..., 1982; Маргелис, 1983; Грант, 1984 и др.) приведет к необходимости пересмотра формальной структуры системы на принципиально новой основе (Масюк, 1984а, 1986а).

Оценивая нынешнее состояние систематики и филогенетики водорослей, следует подчеркнуть, что пока они пребывают на этапе накопления новых данных о водорослях, нуждающихся в анализе и обобщении на основе конкретных теоретических и методологических принципов. Вместе с тем систематика водорослей, несомненно, находится накануне нового крупного синтеза (Кондратьева, 1985).

Одним из основных инструментов систематики в познании водорослей был и остается морфологический метод. Будучи одним из старейших, морфологическое направление в изучении водорослей не утратило своей ак-

туальности и в наши дни. Морфологические признаки таксонов были и остаются наиболее удобными, доступными диагностическими признаками, используемыми в процессе идентификации водорослей. Вопрос о соотношении и значении диагностических и систематических признаков в процессах классификации и идентификации водорослей рассмотрен на примере рода *Dunaliella* Teod. (Масюк, 1973, 1986а). В комплексе с другими морфологический критерий имеет большое значение в филогенетике, экологии водорослей, прикладной альгологии и др.

В последние десятилетия морфология водорослей из науки чисто описательной превратилась в отрасль знаний, широко использующую экспериментальные методы. Морфологические исследования водорослей в наши дни ведутся на всех уровнях их организации (субклеточном, клеточном, организменном, популяционном) как в статическом (пространственном), так и в динамическом (временном) аспектах (Кондратьева, Масюк, 1981; Кондратьева, 1985). Обычным стало использование биометрических приемов. Все больше внимания начинают уделять обобщению и теоретическому осмыслению результатов исследования.

Дальнейшее развитие получило учение об основных типах морфологической структуры вегетативного тела водорослей, являющееся фундаментом классической систематики водорослей. Основные типы структуры тела водорослей и их значение в эволюции растительного мира рассмотрены с точки зрения общепринятых представлений об основных формах эволюционного процесса в органическом мире (Масюк, 1985а, б). Значительно восполнены сведения о морфологическом параллелизме у водорослей новыми примерами на разных таксономических и эволюционных уровнях (Масюк, 1981). Широкое распространение явлений морфологического параллелизма в мире водорослей свидетельствует о необходимости привлечения дополнительных критериев в систематике водорослей и развития функциональной морфологии как основы систематики будущего. Все большее внимание привлекает морфологическая изменчивость водорослей (Кондратьева, 1972; Масюк, 1973; Воденичаров, Киряков, 1980а, б; Mathieson et al., 1981; Паламарь-Мордвинцева, 1982; Holmes et al., 1982 и др.), исследуемая в динамическом (изменение) и статическом (разнообразие) аспектах. Морфологическое разнообразие изучается не только с целью познания нормы реакции конкретных видов по данному признаку, но и как явление, с учетом ранга исследуемых совокупностей, а также уровня организации элементов, по разнообразию которых оценивают данную совокупность (Кондратьева, 1975б; Внутривидовая..., 1980). На примере *Cyanophyta* создана первая для водорослей классификация внутривидового фенотипического разнообразия, апробированная с применением количественных методов (Внутривидовая..., 1980).

Созданы предпосылки для становления популяционной морфологии водорослей, с одной стороны, как одного из разделов альгологии, а с другой — как особого направления популяционной биологии. Интенсификация работ в этом направлении немаловажна с позиций решения вопросов систематики,

микроразвития, географии и экологии водорослей, а также с точки зрения организации научных работ, в том числе направленных на решение общепрограммных и хозяйственных задач (Кондратьева, 1986).

Продолжают развиваться также онтоморфологические исследования. В настоящее время наблюдается тенденция к дифференциации морфологии водорослей по основным направлениям ее исследований (функциональная, эволюционная, экологическая морфология и др.), — с одной стороны, и к созданию гипотез, объясняющих сущность обнаруживаемых закономерностей, — с другой.

Появление и усовершенствование методов электронной трансмиссионной и сканирующей микроскопии, а также применение методов качественной и количественной цитохимии, флуоресцентной микроскопии, автордиографии, энергодисперсионной спектроскопии, иммунохимии, электрофизиологии, нередко в совокупности с методами дифференциального центрифугирования и биохимии принесли большие успехи цитологии водорослей, открыв много нового в строении клетки, став источником ценной информации о систематике, филогении и эволюции водорослей.

Начиная с 60-х годов проводятся исследования ультраструктуры вегетативных и репродуктивных клеток водорослей — представителей всех крупных таксонов (отделов и классов), благодаря которым открыты разные типы тонкой структуры хлоропластов, пиреноидов, стигм, клеточных покровов, выяснены ультраструктурные особенности локомоторного и ядерного аппаратов, митоза и цитокинеза, митохондриальных крист, других органелл. Изучают структурно-функциональные особенности цитоплазматических и митотических микротрубочек и ассоциированных с ними микрофибрилл, аппарата Гольджи, эндоплазматической сети, вакуолярной системы, микротелец, особенности химического состава и локализации включений, явления полиплоидии и анеуплоидии (Dodge, 1973; Picket-Heaps, 1975; Седова, 1977; Progress..., 1982, 1983 и др.). Значительное внимание привлекают исследования кариотипов (числа и морфологии хромосом) водорослей, сведения о них систематически публикуются в постоянных сериях "Index to Plant Chromosome Numbers". Изучают также изменчивость цитологических (ультраструктурных) признаков водорослей в онтогенезе и под влиянием различных химических и физических факторов, процессы репарации и адаптации на клеточном уровне (Банникова и др., 1985).

В литературе широко обсуждается возможность использования ультраструктурных признаков для интерпретации филогении и эволюции водорослей (Dodge, 1973, 1974; Picket-Heaps, 1975; Stewart, Mattox, 1975; Седова, 1977; Moestrup, 1978; Hibberd, Norris, 1984 и др.).

Одним из важнейших событий в эволюционной биологии XX в. было открытие двух типов строения клетки: прокариотического и эукариотического, а также осознание глубоких принципиальных различий между прокариотическими и эукариотическими организмами не только в ультраструктурном, но и в генетическом, химическом, физиологическом и биологиче-

ском отношении (ср. Громов, 1976; Масюк, 1984). Эти различия, а также отсутствие каких-либо промежуточных организмов, позволяющих судить о путях происхождения эукариотической клетки и всех эукариот в целом, делают эту проблему одной из самых загадочных и актуальных в современной эволюционной биологии. Прогрессу в ее решении в значительной степени способствует изучение разнообразного мира древнейших фотоавтотрофных растений — водорослей. Выявление различных ультраструктурных типов хлоропластов и корреляции между тонкой структурой пластид и химическим составом фотосинтетических пигментов, открытие нового отдела прокариотических водорослей (Prochlorophyta Lewin), выявление новой цитоплазматической органеллы — нуклеоморфа — у криптофитовых представляют с этой точки зрения особый интерес (Selected papers..., 1982; Масюк, 1984a).

Структурные особенности хлоропластов, стигм, клеточных покровов, жгутикового аппарата (особенно фибриллярных структур, ассоциированных с базальными телами, переходной зоны жгутиков, чешуек на их поверхности), благодаря их стабильности в пределах крупных систематических групп и корреляции с другими, прежде всего, химическими особенностями, оказались наиболее ценными таксономическими признаками на самых высоких уровнях (отдел, класс). Внимание систематиков привлекают также данные об ультраструктурных особенностях митоза и цитокинеза, митохондриальных крист, эджективных органелл, пиреноидов, о числе и морфологии хромосом и др.

Однако, несмотря на громадный объем новой информации, касающейся субклеточной организации водорослей, цитологическому исследованию пока подвергнуто сравнительно небольшое число видов водорослей. Дальнейшие исследования могут привести к обнаружению неожиданных фактов и открытию новых для науки таксонов высшего ранга, в частности, принадлежащих к прокариотическим водорослям (Procaryophycobionta Kondrat) (Кондратьева, 1981; Визначник..., 1984).

Продолжаются интенсивные исследования онтогенеза и жизненных циклов водорослей, нередко с привлечением, наряду с традиционными, новых цитологических, биохимических и физиологических методов (First international..., 1982; Metraux, 1982; Progress..., 1982; Хайлов, Парчевский, 1983; Комплексная адаптация..., 1986 и др.). Особое внимание уделяют жизненным циклам зеленых, бурых и красных водорослей, изучение которых на индивидуальном и популяционном уровнях в природе и лаборатории позволило выявить неизвестные прежде стадии, а иногда и типы жизненных циклов, или дать новую интерпретацию ранее известным фактам (Selected papers..., 1982; Петров, 1986, ср. Кондратьева, Масюк, 1981). Интересные подробности жизненных циклов обнаружены у паразитических динофитовых (Selected papers..., 1982). Изучают изменчивость жизненных циклов и факторов, влияющих на их прохождение (Selected papers..., 1982), обсуждают вероятные пути эволюции жизненных циклов (Петров, 1986 и др.). Эти данные используют для филогенетических и систематических построений

(Кондратьева, 1975; Виноградова, 1982 и др.), а также для совершенствования методов аквакультуры (Advance of Phycology..., 1975).

В этом направлении имеются определенные успехи, однако круг вопросов, подлежащих дальнейшим исследованиям (даже в феноменологическом отношении) еще очень широк. Работы по изучению причин и механизмов индивидуального развития водорослей фактически только начинаются.

Стимулируемые потребностями науки и практики бурное развитие в настоящее время получили физиология и биохимия водорослей. Необходимыми предпосылками для развития этих направлений были разработка и широкое применение в практике альгологических исследований методов получения аксенических культур водорослей, а также создание многочисленных коллекций их штаммов. Биохимическому изучению подвергаются отдельные представители практически всех крупных таксонов водорослей, но наибольшее внимание уделяют объектам, представляющим практический интерес. Изучают все классы природных соединений: нуклеиновые кислоты, белки, углеводы, липиды (Physiology and Biochemistry..., 1962; Algae Physiology..., 1974; Selected papers..., 1982). Наиболее существенные особенности современного периода — проведение работ на молекулярном уровне и стремление к изучению изменчивости химических признаков.

В ходе этих исследований накоплен большой материал о химической разнокачественности таксонов водорослей, используемый в целях систематики (хемотаксономии). При этом наибольший интерес представляют фотосинтетические пигменты (хлорофиллы, каротины, ксантофиллы, билипротеины) и продукты метаболизма, в первую очередь углеводы (альгиновые кислоты, фукоидины, агароиды, маннаны, ксиланы, целлюлоза, крахмал, парамилон, гликогенподобные полисахариды, хризоламинарин, ламинарин), липиды (жирные кислоты, углеводороды, стероиды и др.), отлагающиеся либо в виде запасных веществ в цитоплазме или пластидах, либо в клеточных покровах. Данные о химическом составе пигментов, запасных продуктов и клеточных покровов используются в современной систематике водорослей на самых высоких таксономических уровнях (царства, отделы, классы) (Kremer, 1980; Selected papers..., 1982 и др.). Показана возможность использования на низших таксономических уровнях таких признаков, как состав вторичных каротиноидов и количественные соотношения основных групп пигментов (Масюк, 1973; Масюк, Радченко, 1975; Kessler, 1976; Progress..., 1982 и др.). Обсуждается возможность использования для этих целей показателей качества ферментов и их изоферментных спектров, фракционного и аминокислотного состава белков (Gallagher, 1980; Mathieson et al., 1981; Selected papers..., 1982; Масюк и др., 1983; Кузьменко, 1984 и др.).

Полагают (Антонов, 1974; Wopen, Doolittle, 1978; Selected papers..., 1982 и др.), что наибольшую ценность для систематики и филогенетики может принести изучение нуклеиновых кислот (соотношения пар нуклеотидов, степени их сблокированности, их последовательности в молекулах

ДНК и РНК), а также структурной организации белков на третичном и четвертичном уровнях, последовательности аминокислот в их молекулах и др. В связи с методическими трудностями и недостатком сравнительных данных названные подходы пока не принесли ощутимых результатов для систематики водорослей, однако они, несомненно, являются перспективными и наряду с другими заслуживают дальнейшего развития (ср. Масюк, 1981).

Тенденции развития основных классов соединений в ходе эволюции органического мира (в том числе водорослей) рассмотрены в монографии Е.Г.Судьиной и Г.И.Лозовой (1982).

Заслуживает внимания иммунохимическое направление в изучении водорослей, проводимое с целью уточнения родственных связей и систематического положения отдельных таксонов (Kaushik et al., 1981 и др.). Химические методы используют также для изучения разнокачественности и причин репродуктивной изоляции популяций, что представляет особый интерес в связи с проблемой вида у водорослей (Mathieson et al., 1981).

Использование водорослей в качестве модельных и тест-объектов, объектов аквакультуры и биотехнологии способствовало накоплению большого объема материалов об особенностях их метаболических процессов (фотосинтеза, дыхания, минерального и органического питания, процессов транспорта, биосинтеза различных соединений, регуляторных процессов, роста и развития, подвижности и др.) (Physiology and Biochemistry, 1962; Algal Physiology..., 1974; Kessler, 1976; Selected papers..., 1982 и др.). Выявлена физиологическая разнокачественность водорослей по таким показателям, как отношение к различным источникам углерода, азота и других элементов питания, к активной реакции среды, способность к восстановлению нитратов, к фиксации молекулярного азота, к метаболизированию H_2 , обусловленная наличием или отсутствием гидрогеназы, к гидролизу крахмала, к разжижению желатины, кислотная и солевая толерантность, термофильность, потребность в витаминах, осмотическое давление клеток и способы осморегуляции и др. Это послужило основанием для применения их в таксономических целях. За немногими исключениями (например, азотфиксация, рассматриваемая на уровне царств или даже надцарств живой природы) (ср. Масюк, 1984а) эти показатели в связи с широкими пределами их вариабельности используются на низших таксономических уровнях или для выявления химической разнокачественности популяций (Воденичаров, 1973; Масюк, 1973; Kessler, 1976 и др.). Более широкое использование физиолого-биохимических критериев в систематике водорослей на разных таксономических уровнях лимитируется небольшим количеством работ, проведенных в сравнительном плане на достаточно обширном количестве объектов. Формирование физиологии и биохимии отдельных таксономических групп водорослей еще только начинается.

Генетическое направление в изучении водорослей развивается в основном на основании использования их в качестве удобных модельных объектов для изучения действия различных мутагенных факторов и характерис-

тики спектра получаемых мутаций, исследования механизмов рекомбинации и репарации, для получения половых и соматических гибридов и др. (The Genetics of Algae, 1976; Selected papers..., 1982 и др.). В процессе работ использованы традиционные и новые генетические подходы. Развитию генетических исследований водорослей способствовало, в частности, появление нового поколения флуорохромов, высокоспецифичных по отношению ДНК (Selected papers..., 1982). Особое значение придается электрофоретическим методам исследования энзимов, позволяющим определять уровень внутривидовой генетической изменчивости (Gallagher, 1980; Mathieson et al., 1981; Selected papers..., 1982). В последние десятилетия генетика водорослей начала развиваться как молекулярная (Selected papers..., 1982), больше внимания стали уделять исследованию разнокачественности и репродуктивной изолированности популяций водорослей (ср. Mathieson et al., 1981), т.е. изучению вопроса, имеющего существенное значение в связи с проблемой вида у этих организмов.

Особое внимание привлекают генетические системы прокариот (в том числе и синезеленых водорослей), исследование которых позволило выявить высокую степень их специфичности, рассматриваемую на уровне царств (надцарств) живой природы (ср. Масюк, 1984а). Опыты по скрещиванию нередко используют для выяснения таксономического статуса исследуемых популяций водорослей (Масюк, 1973; Bolton et al., 1983 и др.) или как метод повышения продуктивности объектов марикультуры (Advance of Phycology..., 1975). С целью уточнения некоторых вопросов систематики и филогенетики, для определения степени гомологичности ДНК используют метод молекулярной гибридизации (Kerfin, Kessler, 1978 и др.). Однако эти приемы, как и другие методы "геносистематики", пока не получили в альгологии широкого распространения.

Эколого-ценологическое исследование водорослей — одно из наиболее бурно развивающихся направлений современной альгологии. Преобладающее большинство работ проводится как неотъемлемая составная часть комплексных гидробиологических исследований, имеющих, как уже подчеркивалось, большое хозяйственное и природоохранное значение.

Современная экология водорослей удачно совмещает наблюдения в природе с экспериментом в лаборатории (Progress..., 1982 и др.), исследования проводятся на разных уровнях (в том числе на уровне популяций и сообществ) с использованием математических методов и компьютеров (Парчевский и др., 1980; Рузова, Крупаткина, 1983 и др.). Сделаны попытки применения дистанционных методов картирования пространственного распределения водорослей (Космос — Земле, 1981; Бункин и др., 1984 и др.). С целью изучения распределения водорослей в водоемах используются методы флуоресцентного анализа содержания и состояния хлорофилла, осуществляемые по ходу судна и сопровождаемые автоматической регистрацией результатов (Сиренко и др., 1982).

При изучении почвенных и водных (особенно морских) водорослей все шире применяется ценологический подход (Калугина-Гутник, 1975;

Новичкова-Иванова, 1980; Окснюк, 1982 и др.), при котором используют приемы геоботанических работ. Исследуется структура сообществ с доминированием водорослей, их сукцессия, распространение и др. Водоросли рассматривают как неотъемлемый компонент экосистем (Окснюк, 1985; Константинов, 1986), изучение которых производится комплексно, при участии специалистов разного профиля.

В процессе аутоэкологических исследований изучают влияние на водоросли различных экологических факторов окружающей среды. Получено множество фактических данных. Нередко подобные исследования перекликаются с эколого-физиологическими и эколого-морфологическими. Начато, в частности, изучение жизненных форм водорослей (Макарова, 1974; Петров, 1974; Штина, Голлербах, 1976)*, выделение которых (в отличие от установления основных форм строения тела) требует достаточных знаний об обусловленности данной структуры определенными свойствами окружающей среды (Кондратьева, 1975а; Визначник..., 1984). Сведения о водорослях учтены при построении новейших классификаций экоморф живых организмов (Алеев, 1986). Есть основание ожидать становления в альгологии специального экоморфологического направления, основной задачей которого будет исследование жизненных форм водорослей.

Большое внимание в альгологии уделяется изучению отдельных экологических групп водорослей, в том числе так называемого пикопланктона (Selected papers ..., 1982). Исследование почвенных водорослей приобрело такой размах (Голлербах, Штина, 1969; Штина, Голлербах, 1976а и др.), что почвенную альгологию уже можно рассматривать как самостоятельный раздел альгологии. Начато изучение населения нефтяных агрегатов в гипонейстали (Бенжицкий, 1980 и др.).

В процессе экологических исследований накоплено большое количество сведений о многих таксонах водорослей. Однако в связи с огромным таксономическим и экологическим разнообразием этих организмов их экологические особенности (на всех уровнях организации и познания) остаются слабо изученными.

Следует упомянуть также о значении водорослей для практики других научных исследований, при проведении которых их нередко используют в качестве индикаторных или модельных объектов. В теории и практике геологических исследований водоросли учитывают как индикаторы возраста осадочных пород. Достижения в области диатомового анализа, изучение известкового наннопланктона и открытия в области исследования древнего и древнейшего фитопланктона, докембрийских и фанерозойских прокариот имеют не только большое научное, методологическое значение в выяс-

* Существуют разные подходы к определению понятия и классификации жизненных форм (или, как их еще называют, экоморф, биоморф, Алеев, 1986). Жизненные формы гидробионтов (фитопланктон, фитобентос и др.), выделяемые в гидробиологии (см., например, Константинов, 1986), соответствуют, скорее всего, представлению об экологических группах организмов.

нении времени возникновения жизни на Земле и путей эволюции органического мира, в воссоздании научной картины мира, но и непосредственное приложение к решению проблемы освоения недр Земли, разведки полезных ископаемых (Актуальные вопросы..., 1986). Докембрийские отложения, ранее считавшиеся "немыми" — это 7/8 геологической истории нашей планеты. К ним приурочены важнейшие полезные ископаемые: 70 % мировых запасов железных руд, 2/3 урана и марганца; 95 % кобальта, важнейшие месторождения золота, меди, фосфоритов и др. Выявление органических остатков в докембрийских отложениях, выяснение их хронологической изменчивости помогают определять возраст осадочных пород, прогнозировать месторождения полезных ископаемых. Изыскиваются также возможности использования водорослей (в частности, с помощью метода диатомового анализа) в археологии и юриспруденции (Matskainen, Alhonen, 1984) для биотестирования новых медпрепаратов и др. (Denizot, 1985).

Водоросли, которым свойственны характерные признаки растительных организмов, удобные модельные объекты для проведения различных научных исследований. Большое значение при этом имеют микроскопические размеры многих их представителей и краткость жизненного цикла, позволяющие экономить материальные средства, необходимые для проведения эксперимента, а также время исследователя. Так, виды *Chlorella* Beijer являются классическим модельным объектом для изучения процессов дыхания, фотосинтеза, разработки методов управляемого биосинтеза ряда органических соединений, мутагенного воздействия химических и физических факторов среды и др. На представителях рода *Dunaliella* Teod. исследуют явления солеустойчивости, биосинтеза каротина и глицерина. Виды *Chlamydomonas* Ehr. относятся к числу широко используемых объектов генетических исследований. Именно у одного из видов *Chlamydomonas* впервые было обнаружено наличие хлоропластной ДНК, отличающейся от ядерной. Виды *Acetabularia* Lamour. и *Chara* L. — удобные модельные объекты для изучения ядерно-цитоплазматических отношений, исследования электрического мембранного потенциала. Одноклеточные водоросли — высокочувствительные тест-объекты при испытании действия различных мутагенов, пестицидов, фунгицидов, инсектицидов и других ядохимикатов, ферментных и витаминных препаратов, стимуляторов роста и других физиологически активных веществ. Водоросли — удобные модельные объекты для исследования цитофизиологических процессов, физиологии и биохимии митоза и цитокинеза, биогенеза клеточной оболочки, подвижности, сингамии, механизмов возникновения полярности. Некоторые водоросли могут быть использованы в качестве теста при определении канцерогенности вещества (*Porphyra* Ag.) или служить модельным объектом для выяснения общих закономерностей продолжительности жизни (*Coccomyxa* Schmid.) (Ishio et al., 1972; Плакунова и др., 1980).

Водоросли — важнейший модельный объект эволюционной биологии. Изучение их способствует выяснению путей морфологической и химиче-

ской эволюции в растительном мире, происхождения эукариотической клетки, наземных высших растений, возникновения многоклеточности, полового процесса, эволюции ядерного и фотосинтетического аппаратов и др. (ср. Масюк, 1986а, б).

Использование водорослей в качестве модельных объектов других наук при возрастающем стремлении к комплексированию исследований ведет к становлению новых направлений альгологии. В процессе геологических исследований, связанных с изучением осадочных пород, началось формирование палеоальгологии (Ищенко, 1985), которую в настоящее время можно рассматривать не только как особую отрасль палеоботаники, но и как одно из направлений альгологии. Использование водорослей в качестве модельных объектов генетики привело к развитию генетического направления альгологии. Можно ожидать становления биофизики водорослей и др.

Заметное влияние на формирование новых направлений альгологии оказало использование современных методологических подходов. В процессе становления находится популяционная морфология водорослей. Появились первые исследования, которые можно рассматривать как популяционно-генетические. Вместе с тем уже осознана необходимость не только дифференциации, но и интеграции альгологических исследований, в том числе проводимых на разных уровнях организации водорослей (Комплексная адаптация..., 1985).

* * *

Таким образом, современная альгология — это актуальная многоотраслевая наука, объем которой (в связи с огромным разнообразием объектов исследования и применяемых для их изучения методов) становится все более обширным. В перспективе — более четкая дифференциация альгологии на отдельные дисциплины (аналогичные тем, которые уже выделились из общей ботаники высших растений). Следует ожидать также выявления новых закономерностей в результате проведения комплексных работ и синтеза получаемых знаний.

Наблюдаемая в настоящее время интенсификация альгологических исследований в значительной мере обусловлена запросами практики и потребностями смежных наук, как биологического, так и небиологического профиля и существенно зависит от новейших достижений науки и техники, а также от господствующего стиля научного мышления. Как и во многих других науках, наряду с доминирующим в наши дни развитием прикладных исследований и связанных с ними направлений в альгологии увеличилась доля фундаментальных, теоретических разработок. На основании эмпирических знаний выдвигаются новые теоретические положения и гипотезы. Проявляется стремление не только к анализу, но и к синтезу полученных знаний. В различных областях альгологических исследований увеличивается удельный вес экспериментальных и комплексных работ, расширяется применение математических методов. Наряду с историческим все чаще используют системный, экологический и вероятностный подходы. Исследования проводят на всех

уровнях познания и организации водорослей (в том числе молекулярном, субклеточном, популяционном). Значительное внимание уделяется выявлению закономерностей, причин и механизмов явлений, а также специальному исследованию изменчивости объектов и процессов.

Перспективы развития альгологии согласуются с общими перспективами современной биологии, к которым относят (Проблемы и перспективы..., 1986) развитие молекулярной и физико-химической биологии, расширение работ в области генетики и геномной инженерии, разработку теории индивидуального развития и теории эволюции, переход к управляемой эволюции (и, в связи с этим, всестороннее исследование популяций и биогеоценозов как объектов управления), разработку общих мероприятий по охране природы, сохранения генофондов, существующих в биосфере, а также такого использования ресурсов Земли, которое бы не нарушало ее производительности. В конце XX — начале XXI ст. ведущую роль в альгологии сохраняют прикладные исследования, развивающиеся по двум основным направлениям: охрана окружающей среды и рациональное использование водорослей. Будут интенсифицированы также исследования по всем основным фундаментальным направлениям альгологии (в том числе систематике и флористике), которые создадут теоретические основы решения наиболее актуальных хозяйственных проблем.

К числу очередных задач современной альгологии относятся следующие.

В области прикладной альгологии:

Разработка принципов и методов охраны генофонда водорослей и определение критериев составления списков редких и исчезающих их видов.

Разработка дополнительных методов экологического мониторинга водных и почвенных экосистем (в частности, специальных тестов морфологического контроля за состоянием популяций водорослей).

Составление определителя водорослей-индикаторов сапробности. Создание атласа морфологических уродств водорослей, возникающих под влиянием неблагоприятных экологических факторов, рассчитанного, прежде всего, на работников санитарно-гигиенических служб и лиц, участвующих в мониторинге водоемов.

Сравнительное исследование влияния ионизирующей радиации на представителей разных групп водорослей и изучение накопления ими радионуклидов в разных условиях существования, прежде всего в водоемах-охладителях АЭС и примыкающих к ним водных системах.

Интенсифицирование исследований, направленных на разработку технологии получения биогаза как источника энергии из биомассы водорослей, выращиваемых на сточных водах.

Изыскание новых перспективных объектов и методов биотехнологии и аквакультуры с целью получения дополнительных источников пищевых и кормовых продуктов, промышленного сырья, физиологически активных соединений, фармацевтических препаратов и др.

Выработка рекомендаций по использованию водорослей в земледелии, прежде всего в районе орошаемых земель.

Продолжение исследований, направленных на изучение влияния факторов космического полета на морфологические, физиолого-биохимические и генетические свойства микроскопических водорослей — перспективных компонентов биологических систем жизнеобеспечения человека.

В области фундаментальных направлений:

Пересмотр принципов классифицирования направлений альгологических исследований и разработка структуры современной альгологии как науки.

Уточнение и унификация понятийно-терминологического аппарата альгологии. Издание соответствующего словаря терминов, а также справочника по водорослям. Подготовка и публикация на русском языке учебника по водорослям, отражающего современные знания об этих организмах.

Обсуждение вопросов эволюции и филогении водорослей на современном уровне знаний.

Продолжение работ по инвентаризации видового состава современных водорослей всех типов местообитаний, анализ альгофлоры хорошо изученных в этом отношении регионов (с широким применением математических методов), прежде всего в отношении ее систематической, экологической и географической структуры. Дальнейшее исследование ископаемых водорослей.

Составление флористических сводок разного типа (зависящего от уровня изученности конкретных регионов). Организация альготек и иконотек при ведущих центрах исследования водорослей.

Изучение динамики альгофлоры под влиянием антропогенных факторов и исследование естественных запасов хозяйственно важных форм водорослей. Изыскание путей их рационального использования, возобновления и обогащения.

Разработка теоретических, терминологических и методических проблем систематики водорослей. Критический анализ существующих и разработка новых принципов классифицирования водорослей и построения их филогенетических схем.

Обсуждение вопросов морфологической, возрастной и экологической структуры локальных популяций водорослей, разработка способов определения их границ. Изучение популяционной структуры модельных видов. Обсуждение вопроса о специфике эволюции у представителей конкретных отделов водорослей.

Количественное исследование внутривидовой фенотипической изменчивости водорослей (в динамическом и статическом аспектах) на всех уровнях их организации (субклеточном, клеточном, организменном, популяционном) с учетом ранга оцениваемых совокупностей особей. Разработка общей классификации частных случаев изменчивости водорослей.

Развитие комплексных исследований адаптации водорослей к условиям окружающей среды при одновременном учете всех структурных уровней их организации.

Разработка основ популяционной морфологии водорослей одновременно как раздела альгологии и особого направления популяционной биологии.

Дальнейшая разработка учения о морфологическом параллелизме в мире водорослей.

Интенсификация работ в области развития функциональной морфологии (морфофизиологии) водорослей, проводимых как в феноменологическом аспекте (изучение закономерностей онтоморфогенеза), так и в направлении выяснения причин и механизмов наблюдающихся преобразований.

Дальнейшее развитие биохимических и цитологических исследований водорослей, в том числе в динамическом аспекте. Расширение круга исследуемых таксонов, а также числа изучаемых популяций каждого вида. Построение рядов морфологического прогресса субклеточных структур, а также рядов химического прогресса водорослей как дополнительного фактического материала, пригодного для использования в процессе обсуждения вероятных путей исторического развития водорослей.

Интенсификация работ по изучению генетики водорослей. Разработка приемов, пригодных для исследования генетики естественных популяций и проведения работ в области геной инженерии.

Обобщение и анализ (с позиций системного подхода) существующих данных о водорослях как компонентах водных и почвенных экосистем. Обсуждение принципов альгоценологии.

Разработка принципов выделения и классифицирования жизненных форм водорослей.

Изучение экологической валентности наиболее распространенных видов. Установление видового состава разных экологических групп водорослей.

Изучение систематической принадлежности представителей пикопланктона с применением электронно-микроскопических и физиолого-биохимических методов.

Изучение условий культивирования конкретных таксонов водорослей, пригодных для их идентификации. Разработка правил номенклатуры культивируемых микроскопических водорослей (в качестве особого дополнения к Международному кодексу ботанической номенклатуры).

Разработка принципов написания и издание хорошо иллюстрированного определителя почвенных и азрофитных водорослей, учитывающего особенности их индивидуального развития в культуре.

Для решения намеченных задач необходимо организовать подготовку кадров молодых альгологов на необходимом методическом и теоретическом уровнях при тесном содружестве сотрудников соответствующих кафедр университетов и академических учреждений.

В заключение приходится подчеркнуть, что оправданное стремление к новому в наше время привело к перераспределению научных интересов

альгологов не в пользу классических направлений. В результате этого значительно уменьшилось число работ в области морфологии, систематики и флористики. Последнее вызывает тревогу, так как эти исследования, создающие научный фундамент для развития остальных направлений альгологии, далеки от завершения. Недооценка их значимости со временем может привести к кризисному состоянию в альгологии. Поэтому сегодня на повестке дня — гармоничное развитие всех направлений альгологической науки (как новых, так и традиционных), конечно, с некоторым преобладанием исследований, направленных на решение наиболее актуальных проблем человеческого общества, и наряду с этим — проведение глубокого целенаправленного анализа и синтеза полученных результатов на основе диалектико-материалистической методологии. На этом пути можно ожидать как новых достижений прикладной альгологии, способствующих удовлетворению насущных практических нужд человечества, так и открытия общих, еще не познанных закономерностей структурной организации и функционирования низших фотоавтотрофных растений и, в результате этого, — развития общей альгологии как особого раздела науки о водорослях, интересного не только в альгологическом, но и в общебиологическом отношении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Агеев Ю.Г. Экоморфология. — Киев : Наук. думка. — 1986. — 424 с.
- Актуальные вопросы современной палеоальгологии. — Киев : Наук. думка. — 1986. — 160 с.
- Аманов Ч.А., Байрамов Р., Альбицкая О.Н. и др. Выращивание микроводорослей с использованием солнечной энергии // Изв. АН ТуркмССР. Сер. физ.-техн., хим. и геол. наук. — 1981. — № 2. — С. 42–45.
- Антонов Г.С. Геноматематика, достижения, проблемы и перспективы // Успехи соврем. биологии. — 1974. — 77, № 2. — С. 31–47.
- Асаул-Ветрова З.И. Экологические особенности эвгленовых водорослей и закономерности распределения их на территории Украины // Проблемы гидробиологии и альгологии. — Киев : Наук. думка, 1978. — С. 49–67.
- Баев А.А., Злотников К.М. Биологическая фиксация азота и генетическая инженерия // Биотехнология. — М. : Наука, 1984. — С. 217–223.
- Банникова В.П., Хведынич О.А., Шилева С.П. и др. Половые клетки и оплодотворение у покрытосеменных и водорослей. — Киев : Наук. думка, 1985. — 220 с.
- Баянова Ю.И., Трубочев И.И. Сравнительная оценка витаминного состава некоторых одноклеточных водорослей и высших растений, выращенных в искусственных условиях // Прикл. биохимия и микробиология. — 1981. — 17, № 3. — С. 400–407.
- Белянин В.Н. Светозависимый рост низших фототрофов. — Новосибирск : Наука, 1984. — 94 с.
- Белянин В.Н., Сидько Ф.Я., Тренкеншу Р.П. Энергетика фотосинтезирующей культуры микроводорослей. — Новосибирск : Наука, 1980. — 136 с.
- Бенжикский А.Г. Нефтяные загрязнители в гипонейстали морей и океанов. — Киев : Наук. думка, 1980. — 120 с.
- Братчиков Н. Огород под волнами. — Правда, 1976, 24 сент.
- Бункин А.Ф., Власов Д.В., Миркамов Д.М., Слободянин В.П. О лазерном аэрозондировании профиля мутности и картирование распределения фитопланктона // Докл. АН СССР. — 1984. — 279, № 2. — С. 335–337.
- Винберг Г.Г. Первичная продукция водоемов. — Минск : Изд-во АН БССР, 1960. — 331 с.
- Винберг Г.Г., Остапеня П.В., Сивко Т.Н., Левина Р.И. Биологические пруды в практике очистки сточных вод. — Минск : Беларусь, 1966. — 231 с.
- Виноградова К.Л. Современные классификации зеленых водорослей (Chlorophyta) и опыт построения их филогенетической системы // Ботан. журн. — 1982. — 67, № 12. — С. 1600–1608.
- Виноградова К.Л. К истории формирования морской флоры Chlorophyta. — Л. : Наука, 1984. — 68 с.
- Внутривидовая морфологическая изменчивость синезеленых водорослей / Под ред. Н.В.Кондратьевой. — Киев : Наук. думка, 1980. — 284 с.
- Воденичаров Д.Г. Физиолого-биохимични белезни в таксономията на едноклеточни водоросли. 3. Осмотично налягане // Науч. тр. Пловдив. ун-та. — 1973. — 11, № 5. — С. 55–68.
- Воденичаров Д.Г., Киряков Ив. Биометрични изследвания върху видове от разред Zygnematales в НР България. I, II // Науч. тр. Пловдив. ун-та. Биология. — 1980. — 18, № 4. — С. 16–31.
- Воробьева Л.И. Промышленная микробиология. — М. : Знание, 1985. — 64 с.
- Воронцов Н.Н. Теория эволюции: истоки, постулаты и проблемы. — М. : Знание, 1984. — 64 с.
- Гапошча Л.Д. Об адаптации водорослей. — М. : Изд-во Моск. ун-та, 1981. — 80 с.
- Герасименко Н.И. Морские водоросли как перспективный объект для выделения гли-
- колитидов // Биологические ресурсы шельфа, их рациональное использование и охрана. — Владивосток, 1983. — С. 20–21.
- Голлербах М.М., Штина Э.А. Почвенные водоросли. — Л. : Наука, 1969. — 228 с.
- Горюнова О.И., Спекторова Л.В., Носова Л.П., Альбицкая О.Н. Способ получения биомассы золотистой водоросли монохризис — кормового объекта для марихозяйств // Культивирование морских организмов. — М. : Наука, 1985. — С. 160–170.
- Горюнова С.В., Демина Н.С. Водоросли — продуценты токсических веществ. — М. : Наука, 1974. — 256 с.
- Горюнова С.В., Ржанова Г.Ц., Орлеанский В.К. Синезеленые водоросли. — М. : Наука, 1969. — 228 с.
- Грант В. Видообразование у растений. — М. : Мир, 1984. — 528 с.
- Громов Б.В. Ультраструктура синезеленых водорослей. — Л. : Наука, 1976. — 91 с.
- Гусев М.В., Гохлернер Г.Б. Свободный кислород и эволюция клетки. — М. : 1980. — 224 с.
- Джус В.Е. Распределение и запасы промысловых бурых водорослей Мурманского побережья Баренцова моря. — Апатиты : Мор. биол. ин-т, 1984. — 89 с.
- Дилов Х.В. Микроводоросли : Массово культивируемые и приложение. — София, 1985. — 194 с.
- Дудкин М.С., Шкантова Н.Г., Хант С.З., Скорнякова Н.С. Морские водоросли Cystoseira и Cladophora как сырье для получения простых сахаров и кормовых дрожжей // Науч. докл. высш. шк. Биол. науки. — 1965. — № 3. — С. 125–129.
- Зеров Д.К. Очерк филогении бессосудистых растений. — Киев : Наук. думка, 1972. — 315 с.
- Щенко А.А. Основные направления изучения выскопных водорослей // Укр. ботан. журн. — 1985. — 42, № 6. — С. 74–77.
- Калушина-Гутник А.А. Фитобентос Черного моря. — Киев : Наук. думка, 1975. — 247 с.
- Карпинская Р.С. Биология и мировоззрение. — М. : Мысль, 1980. — 208 с.
- Комплексная адаптация цистозир к градиентным условиям. Научные и прикладные проблемы. — Киев : Наук. думка, 1985. — 216 с.
- Кондратьева Н.В. Морфология и систематика гормононьевых водорослей, вызывающих "цветение" воды в Днепре и днепровских водохранилищах. — Киев : Наук. думка, 1972. — 150 с.
- Кондратьева Н.В. Морфогенез и основные пути эволюции гормононьевых водорослей. — Киев : Наук. думка, 1975. — 302 с.
- Кондратьева Н.В. Уровневый подход к исследованию внутривидового разнообразия линейных размеров клеток синезеленых водорослей // Флора, систематика и филогения растений. — Киев : Наук. думка, 1975. — С. 73–78.
- Кондратьева Н.В. О недопустимости подчинения номенклатуры синезеленых водорослей (Cyanophyta) действию Международного кодекса номенклатуры бактерий // Ботан. журн. — 1981. — 66, № 2. — С. 215–226.
- Кондратьева Н.В. Головні тенденції розвитку сучасної альгології // Укр. ботан. журн. — 1985. — 42, № 6. — С. 14–22.
- Кондратьева Н.В. Морфологический подход к исследованию изменчивости популяций водорослей континентальных водоемов // Гидробиолог. журн. — 1986. — 22, № 2. — С. 7–13.
- Кондратьева Н.В., Галубкова М.Г., Шевченко Т.Ф. Вплив гострого γ-промінювання (⁶⁰Co) на морфологічні особливості Microcystis aeruginosa Kuetz. emend Elenk. та Anabaena cylindrica Lemm. // Укр. ботан. журн. — 1986. — 43, № 3. — С. 18–23.
- Кондратьева Н.В., Коваленко О.В., Приходькова Л.П. Визначник прісноводних водоростей Української РСР. Синьозелені водорості — Cyanophyta. — Київ : Наук. думка, 1984. — 388 с.
- Кондратьева Н.В., Масюк Н.П. Актуальные проблемы морфологии водорослей // Проблемы эволюционной морфологии и биохимии в систематике и филогении растений. — Киев : Наук. думка, 1981. — С. 157–176.
- Кондратьева Н.В., Чопик В.Г. Теоретичні проблеми сучасної систематики живих організмів // Укр. ботан. журн. — 1979. — 36, № 4. — С. 289–296.

- Кондратьева Н.В., Шапала В.П. Про залежність результатів дискримінації сукушностей індивідів від використання багатомірних математичних критеріїв // Укр. ботан. журн. — 1984. — 41, № 1. — С. 95—100.
- Кондрашова О.С. Пятый приморский семинар по марикультуре // Биология моря. — 1981, № 5. — С. 85—87.
- Константинов А.С. Общая гидробиология. — М.: Высш. шк., 1986. — 472 с.
- Кордюм В.А. Эволюция и биосфера. — Киев: Наук. думка, 1982. — 262 с.
- Космос — Земле. — М.: Наука, 1981. — 152 с.
- Красная книга СССР. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды животных и растений. — М.: Лесн. пром-сть, 1984. — 392 с.
- Кузнецов Ю.В., Щebetковский В.Н., Трусов А.Г. Основы дезактивации воды. — М.: Атомиздат, 1968. — 318 с.
- Кузьменко Е.А. Фрагментний склад біків двох видів зелених водоростей роду *Dunaliella* Teod. // Укр. ботан. журн. — 1984. — № 4. — С. 58—61.
- Кузьменко М.И. Миксотрофизм синезеленых водоростей и его экологическое значение. — Киев: Наук. думка, 1981. — 211 с.
- Кузьмин Ю.Ю., Калинин В.И., Корельская В.М., Галышева Л.Н. Применение сапропеля для рекультивации земель в условиях Заполярья // Газ. пром-сть. — 1984. — № 9. — С. 33.
- Культивирование и применение микроводоростей в народном хозяйстве. — Ташкент: ФАН, 1977. — 135 с.
- Культивирование и применение микроводоростей в народном хозяйстве. — Ташкент: ФАН, 1980. — 152 с.
- Кучарова М.А., Покровская Н.Н. Действие гербицидов на альгофлору рисовых полей. — Ташкент: ФАН, 1981. — 120 с.
- Лавітська З.Г. Корисні нижчі рослини. — Київ: Вид-во Київ. ун-ту, 1968. — 228 с.
- Макарова И.В. О жизненных формах у морских диатомовых водоростей // Новости сист. низших растений. — 1974. — Вып. 11. — С. 3—19.
- Макарова И.В. Классификация диатомовых водоростей на современном этапе и проблема построения их филогенетической системы // Ботан. журн. — 1986. — 71, № 6. — С. 713—722.
- Маргелис Л. Роль симбиоза в эволюции клетки. — М.: Мир, 1983. — 352 с.
- Масюк Н.П. Морфология, систематика, эволюция, географическое распространение рода *Dunaliella* Teod. и перспективы его практического использования. — Киев: Наук. думка, 1973. — 242 с.
- Масюк Н.П. Морфологический параллелизм и систематика водоростей // Проблемы эволюционной морфологии и биохимии в систематике и филогении растений. — Киев: Наук. думка, 1981. — С. 176—188.
- Масюк Н.П. Некоторые проблемы систематики водоростей // Биологические основы рационального использования, преобразования и охраны растительного мира. — Киев: Наук. думка, 1984. — С. 68—74.
- Масюк Н.П. Проблемы и задачи охраны низших растений // VII конференция по спорным растениям Средней Азии и Казахстана. — Алма-Ата, 1984. — С. 39—40.
- Масюк Н.П. О типах морфологической структуры тела водоростей и основных тенденциях их эволюции // Ботан. журн. — 1985. — 70, № 8. — С. 1009—1018.
- Масюк Н.П. Деякі методологічні аспекти систематики водоростей // Укр. ботан. журн. — 1986. — 43, № 6. — С. 1—8.
- Масюк Н.П., Гук Л.С., Кузьменко Е.А., Миронюк В.И. Влияние фитопланктона на качество воды в Каневском водохранилище. — Киев, 1984. — 42 с. Деп. в УКРНИИДТИ 17.01.85, № 122 Деп.
- Масюк Н.П., Миронюк В.И., Радченко М.И., Кузьменко Е.А. Биохимический критерий в систематике и филогенетике водоростей. — Л.: Наука, 1983. — 89—90 с.
- Масюк Н.П., Радченко М.И. О пигментах зеленых водоростей в связи с некоторыми вопросами таксономии Chlorophycophyta // Флора, систематика и филогения растений. — Киев: Наук. думка, 1975. — С. 92—101.

- Матвиенко А.М. Некоторые итоги гидробиологического изучения водоемов сахарных заводов в связи с очисткой сточных вод // Производственные ресурсы и их использование. — Харьков: Изд-во Харьк. ун-та, 1967. — С. 131—137.
- Маторин Д.Н., Венедиктов П.С., Макевичина М.Г. Применение метода регистрации послеочистки зеленых водоростей для определения загрязненности фитотоксическими веществами почвы и воды // Научн. докл. высш. шк. Биол. науки. — 1975. — № 12. — С. 122—125.
- Морская радиоэкология / Под ред. Г.Г.Поликарпова. — Киев: Наук. думка, 1970. — 276 с.
- Нестер И., Переплеткин Ю. Диатомиты — сырье будущего. — Известия, 1984, 13 авг.
- Новичкова-Иванова Л.Н. Почвенные водоросли фитоценозов Сахаро-Гобийской пустынной области. — Л.: Наука, 1980. — 255 с.
- Овчинников Ю.А. Продовольственная программа и задачи биологии // Достижения биологии продовольственной программе. — М.: Знание, 1984. — С. 3—15.
- Оксиюк О.П. Водоросли каналов мира. — Киев: Наук. думка, 1973. — 208 с.
- Оксиюк О.П. Ценологична характеристика каналів південної частини УРСР // Укр. ботан. журн. — 1982. — 39, № 5. — С. 29—33.
- Оксиюк О.П. Вивчення в установах АН УРСР водоростей як компонентів прісноводних екосистем // Укр. ботан. журн. — 1985. — 42, № 6. — С. 64—74.
- Олейник Г.П. Водоросли очистных сооружений производства минеральных удобрений: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Киев, 1985. — 23 с.
- Основные принципы прогнозирования качества воды в каналах и пути ограничения биологических помех. — Киев: Наук. думка, 1974. — 76 с.
- Паламарь-Мордвинцева Г.М. Десмидиевые водоросли Украинской ССР: Морфология, систематика, филогения, пути эволюции, флора и географическое распространение. — Киев: Наук. думка, 1982. — 289 с.
- Панкратова Е.М. Роль синезеленых водоростей как накопителей азота в почвах умеренной зоны // VI съезд Всесоюзного микробиологического общества. На главных путях научно-технического прогресса. — Рига, 1980. — С. 45.
- Парчевский В.П., Бурлакова З.П., Крупаткина Д.К., Кирикова В.М. Многомерный анализ взаимоотношений фитопланктон — среда в Севастопольской бухте // Экология моря. — 1980. — Вып. 1. — С. 21—28.
- Патон Б.Е. Растущая отдача науки // Коммунист. — 1986. — № 14. — С. 20—29.
- Петров Ю.Е. Принципы выделения жизненных форм у морских водоростей // Новости сист. низших растений. — 1974. — Вып. 11. — С. 19—28.
- Петров Ю.Е. Отдел бурые водоросли (Phaeophyta) // Жизнь растений. Водоросли, лишайники. — М.: Просвещение, 1977. — С. 144—192.
- Петров Ю.Е. Эволюция циклов развития у водоростей. — Л.: Наука, 1986. — 60 с.
- Петушкова Ю.П., Кортяева Т.Ф. Изучение зеленых водоростей и цианобактерий, повреждающих памятники архитектуры // Изв. АН СССР. Сер. биол. — 1984. — № 2. — С. 306—308.
- Плакунова В.Г., Плакунова О.В., Гусев М.В. Увеличение видовой продолжительности жизни водоросли *Scolecophyta* путем поддержания клеток на ранних стадиях онтогенеза // Искусственное увеличение видовой продолжительности жизни. — М., 1980. — С. 11.
- Пономарева А.К., Изотова Л.Н., Волгина Т.И. Селекция CN-устойчивых мутантов некоторых штаммов зеленых водоростей с повышенной способностью разрушать цианиды в полупромышленных условиях // Тр. Биол. ин-та Сиб. отд. АН СССР. — 1979. — № 39. — С. 71—75.
- Преснякова О.Е., Добромислова И.Г., Корякова М.Д. Металлы переменной валентности в водорослях Японского моря // Океанология. — 1974. — 14, № 4. — С. 655—659.
- Приймаченко А.Д. Фитопланктон и первичная продукция Днепра и днепровских водохранилищ. — Киев: Наук. думка, 1981. — 278 с.
- Проблемы и перспективы современной биологии // Журн. общ. биологии. — 1986. — XLVII, № 2. — С. 147—153.

- Промысловые водоросли и их использование. — М., 1981. — 112 с.
- Промышленное культивирование микроводорослей. — М.: Наука, 1985. — 155 с.
- Радиационная и химическая экология гидробионтов / Под ред. Г.Г.Поликарпова. — Киев: Наук. думка, 1972. — 117 с.
- Рузова А.И., Круаткина Д.К. Использование метода главных компонент в экологии морского фитопланктона (обзор) // Экология моря. — 1983. — Вып. 13. — С. 65—71.
- Руководство для авторов "Флоры водорослей континентальных водоемов Украинской ССР" / Н.В.Кондратьева, З.И.Ветрова, Н.П.Масюк, О.Б.Блюм. — Киев: Наук. думка, 1984. — 56 с.
- Рычков Р.С. Микробиологическая промышленность в реализации продовольственной программы СССР // Достижения биологии продовольственной программе. — М.: Знание, 1984. — С. 52—63.
- Самоочищение, биопродуктивность и охрана водоемов и водотоков Украины. — Киев: Наук. думка, 1975. — 228 с.
- Седова Т.В. Основы цитологии водорослей. — Л.: Наука, 1977. — 172 с.
- Семаков В.В. Перспективы использования микроскопических водорослей в практике защиты растений от вредных организмов // Тр. ВНИИ с.-х. микробиол. — 1981. — 51. — С. 165—172.
- Семененко В.Е., Абдуллаев А.А. Параметрическое управление биосинтезом β -каротина в клетках *Dunaliella salina* в условиях интенсивной культуры // Физиология растений. — 1980. — 27, № 1. — С. 31—41.
- Сержантов В.Ф. Введение в методологию современной биологии. — Л.: Наука, 1972. — 282 с.
- Сидько Ф.Я., Белянин В.Н. Количественная оценка максимальных КПД фотосинтеза на основе параметрического уравнения // Тезисы докладов VI Всесоюзной конференции по фотоэнергетике растений. — Львов, 1980. — С. 44—45.
- Сиренко Л.А., Гавриленко М.Я. "Цветение" воды и евтрофирование. — Киев: Наук. думка, 1978. — 231 с.
- Сиренко Л.А., Кульский Л.А., Шкваро З.Н. и др. Технология сбора и концентрирования фитопланктона (сестоно) евтрофных водоемов // Гидробиол. журн. — 1986. — 22, № 5. — С. 92—100.
- Сиренко Л.А., Паршикова Т.В. Використання водоростей у господарській практиці // Укр. ботан. журн. — 1985. — 42, № 6. — С. 77—86.
- Сиренко Л.А., Сидько Ф.Я., Франк Н.Д. и др. Вертикальное распределение хлорофилла в евтрофном водоеме как интегральный показатель продукционно-деструктивных процессов // Гидробиол. журн. — 1982. — 18, № 6. — С. 73—83.
- Ситник К.М., Богданова Т.Л. Интеграція ботаничних наук у вирішенні проблем філогенетичної систематики та еволюції рослин // Укр. ботан. журн. — 1981. — 38, № 6. — С. 1—8.
- Сытник К.М., Кордюм В.А., Кордюм Е.Л. и др. Микроорганизмы в космическом полете. — Киев: Наук. думка, 1983. — 156 с.
- Спичак М.К., Чернышов В.И. Достижения и перспективы развития аквакультуры в СССР. — М.: Знание, 1984. — 59 с.
- Старостин И.В., Лебедев Е.М. Биоповреждения в водных средах // Проблемы защиты от биоповреждений. — М.: Знание, 1979. — С. 53—64.
- Судына Е.Г., Лозова Г.И. Основы эволюционной биохимии растений. — Киев: Наук. думка, 1982. — 360 с.
- Тахтаджян А.Л. Растения в системе организмов // Жизнь растений. — М.: Просвещение, 1974. — С. 49—57.
- Тодорова-Трифоновна А., Марудов Г., Белянова Б. Акумулиране на пестицида тордон 22-К от *Scenedesmus acutus* Meyen // Физиология растений. — 1979. — 5, № 2. — С. 81—87.
- Унифицированные методы исследования качества воды. Индикаторы сапробиости. — М.: Изд-во СЭВ, 1977. — 91 с.

- Хайлов К.М., Парчевский В.П. Иерархическая регуляция структуры и функции морских растений. — Киев: Наук. думка, 1983. — 253 с.
- Холл Д. Может ли биологическое преобразование солнечной энергии быть практическим источником энергии // Биохимия за рубежом. — М.: Знание, 1979. — С. 5—17.
- "Цветение" воды. — Киев: Наук. думка, 1968. — 388 с.
- Цоглиш Л.Н., Евстратов А.В., Семененко В.Е. Применение микроводорослей для биосинтеза меченых C^{14} -соединений // Физиология растений. — 1979. — 26, № 1. — С. 215—218.
- Цыганков С.П., Коваленко В.А., Смирнов О.П. Использование микроводорослей для очистки сточных вод // Химия и технол. воды. — 1983. — 5, № 3. — С. 268—270.
- Шепелев Е.Я., Мелешко Г.И., Фофанов Б.И., Цитович С.И. Некоторые итоги изучения системы жизнеобеспечения человека, основанной на деятельности микроорганизмов // Материалы VIII Всесоюзного рабочего совещания по вопросу круговорота веществ в замкнутой системе на основе жизнедеятельности низших организмов. — Киев: Наук. думка, 1974. — С. 10—15.
- Штина Э.А. Почвенные водоросли как пионеры зарастания техногенных субстратов и индикаторы состояния нарушенных земель // Журн. общ. биологии. — 1985. — 46, № 4. — С. 435—443.
- Штина Э.А., Голлербах М.М. Экология почвенных водорослей. — М.: Наука, 1976а. — 144 с.
- Штина Э.А., Голлербах М.М. Почвенные водоросли как индикаторы генезиса и состояния почв // Проблемы и методы биологической диагностики и индикации почв. — М.: Наука, 1976б. — С. 341—349.
- Штина Э.А., Неганова Л.Б., Ельшина Т.А. и др. Особенности почвенной альгофлоры в условиях техногенного загрязнения // Почвоведение. — 1985. — № 10. — С. 97—106.
- Штина Э.А., Некрасова К.А. Реакция почвенных водорослей на антропогенные воздействия // Проблемы антропогенного воздействия на окружающую среду. — М., 1985. — С. 56—62.
- Юркова И.Н., Мишин Е.А. Перспективы использования водорослей в обогащении руд // Вопросы геологии и технологии минерального сырья. — Симферополь, 1985. — С. 83—87.
- Adey W.H., Vassar J.M. Colonization, succession and growth rates of tropical crustose coralline algae (Rhodophyta, Cryptonemiales) // Phycologia. — 1975. — 14, N 2. — P. 55—69.
- Advance of Phycology in Japan / Ed. by J.Tokida, H.Hirose. — Jena: Fischer, 1975. — 355 p.
- Algal Physiology and Biochemistry / Ed. Stewart W.D.P. — Berkeley, Los Angeles: Univ. Calif. press, 1974. — 989 p.
- Anagnostidis K., Economou-Amilli A., Roussomoustakaki M. Epilithic and chasmolithic microflora (Cyanophyta, Bacillariophyta) from marbles of the Parthenon / Acropolis — Athens, Greece]. — Nowa Hedwigia Z. Kryptogamenk. — 1983. — 38, N 1—4. — P. 227—287.
- Asada Y., Tonomura K., Nakayama O. Hydrogen evolution by an isolated strain of *Anabaena* // Rept. Ferment. Res. Inst. — 1982. — N 57. — P. 5—14.
- Bachofen R. The production of hydrocarbons by *Botryococcus braunii* // Experientia. — 1982. — 38, N 1. — P. 47—49.
- Benemann J.R., Weissman J.C., Oswald W.J. Algal biomass // Microb. Biomass. — London, 1979. — P. 177—203.
- Blunden G., Binns W.W., Perks F. Commercial collection and utilisation of maerl // Econ. Bot. — 1975. — 29, N 2. — P. 141—145.
- Blunden G., Rogers D.J., Farnham W.F. Survey of British seaweeds for hemagglutinins // Lloydia. — 1975. — 38, N 2. — P. 162—168.
- Bolton J.J., Germain J., Lüning K. Hybridization between Atlantic and Pacific representatives of the Simplicies section of *Laminaria* (Phaeophyta) // Phycologia. — 1983. — 22, N 2. — P. 133—140.
- Bonen L., Doolittle W.F. Ribosomal RNA homologies and the evolution of the filamentous blue-green bacteria // J.Mol. Evol. — 1978. — 1C. — P. 283—291.

Bonotto S., Kirchmann R., Felluga B., Nuyts G., Bossus A., Fagnart E. Marine algae, a useful tool for research on the radioactive pollution of the sea // *G. bot. ital.* - 1977. - 111, N 6. - P. 376.

Brodellus P. Industrial applications of immobilized biocatalysts // *Adv. Biochem. Eng.* - 1978. - 10. - P. 75-129.

Cole M.A. Blue-green algae a fertilizer? // *Crops and soils magazine.* - 1977. - 30, N 3. - P. 7-8.

Denizot M. Etat actuel de l'utilisation de algues // *Ann. Soc. hort. et hist. natur. Hérault.* - 1985. - 125, N 4. - P. 64-68.

Dodge J.D. The fine structure of algae cells. - London; New York : Acad. press, 1973. - 261 p.

Dodge J.D. Fine structure and phylogeny in the algae // *Sci. Progr.* - 1974. - 61, N 242. - P. 257-274.

Doty M.S. Marine organisms - tropical algal ecology and conservation. - IUCN Publs New Ser. - 1973. - N 25. - P. 183-196.

Dover C. Artificial photosynthesis study for food and energy // *Eng. Dig. (Can.).* - 1978. - 24, N 10. - P. 38-39.

Dubinsky Z., Berner T., Aranson S. Potential of largescale algal culture for biomass and lipid production in arid lands // *Biotechnol. and Bioeng. Symp.* - 1978. - N 8. - P. 51-68.

Edyvean R.G.J., Terry L.A. Polarization studies of 50D steel in cultures of marine algal // *Int. Biodeterior. Bull.* - 1983. - 19, N 1. - P. 1-11.

Evans L.V. Marine algal and fouling : a review with particular reference to ship-fouling // *Bot. Mar.* - 1981. - 24, N 4. - P. 167-171.

FAO soils bulletin N 49 : Application of nitrogen-fixing systems in soil management. - Rome: FAO, 1982. - 188 p.

Fontes A.G., Rivas J., Guerrero M.G., Losada M. Production of high-quality biomass by nitrogen-fixing blue-green algae // *Energy Biomass. Proc. Int. Conf. Biomass.* - London; New York, 1983. - P. 265-269.

Friedlander M., Zelikovitch N. Growth rates phycocolloid yield and quality of the red seaweeds and *Gracilaria* sp., *Pterocladia capillacea*, *Hypnea musciformis* and *Hypnea cornuta*, in field studies in Israel // *Aquaculture.* - 1984. - 40, N 1. - P. 57-66.

Gallagher J.C. Population genetics of *Scoletonema costatum* (Bacillariophyceae) in Narragansett Bay // *J. Phycol.* - 1980. - 16, N 3. - P. 464-474.

Gerardi M.H. An experience with Opportunistic Algae // *Public Works.* - 1982. - 113, N 5. - P. 67-69.

Green power : biofuels are a growing concern // *Sci. Amer.* - 1983. - 249, N 6. - P. 513-514.

Gutschick V. Energy flows in the nitrogen cycle, especially in fixation // In : *Nitrogen fixation.* Baltimore. - 1980. - 1. - P. 17-27.

Haritonidis S., Jäger H.J., Schwantes H.O. Accumulation of cadmium, zinc, copper and lead by marine macrophytes under culture condition // *Angew. Bot.* - 1983. - 57, N 5-6. - P. 311-330.

Hibberd D.J., Norris R.E. Cytology and ultrastructure of *Chlorarachnion reptans* (Chlorarachniophyta divisio nova, Chlorarachniophyceae classis nova) // *J. Phycol.* - 1984. - 20, N 2. - P. 310-330.

Holmes R.W., Crawford R.M., Round F.E. Variability in the structure of the genus *Cocconeis* Ehr. (Bacillariophyta) with special reference to the cingulum // *Phycologia.* - 1982. - 21, N 3. - P. 370-381.

Hoope H.A. Marine Algae: their products and constituents // *Mar. Algae Pharm. Sci.* - 1982. - 2. - P. 3-48.

Hopwood A.P. Protein recovery // *Effluent and Water Treat.* - 1978. - 18, N 7. - P. 333-340.

International symposium : Current problems in Algology. - Bratislava, 1983. - 60 p.

Ishio Sh., Yano T., Nakagawa H. Cancerous disease of *Porphyra tenora* and its causes // *Tokyo, 1972.* - P. 373-376.

Jeffrey C. Kingdoms, codes and classification // *Kew. Bull.* - 1982. - 37, N 3. - P. 403-416.

Kaushik B., Sharma C., Venkataraman G., Sen A. Serologic relations among some blue green algae // *Curr. Sci.* - 1981. - 50, N 3. - P. 134-137.

Kerfin W., Kessler E. Physiological and biochemical contributions to the taxonomy of the genus *Chlorella*. XI. DNA hybridization // *Arch. Mikrobiol.* - 1978. - 116, N 1. - P. 97-103.

Kessler E. Comparative physiology, biochemistry and the taxonomy of *Chlorella* (Chlorophyceae) // *Plant. Syst. and Evol.* - 1976. - 125, N 3. - P. 129-138.

Kiran E., Teksoy J., Güven K.C., Cüder E., Cüner H. Studies on seaweeds for paper production // *Bot. Mar.* - 1980. - 23, N 3. - P. 205-207.

Kremer B.P. Taxonomic implications of algal photoassimilate patterns // *Br. Phycol. J.* - 1980. - 15. - P. 399-409.

Levinson H.Z. Zur Evolution und Biosynthese der terpenoiden Pheromone und Hormone // *Naturwissenschaften.* - 1972. - 59, N 11. - S. 477-484.

Lipkin Y. Outdoor cultivation of sea vegetables // *Plant and Soil.* - 1985. - 89, N 1-3. - P. 159-183.

Mann H., Fyfe W.S. Uranium uptake by algae : experimental and natural environments // *Can. J. Earth. Sci.* - 1985. - 22, N 12. - P. 1899-1903.

Martin C., de la Noüe J., Picard G. Intensive cultivation of fresh water microalgae on aerated pig manure // *Biomass.* - 1985. - 7, N 4. - P. 245-259.

Matiskainen H., Alhonen P. Diatoms as indicators of provenance in Finnish Sub. - Neolithic pottery // *J. Archaeol. Sci.* - 1984. - 11, N 2. - P. 147-157.

Mathieson A.C., Emerich P.C., Tyeter-Gallagher E. Phycocolloid ecology of underutilized economic red algae // *Hydrobiologia.* - 1984. - 116. - P. 542-546.

Mathieson A.C., Norton T.A., Neushul M. The taxonomic implication of genetic and environmentally induced variations in seaweed morphology // *Bot. Rev.* - 1981. - 47, N 3. - P. 313-347.

Mc Lachlan J. Macroalgae (seaweeds) : industrial resources and their utilization // *Plant and Soil.* - 1985. - 89, N 1-3. - P. 137-157.

Méthodes biologiques de détection et d'évaluation de la pollution des milieux continentaux // *Mém. Soc. roy. bot. Belg.* - 1976. - N 7. - P. 1-175.

Métraux J.P. Changes in all-wall polysaccharide composition of developing *Nitella* internodes : Analysis of walls of single cells // *Planta.* - 1982. - 155, N 6. - P. 459-466.

Moestrup O. On the phylogenetic validity of the flagellar apparatus in green algae and other chlorophyll a and b containing plants // *Biosystems.* - 1978. - 10, N 117.

Moestrup O. Algal phylogeny from the ultrastructural viewpoint // *1st Int. Phycol. Congr. Sci. Progr. and Abstr.* - 1982, S. 1, s.a., P. 3.

Moore R.E. Toxins from blue-green algae // *Bio Science.* - 1977. - 27, N 12. - P. 797-802.

Oliver B.G., Shindler D.B. Trihalomethanes from the chlorination of aquatic algae // *Environ. Sci. and Technol.* - 1980. - 14, N 12. - P. 1502-1505.

Ortega M.M. Study of the edible algae of the Valley of Mexico // *Bot. Mar.* - 1972. - 15, N 3. - P. 162-166.

Oswald W.J. Complete waste treatment in ponds // *Water quality management and pollution : Contr. probl. Oxford etc., 1973.* - P. 153-163.

Othman M. Untersuchungen zur biologischen Stickstofffixierung bei Reis. - Diss. Dokt. Naturwiss. Fachbereich Biol. Univ. Hannover, 1983. - 104 S.

Paul J.H., Cooksey K.E. Asparagine metabolism and asparaginase activity in a euryhaline *Chlamydomonas* species // *Can. J. Microbiol.* - 1979. - 25, N 12. - P. 1443-1451.

Physiology and Biochemistry of Algae / Ed. R.A. Lewin. - New York; London : Acad. press, 1962. - 929 p.

Pickett-Heaps J.D. Green algae : structure, reproduction and evolution in selected genera. - Sunderland (Mass.) : Sinauer Ass., Inc., 1975. - 606 p.

Progress in phycological research / Eds. Round F.E., Chapman D.J. - Amsterdam, New York, Oxford : Elsevier Biomedical Press. - 1982. - 383 p.

Santillan C. Mass production of *Spirulina* // *Experientia.* - 1982. - 38, N 1. - P. 40-43.

Sauze F. Cultures d'algues et méthanisation. Place de ces techniques dans la bioconversion de l'énergie solaire // *Rev. int. héliotecn.* - 1978. - 1. - P. 44-48.

- Seaward M.* The conservation of lower plants: Report from a panel discussion // Biol. Aspects Rare Plant Conserv. Proc. Int. Conf., Cambridge, 1980. Chichester e.a., 1981. — P. 125–137.
- Selected papers in Phycology. II* / Eds. J.R. Rosowski, B.C. Parker. // Publ. Phycol. Soc. Amer., 1982. — 866 p.
- Shelef G., Moraine R., Berner T. et al.* Solar energy conversion via algal waste-water treatment and protein production // Proc. 4th Intern. Congr. photosynth. — London, 1978. — P. 657–675.
- Snell T.W., Bieberich C.J., Fuerst R.* The effect of green and bluegreen algae diets on the reproductive rate of the rotifer *Brachionus plicatilis* // Aquaculture. — 1983. — 31, N 1. — P. 21–30.
- Stewart K.D., Mattox K.K.* Comparative cytology, evolution and classification of the green algae with some consideration of the origin of other organism with chlorophylls a and b // Bot. Rev. — 1975. — 41, N 104. — P. 104–135.
- The Genetics of Algae* / Ed. R.A. Lewin. — Berkeley: Univ. Calif. press, 1976. — 360 p.
- Thepenier C., Gudin C., Thomas D.* Immobilization of *Porphyridium cruentum* in polyurethane foams for the production of polysaccharide // Biomass. — 1985. — 7, N 3. — P. 225–240.
- Thomas S.* Algae cultivation for food and feeds // Energy conserv. and use renewable energ. — Oxford, 1982. — P. 649–658.
- Urban E.R.I., Langdon C.J.* Reduction in costs of diets for the American oyster, *Crassostrea virginica* (Gmelin), by the use of non-algal supplements // Aquaculture. — 1984. — 38, N 4. — P. 277–291.
- Venkataraman G.S.* Nitrogen Fixation by Blue-Green Algae and its Economic Importance // Non-Symbiotic Nitrogen Fixation and Org. Matter. Trop. — New Delhi, 1982. — P. 62–82.
- Vicente N.* L'aquaculture méditerranéenne // Rev. Fond. océanogr. Ricard. — 1981. — N 5. — P. 36–43.
- Vilčić D.* On heterotrophic nutrition of some species of green algae // Acta bot. croat. — 1979. — 38. — P. 45–54.
- Walker J.D., Colwell R.R., Vaituzis Z., Meyer S.A.* Petroleumdegrading achlorophyllous alga *Prototheca zopfii* // Nature. — 1975. — 254, N 5499. — P. 423–424.
- Wardas M., Wardas W., Mazurek U.* The effect of some organic solvents on the growth of *Chlorella* algae, strain 366 // Oceanologia (PRL). — 1983. — 17. — P. 21–28.
- Wee Y.C., Lee K.B.* Proliferation of algae on surfaces of buildings in Singapore // Int. Biodeterior. Bull. — 1980. — 16, N 4. — P. 113–117.
- Wilcox H.A.* The ocean as a supplier of food and energy // Experientia. — 1982. — 38, N 1. — P. 31–35.
- Yamada N.* Current status and prospects for harvesting and resource management of the agarophyte in Japan // J. Fish. Res. Board. Can. — 1976. — 33, N 4. — P. 1024–1030.
- XIth International Seaweed Symposium* // Hydrobiologia. — 1984. — P. 116–117.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

- Андреева В.М.* Новые и традиционные критерии в современной систематике зеленых водорослей 3
- Вассер С.П.* Основные направления и перспективы развития альгологических исследований в Украинской ССР 3
- Ветрова З.И.* Теория эндосимбиогенеза и происхождения Euglenophyta 5
- Гецен М.В.* Проблемы исследования водорослей тундры 5
- Глезер З.И., Караева Н.И., Макарова И.В., Мусеева А.И., Николаев В.А.* К построению новой классификации диатомовых водорослей 6
- Голлербах М.М.* О некоторых принципиальных вопросах в оценке состояния и перспектив развития альгологии в СССР 7
- Догадина Т.В.* Современная трактовка объема и ранга желтозеленых водорослей *Калугина-Гутник А.А.* Основные тенденции развития макроводорослей и пути повышения их сырьевых ресурсов в Черном море 8
- Карпов С.А.* Ультраструктурные исследования и систематика водорослей. Проблемы и перспективы 9
- Коган Ш.И.* Водоросли как показатели евтрофирования водоемов 10
- Кондратьева Н.В.* На пути становления популяционной морфологии прокариотических водорослей 10
- Кондратьева Н.В., Голубкова М.Г., Шевченко Т.Ф.* Влияние ионизирующей радиации на синезеленые водоросли 11
- Масюк Н.П.* К дискуссии о первичных водорослевых организмах 12
- Матвиенко А.М.* А.А. Коршиков и его вклад в отечественную альгологию 13
- Матвиенко А.М.* Анализ альгологических диссертаций послевоенных лет 14
- Мелешко Г.И., Антонян А.А., Шенелев Е.Я.* Одноклеточные водоросли в биологической системе жизнеобеспечения человека 15
- Михеева Т.М.* Нанофитопланктон: проблемы дефиниции 16
- Музафаров А.М.* Развитие экспериментально альгологии в Узбекистане и ее значение в сельском хозяйстве 16
- Оксинок О.П.* Роль водорослей в процессах формирования качества воды 17
- Паламарь-Мордвинцева Г.М.* К вопросу о типах и способах видообразования у низших эукариотных водорослей 18
- Панкратова Е.М.* Физиологическая экология синезеленых водорослей и фиксации ими атмосферного азота в пахотных почвах 19
- Рыбальский Н.Г., Вассер С.П., Дудка И.А.* Актуальные проблемы патентоспособности водорослей 20
- Семеновко В.Е.* Одноклеточные водоросли как объекты биотехнологии фотоавтотрофных биосинтезов 20
- Сиренко Л.А.* Некоторые итоги и задачи альгофизиологии в гидробиологической практике 22
- Судьбина Е.Г.* Состояние и перспективы биохимии водорослей 23
- Штина Э.А.* Полвека почвенной альгологии в СССР: итоги и задачи 24

СИСТЕМАТИКА, ЭВОЛЮЦИЯ, МОРФОЛОГИЯ, БИОЛОГИЯ

- Барина С.С.* Об аномальных формах водорослей в континентальных водоемах юга Дальнего Востока 26