

УДК 92:582.26

Р.Р. КАБИРОВ

Башкирский государственный педагогический ун-т, кафедра ботаники,
Россия, 450000 Уфа, ул. Октябрьской революции, 3а

РАЗВИТИЕ ПОЧВЕННО-АЛЬГОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА КАФЕДРЕ БОТАНИКИ БАШКИРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ПЕДАГОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА (РОССИЯ)

Представлены результаты 25-летних исследований почвенных водорослей, проведенных на кафедре ботаники Башкирского государственного педагогического университета. Рассмотрены основные достижения и перспективы развития почвенной альгологии на кафедре.

Ключевые слова: почвенные водоросли, альгология, Башкирия, результаты, направления исследований, перспективы развития.

Введение

Целенаправленное изучение почвенных водорослей началось в 20-х годах XX века. Имеются сведения о составе и структуре водорослевых сообществ, их роли в почвенно-биологических процессах, изучена флора почвенных водорослей различных географических районов (Голлербах, Штина, 1969; Штина, Голлербах, 1976).

Исследование почвенных водорослей на кафедре ботаники Башкирского государственного педагогического университета (тогда еще института) началось в 1976 г. Со временем сформировалась активно работающая группа почвенных альгологов. В настоящее время в нее входят: зав. каф., д.б.н., профессор Р.Р. Кабиров, доценты, к.б.н. Р.Х. Хазипова, Н.В. Суханова, старшие преподаватели, к.б.н. А.И. Фазлутдинова, Л.С. Хайбуллина, ассистенты, к.б.н. Л.А. Гайсина, Е.В. Сугачкова, А.В. Богданова, аспирант Н.А. Шмелев. По почвенно-альгологической тематике защищена 1 докторская и 8 кандидатских диссертаций.

На кафедре осуществляются исследования почвенных водорослей по нескольким направлениям.

Эколого-флористическое направление

Это наиболее традиционное направление в почвенной альгологии и предусматривает изучение видового состава почвенных водорослей и его своеобразия в зависимости от экологических особенностей конкретного местообитания. В той или иной степени данная тематика присутствовала в работах всех почвенных альгологов кафедры (Кабиров, 1978, 1982; Кабиров, Миннибаев, 1976а, б; Суханова, 1996; Фазлутдинова, 1997, 1999; Сугачкова, 1998; Хайбуллина, 1998, 2000; Богданова, 2000; Гайсина, 2000; Шмелев, 2001, 2002). Результаты флористических исследований предполагается использовать при составлении комплекта флоры почвенных водорослей Южного Урала.

© Р.Р. Кабиров, 2004

Эколого-морфологическое направление

Предусматривает исследование морфометрических параметров природных и лабораторных популяций почвенных водорослей и зависимости от различных экологических факторов. На основании полученных данных составляется экотоксикологическая карта, показывающая границы устойчивости морфологического статуса вида. Наиболее последовательно данное направление разрабатывают Л.А. Гайсина и А.И. Фазлутдинова.

Выявлены пределы устойчивости диатомовых водорослей к естественным (температура, реакция среды, засоление почвы) и антропогенным (тяжелые металлы, поверхностно-активные вещества, нефть и нефтепродукты) экологическим факторам (Фазлутдинова, 1997, 1999, 2001; Фазлутдинова, Кабиров, 1999). Они строго специфичны и зависят от видовой принадлежности водорослей, характера и степени напряженности конкретного экологического фактора. Для каждого из изученных экологических факторов разработана модель трансформации сообщества диатомовых водорослей, основанная на последовательной смене четырех адаптивных зон, которые являются отражением различных уровней загрязнения почвы. Составлена экотоксикологическая карта ряда сообществ почвенных диатомовых водорослей.

Выполнен сравнительный анализ ультраструктуры панциря клеток у популяций *Hantzschia amphioxys* (Ehr.) Grun. из разных природно-климатических районов Южного Урала. Полученные данные дополняют представление о флоре *Bacillariophyta* Южного Урала и позволяют оценить особенности ее формирования в условиях антропогенного прессинга (Фазлутдинова, 1999)

Проведено широкое исследование морфометрических показателей природных популяций *Xanthonema exile* (Klebs) Silva (*Xanthophyceae*) Башкирского Предуралья (Гайсина, 1998, 1999, 2000). Изучено влияние различных факторов на морфологию и биологию *X. exile*. Установлены экологические границы сохранности морфологического статуса вида. Полученные данные дополняют сведения о биологии и экологии *X. exile*. Уточненный диагноз вида позволит проводить более четкую его идентификацию. Сведения о границах устойчивости к экологическим факторам природного и антропогенного происхождения позволяют использовать *X. exile* в биоиндикационных исследованиях

Синтаксономическое направление

Для почвенной альгологии это совершенно новое направление (Кабиров, Минибаев, 1981; Кабиров и др., 1999). Оно базируется на методе Браун-Бланке. Первая удачная попытка была сделана Н.В. Сухановой, которая провела синтаксономический анализ группировок почвенных водорослей городских территорий и выделила синтаксоны на уровне союзов. Союз *Naviculo-Phormidion* широко распространен в населенных местах, объединяет альгогруппировки местообитаний в значительной степени нарушенных антропогенной деятельностью. Союз *Chlamydomono-Choricystidion* занимает незначительные площади в городах, выявлен в почве широколиственных лесов, посадках интродуцентов, газонах (Суханова, 1996; Суханова, Ишбирдин, 1997).

Работа в синтаксономическом направлении, Л.С. Хайбуллина составила первую иерархическую систему единиц классификации почвенных альгоценозов,

формирующихся на урбанизированных территориях Южного Урала, обосновала положение о приобретении альгоценозами лесных черт на территории города, расположенного в степном регионе, в отличие от ксерофитизации альгоценозов урбанизированных территорий в лесостепном регионе (Хайбуллина, 1998, 2000; Хайбуллина и др., 1999). Было установлено, что почвенно-альгологическая карта имеет меньшую степень дробности по сравнению с геоботанической. Синтаксоны почвенных водорослей на уровне ассоциаций и субассоциаций соответствовали классам высшей растительности.

Исследование почвенных водорослей антропогенных экосистем

В течение 25 лет на кафедре изучаются почвенные водоросли антропогенных экосистем. Основная задача – установление роли почвенных водорослей в поддержании устойчивости наземных экосистем в условиях антропогенного пресса.

Исследование влияния антропогенных факторов на сообщества почвенных водорослей проводили в различных регионах и природно-климатических зонах. Сообщества почвенных водорослей горнопромышленных экосистем исследовали на отвалах Зигазино-Комаровского железорудного месторождения (Южный Урал), Учалинского горно-обогатительного комбината (Южный Урал), Назаровского и Ачинского угольных разрезов (КАТЭК), золоотвалах Рефтинской ГРЭС (Свердловская обл.), хвостохранилищах апатит-нефелинового производства (Кольский п-ов). Сообщества водорослей урбанизированных экосистем изучали на территории городов: Мончегорска (северная тайга), Екатеринбурга (южная тайга), Уфы (лесостепная зона), Салавата, Стерлитамака, Ишимбая, Кумертау (степная зона), Белорецка (горно-лесная зона). Почвенные водоросли территорий, загрязненных при нефтедобыче, исследовали на нефтепромыслах Республики Башкортостан и п-ва Ямал. Изучение воздействия предприятий черной и цветной металлургии на почвенные водоросли проводили в северотаежных (Костомукшский металлургический комбинат, Мончегорский медно-никелевый комбинат), среднетаежных (Красноуральский медеплавильный комбинат), южнотаежных (Карабашский медеплавильный комбинат) экосистемах. Влияние тепловых электростанций исследовали в районе Назаровской (Красноярский край) и Рефтинской (Свердловская обл.) ГРЭС; атомных электростанций – в районе Белоярской и Чернобыльской АЭС.

Сообщества почвенных водорослей горнопромышленных экосистем

В процессе современного техногенеза в местах добычи и переработки полезных ископаемых наряду с механическими нарушениями природных экосистем происходит формирование геохимических техногенных аномалий. Микроскопические водоросли составляют начальный этап экогенеза при естественном биологическом освоении промышленных отвалов.

Исследования позволили выявить видовой состав почвенных водорослей на промышленных отвалах различного происхождения: каменноугольных железорудных, шламовых. Было установлено, что на начальных этапах зарастания отвалов, как правило, развиваются ценозы, состоящие из нескольких видов одноклеточных и нитчатых мелкоклеточных форм зеленых водорослей. В дальнейшем они пополняются желтозелеными, диатомовыми и нитчатыми

синезелеными. Структурные и функциональные особенности этих альгоценозов контролируются, прежде всего, абиотическими факторами. Последующее усложнение альгогруппировок связано с появлением новых осей дифференциации экологических ниш для водорослей за счет развития высших растений (Кабиров, 1989а-в).

Характер сукцессии водорослевого сообщества зависит от особенностей местообитаний. На нестабильных поверхностях (золоотвалы, шлакоотвалы и т.п., где складываются пылевидные отходы) формирование альгоценозов может задерживаться на его начальных этапах. Поселение, размножение и развитие водорослей в этом случае находится в динамическом равновесии с процессами разрушения и удаления всего альгоценоза или его части за счет водной и ветровой эрозии (Кабиров, 1991б).

Сукцессии водорослей на токсичных субстратах идут по модели стимулирования, когда каждые поселяющиеся виды улучшают условия для поселения новых. На поверхность токсичного субстрата заносятся различные водоросли, часть которых погибает, другая остается в неактивном состоянии и только некоторые, способные вегетировать в данных условиях, начинают развиваться (Кабиров, 1989а, б).

В процессе жизнедеятельности клетки водорослей выделяют одни вещества, в том числе и химически активные (кислоты, щелочи, ферменты и т.д.), и поглощают другие (Голлербах, Штина, 1969). В результате около клеток возникают зоны с ослабленной токсичностью субстрата. В таких зонах поселяются бактерии, микроскопические грибы, простейшие, которые вместе с водорослями образуют микроскопическую консорцию. Такая консорция представляет собой своеобразное «пятно жизни» на поверхности токсичного безжизненного субстрата. Функционирование микроконсорции приводит к расширению размеров «пятна жизни» и дальнейшему заселению ее новыми видами водорослей, увеличению флористического разнообразия альгоценоза. В зонах с постоянно снижающейся токсичностью продолжается колонизация субстрата с участием как автотрофных, так и гетеротрофных организмов (Кабиров, 1991б).

На нетоксичных субстратах (отвалы вскрышных пород угольных и железорудных месторождений; отвалы, отсыпанные при добыче строительных материалов и т.д.) сукцессии водорослей протекают в соответствии с моделью нейтральности, когда предшественники практически не влияют на внедрение новых видов. При наличии химически благоприятного субстрата факторами, лимитирующими рост водорослей, выступают гидротермические условия и обеспеченность водорослей элементами питания.

Токсичность субстрата определяет и характер колонизации водорослями различных элементов рельефа. На нетоксичных субстратах водоросли преимущественно развиваются на пониженных элементах, где условия увлажнения благоприятнее. На токсичных, несмотря на более «жесткие» гидротермические условия, развитие альгоценоза начинается на повышенных элементах рельефа, откуда токсические соединения вымываются в пониженные участки (Кабиров, 1997б).

При формировании фитоценозов горнопромышленных экосистем по отношению к водорослям высшие растения играют двойную роль. В условиях несомкнутой или слабо сомкнутой растительности они стимулируют развитие водорослей, «смягчая» неблагоприятные экологические факторы, прежде всего

гидротермические. В последующем, на поздних этапах сукцессии, проявляется «отбирающее» действие высших растений и часть видов почвенных водорослей, не способных существовать в новых условиях, вытесняется из ценоза. Этим обуславливается уменьшение видового разнообразия альгогруппировок на заключительных (предклимаксовых и климаксовых) стадиях развития фитоценоза (Кабилов, 1997б, 1989а; Кабилов, Шилова, 1990).

Сообщества почвенных водорослей урбанизированных экосистем

Урбанизированная экосистема представляет собой участок преобразованной природы. Меняется рельеф, климат, почва, растительный и животный мир, мир микроорганизмов. Наиболее мощным и стабильным источником антропогенного воздействия на городскую среду являются промышленность, транспорт, коммунальное хозяйство. Качественный состав и количественные показатели сообществ почвенных водорослей урбанизированных экосистем определяются, с одной стороны, зональными особенностями почвенно-климатических и фитоценологических условий, с другой – особенностями самой городской среды (наличием и характером промышленности, развитием транспортной системы, состоянием коммунальных служб, численностью населения и т.д.) (Кабилов, 1991б; Кабилов, Шилова, 1990; Суханова, 1996; Кабилов, Суханова, 1997; Суханова, Ишбирдин, 1997; Хайбуллина, 1998, 2000).

В различных урбанизированных биотопах формируются своеобразные альгогруппировки, отличающиеся от зональных по видовому разнообразию, составу доминант, субдоминант, экобиоморф, сложности таксономической структуры, численности, биомассы. В то же время "городские" альгогруппировки в определенной степени сохраняют черты зональных сообществ почвенных водорослей (Кабилов, 1991б; Суханова, 1996; Хайбуллина, 2000).

Наличие широкого спектра промышленных предприятий на территории города обуславливает их многоплановое воздействие на сообщества почвенных водорослей. При этом наблюдается как цианофитизация (увеличение доли синезеленых водорослей), так и хлорофитизация (возрастание доли зеленых водорослей) альгогруппировок. Характерным для сообщества почвенных водорослей урбанизированных экосистем является уменьшение видового разнообразия и степени развития желтозеленых водорослей (Кабилов, Шилова, 1994; Кабилов, Суханова, 1997).

Суханова Н.В. (1996) проследила изменения сообществ почвенных водорослей в процессе развития населенного пункта по вектору: широколиственный лес – деревня – поселок – средний город – крупный промышленный город. С образованием населенного пункта на месте широколиственного леса и по мере его роста происходит изменение характеристик сообществ почвенных водорослей. С увеличением антропогенных нагрузок α -разнообразие альгогруппировок резко увеличивается при переходе от леса к деревне, затем, постепенно снижаясь, в крупном городе становится значительно меньше, чем в лесу. Снижение видовой насыщенности и обилия альгогруппировок происходит прежде всего за счет видов, чувствительных к экстремальным условиям. Параллельно β -разнообразие при движении к крупному городу продолжает расти за счет увеличения мозаичности местообитаний (Суханова, 1996; Суханова, Ишбирдин, 1997; Суханова и др., 2000, 2001).

В этом же аспекте следует рассматривать серию работ Е.В. Сугачковой (1998, 1999, 2000), которая провела планомерные исследования сообществ почвенных водорослей рекреационных территорий. Выявлены пределы устойчивости почвенных водорослей к различным видам рекреационной нагрузки. В частности установлено, что восстановительные сукцессии после действия пирогенного фактора (костры) протекают по-разному. Они зависят от длительности и частоты горения, от типа наземной растительности, свойств почвы, а также от состава альгогруппировок конкретного местообитания. В то же время они имеют ряд общих тенденций. На гаях снижение видового разнообразия происходило за счет представителей всех основных отделов почвенных водорослей. Восстановление водорослевого сообщества начиналось с поселения и вегетации одноклеточных водорослей (пионерная стадия), продолжалось через постепенное увеличение флористического богатства и обилия альгогруппировок (стадия роста) и заканчивалось предклимаксовой стадией, которая характеризовалась высокой степенью развития водорослей.

Обосновано положение о сохранении альгоценозами черт соответствующих местообитаний при средней интенсивности рекреационного давления. Показано, что сведения о составе и структуре альгогруппировок могут служить индикаторным признаком качества почвенного покрова и позволяют прогнозировать возможные изменения окружающей среды, происходящие под влиянием интенсивного использования рекреационных ресурсов, а также устанавливать режим рекреационного использования (Сугачкова, 2000; Кабиров et al., 2000).

Сообщества почвенных водорослей промышленно-заводских экосистем

На всех этапах освоения и эксплуатации нефтегазовых месторождений в окружающую среду попадают буровые и промысловые растворы, утяжелители, эмульсии, цементы, нефть, поверхностно-активные вещества, ингибиторы коррозии, бактерициды, минерализованные воды и т.д. Около нефтяных скважин в результате изменения условий местообитания происходит перестройка водорослевых сообществ. Формирующиеся сообщества характеризуются отсутствием или небольшим флористическим разнообразием желтозеленых и диатомовых, преобладанием синезеленых и зеленых водорослей (Кабиров и др., 1980; Кабиров, Минабаев, 1982; Кабиров, 1991а, 1993; Кабиров, Хазипова, 1987, 1991;; Кабиров и др., 2000).

Эти исследования были продолжены доцентом кафедры ботаники, к.б.н. Р.Х. Хазиповой, которая вместе с соавторами в натуральных и лабораторных экспериментах изучала воздействие поверхностно-активных веществ (ПАВ) как на уровне отдельных видов, так и на уровне целых сообществ почвенных водорослей (Хазипова, 1997; Хазипова и др., 2001). Было установлено, что при загрязнении почвы ПАВ в альгогруппировках вначале происходит изменение количественных показателей и только потом, с увеличением продолжительности воздействия и доз, изменяется флористическое разнообразие. Из четырех основных отделов почвенных водорослей высокой резистентностью к ПАВ обладали зеленые водоросли, несколько меньшей – синезеленые, диатомовые и желтозеленые. Сильное обеднение видового состава наблюдалось при концентрациях ПАВ 7-10 мг/г воздушно-сухой почвы. При более высоких концентрациях (20-40 мг/г) в

основном сохранялись 2-3 вида зеленых водорослей. При дозах 60-80 мг/г изредка встречались мелкие хламидомонады: *Chlamydomonas minima*, *Ch. minutissima* и деформированные, не пригодные для идентификации шаровидные клетки зеленых водорослей (Ханисламова и др., 1988).

Предприятия черной и цветной металлургии оказывают сильное отрицательное воздействие на окружающую среду. В районах их функционирования формируются техногенные геохимические провинции с сернокислыми ландшафтами, обогащенными тяжелыми металлами. По степени нарушенности почвенно-растительного покрова вокруг металлургических комбинатов выделены импактная (сильно нарушенная), буферная (переходная) и фоновая (зона начальной стадии нарушения) зоны.

При переходе от фоновой к буферной зоне возрастало видовое разнообразие водорослей. Это обусловлено в основном двумя процессами: с одной стороны, загрязнение среды приводит к нарушению растительного покрова, ослаблению и изреживанию древесного и травяно-кустарничкового ярусов, что благоприятствует развитию водорослей; с другой – степень загрязнения в буферной зоне не достигает значений, препятствующих вегетации почвенных водорослей. В импактной зоне, в условиях сильного загрязнения, деградации почвы и гибели высших растений, формируются примитивные альгоценозы с обедненным видовым составом, имеющим много общего с инициальными альгогруппировками промышленных отвалов (Кабилов, 1990, 1997а; Степанов и др., 1992).

Исследования в зоне Карабашского медеплавильного комбината после его репрофилирования (начатого в 1990 г.), выполненные аспиранткой каф. ботаники Е.А. Прошкиной (1997) позволили выявить продолжительность сохранения токсического действия тяжелых металлов на водоросли. Было установлено, что для восстановления альгофлоры загрязненного района до уровня фоновой зоны, при условии снижения токсической нагрузки, необходим период более 5 лет. В то же время, отмечалось некоторое увеличение видового разнообразия на ближайших к комбинату пробных площадках. Это указывает на начало процесса восстановления автотрофного блока экосистемы после репрофилирования комбината. Определены сублетальные и летальные концентрации ряда тяжелых металлов для большого числа почвенных водорослей. Описана эпифитная альгофлора консорциев березы (*Betula pendula*) в районе Южного Урала и исследована динамика изменения видового разнообразия этой экологической альгогруппировки под влиянием азротехногенного полиметаллического загрязнения.

Полученные Е.А. Прошкиной данные по летальным для альгоценозов концентрациям тяжелых металлов оказались в 1,5-10 раз ниже существующих санитарно-гигиенических предельно-допустимых концентраций (ПДК) тяжелых металлов в почвах. Это указывает на необходимость пересмотра нормативных показателей ПДК. Предложено создать нормативы экологических предельно-допустимых концентраций тяжелых металлов (ЭПДК_{тм}) на основании показателей видового разнообразия альгоценозов. Выявлена возможность использования эпифитных альгогруппировок в целях мониторинга и экологической экспертизы (Прошкина, 1997; Кабилов, Прошкина, 1998).

Изучение почвенных водорослей в окрестностях Белоярской АЭС

показало, что в нормальных условиях радиоактивное загрязнение, обусловленное работой атомных электростанций, не вызывает или вызывает незначительные изменения в альгогруппировках окрестных территорий. Группировки почвенных водорослей в районе Чернобыльской АЭС (через 2-3 года после катастрофы) на расстоянии 5-40 км от центра загрязнения имели типичные черты альгосинузий лесных фитоценозов. На расстоянии 1,5 км от источника загрязнения видовое разнообразие водорослей резко возросло (Кабиров, 1991б; Кабиров и др., 1991; Степанов и др., 1994). Это свидетельствует о высокой устойчивости микроскопических почвенных водорослей к высоким дозам радиоактивного загрязнения.

Общие закономерности формирования и функционирования альгогруппировок антропогенных экосистем

На основании собранного и проанализированного материала были сформулированы общие закономерности формирования и функционирования альгогруппировок антропогенных экосистем (Кабиров, 1991б, в).

Под действием антропогенных факторов в экосистемах наряду с нетронутыми участками, где сохраняются естественные биотопы, возникают новые, антропогенно-обусловленные местообитания для почвенных водорослей. Это приводит к увеличению α - и β -разнообразия альгосинузий и альгоценозов. Степень увеличения видового разнообразия водорослей на нарушенных территориях может быть довольно высокой. Повышение видового разнообразия наблюдается при определенной степени нарушенности ландшафта. В экологии существует гипотеза «промежуточного нарушения», согласно которой максимальное разнообразие сохраняется при средней интенсивности воздействия нарушающих факторов (Одум, 1986). Такое среднее нарушение наблюдается, например, в так называемой буферной зоне около источника загрязнения. При более сильных нарушениях начинается уменьшение флористического разнообразия (за счет неустойчивых видов, которые «покидают» сообщество в результате гибели или перехода в неактивное состояние) и количественного развития почвенных водорослей.

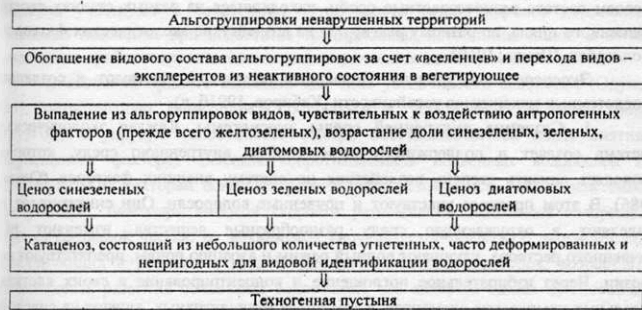
Территория любого ландшафта постоянно обогащается зачатками почвенных водорослей, большинство из которых, попав в неблагоприятные условия, погибает или остается в неактивном состоянии. При изменении экологической ситуации за счет природных или антропогенных факторов они начинают вегетировать и, совместно с аборигенными видами, формируют новые альгогруппировки, которые по флористическому составу отличаются от зональных. Например, в сосняках около Рефтинской ГРЭС на участках с высокой антропогенной нагрузкой обнаруживались синезеленые: *Nostoc linckia*, *N. muscorum*, *N. punctiforme*, *Phormidium autumnale*, *Ph. foveolarum*, *Plectonema boryanum* и другие, отсутствовавшие в альгогруппировках фоновых территорий. В итоге возникают альгогруппировки, не характерные для данного ландшафта. Так, в различных нефтедобывающих районах лесной зоны на территориях с техногенным засолением формировались сообщества почвенных водорослей, сходные с альгогруппировками глинистых пустынь «такыров» Средней Азии (Голлербах, Штина, 1969). Появление «атипичных» альгогруппировок приводит к возрастанию мозаичности сообщества почвенных водорослей в нарушенных экосистемах.

Под действием антропогенных факторов происходит дигрессия фитоценоза. Уменьшается видовое разнообразие, продуктивность, яркость. В условиях сильного техногенного воздействия древесная и травяно-кустарниковая растительность погибает, остаются некоторые мхи, лишайники, микроскопические водоросли. Дальнейшее возрастание техногенного пресса приводит к полной гибели растений и возникновению «техногенной пустыни». На фоне этих процессов сукцессию почвенных водорослей можно представить в виде общей схемы (см. ниже). Графически она имеет вид одновершинной колоколообразной кривой. Колоколообразная форма изменений флористического богатства часто наблюдается при зарастании свободных (первичные сукцессии) или освобожденных (вторичные сукцессии) территорий (Уиттекер, 1980). Реакцию альгогруппировок на загрязнение почвы можно разбить на две фазы (Кабиров, 1991б).

Первая фаза (неспецифическая реакция). Характеризуется ослаблением или полным подавлением развития желтозеленых водорослей, независимо от типа загрязнения.

Вторая фаза (специфическая реакция). На данной фазе наблюдается подавление или усиление определенной (индикаторной) группы почвенных водорослей, изменяется соотношение основных их отделов, что позволяет судить о характере и степени загрязнения почвы. При техногенном засолении, загрязнении выбросами цементного и гипсового производства, внесении в почву полимеров происходит цианофитизация альгогруппировок. При подкислении почвы, загрязнении ее тяжелыми металлами, нефтью, некоторыми нефтепродуктами, поверхностно-активными веществами наблюдается хлорофитизация и бацилларифитизация (преимущественное развитие диатомовых водорослей) альгогруппировок.

Общая схема сукцессии сообществ почвенных водорослей под действием антропогенных факторов



Вегетируя в местообитаниях, в различной степени подверженных антропогенному воздействию, почвенные водоросли реализуют определенную жизненную стратегию. На начальной стадии зарастания техногенных субстратов, при отсутствии высших растений развиваются пациенты экотопические. С появлением высших растений и формированием фитоценоза преимущество имеют водоросли со свойствами пациентов фитоценотических, которые заселяют моховую дернину, подкронное пространство деревьев, опад, почву под опадом. В альгогруппировках в виде покоящихся стадий постоянно присутствуют водоросли, которые можно назвать ложными эксплорентами. При изменении экологических условий они способны быстро переходить к вегетации, поддерживая тем самым стабильность альгогруппировок.

Роль водорослей в поддержании устойчивости наземных экосистем

Экосистема, как сложная иерархическая система, имеет целый набор механизмов противодействия ее разрушению. Свой вклад (на разных уровнях) в поддержании стабильности экосистемы вносят и почвенные водоросли.

Организменный уровень. Стабильность системы связана с устойчивостью к внешним воздействиям отдельных ее элементов. Оценивая с этих позиций устойчивость почвенных водорослей к неблагоприятным факторам, необходимо отметить следующие их приспособления к выживанию в экстремальных условиях: физиолого-биохимические особенности протопласта; утолщение клеточной оболочки; образование и утолщение слизистых капсул, чехлов, обверток; изменение размеров клеток; «убегание» из неблагоприятных местообитаний.

Популяционный уровень. Почвенные водоросли в процессе эволюции приспособляются к условиям конкретного местообитания, что позволяет им противостоять длительным изменениям среды путем выработки устойчивых форм. В результате этого складываются экологические популяции, отличающиеся разной устойчивостью к тем или иным факторам среды, при этом важное значение имеет такая характеристика популяций, как возрастная структура. Популяции, имеющие в своем составе разновозрастные особи, находящиеся на разных стадиях своего жизненного цикла, по-разному реагируют на воздействие экологических факторов (Голлербах, Штина, 1969).

Экосистемный уровень. Почвенные водоросли участвуют в создании экосистемных механизмов устойчивости (Кабиров, 1991б, в).

1. **Создание внутренней среды экосистемы.** Каждая экологическая система создает и поддерживает свою особую внутреннюю среду, которая позволяет снизить степень воздействия на систему внешних факторов (Одум, 1986). В этом процессе участвуют и почвенные водоросли. Они синтезируют и выделяют в окружающую среду разнообразные вещества, изменяют рН почвенного раствора, улучшают водный режим и аэрацию почвы, препятствуют ее эрозии. Через избирательное поглощение и концентрирование в своих клетках отдельных химических элементов, в том числе радиоактивных, влияют на солевой баланс и состав микроорганизмов в почве.

2. **Участие в механизме обратных связей экосистемы.** В поддержании стабильности системы важное место занимает механизм обратных связей, когда

часть сигналов с «выхода» поступает на «вход» и или усиливает отклонение системы от стабильного состояния – «положительная обратная связь», или уменьшает отклонение – «отрицательная обратная связь» (Уиттекер, 1980). Почвенные водоросли вступают во взаимоотношения по типу «хищник-жертва», «паразит-хозяин», комменсализма, аменсализма, мутуализма, протокооперации и конкуренции, образуя сеть сложных взаимоотношений. В частности, с высшими растениями они конкурируют за элементы минерального питания, поселяясь на муравейниках, выступают как комменсалы, в то же время сами дают «пищу и кров» живущим в их слизистых чехлах бактериям и микроскопическим грибам. Таким образом, почвенные водоросли занимают одну из ячеек в сети взаимоотношений живых компонентов экосистемы и через механизм обратных связей вносят свой вклад в поддержание устойчивости экосистем.

3. Механизм «избыточности функциональных компонентов». Устойчивость системы обеспечивается и «избыточностью функциональных компонентов». Этот механизм получил название «конгенерического гомотаксиса» (Уиттекер, 1980). Суть механизма заключается в том, что одни функциональные элементы системы могут заменять другие. Это позволяет системе соответствующим образом реагировать на возмущающее воздействие и сохранять свою стабильность.

В условиях техногенного пресса, угнетения высших растений, снижения их фотосинтетической активности возрастает роль почвенных водорослей, что находит свое отражение в увеличении их видового разнообразия и количественного развития. Так, около Карабашского медеплавильного комбината, на территориях с угнетенными высшими растениями численность почвенных водорослей возросла в 4 раза, биомасса – более чем в 7 раз, продукция – в 8 раз, скорость обновления органического вещества – в 12 раз по сравнению с фоновыми участками (Кабилов, 1991б).

Водорослями способны питаться многие гетеротрофные организмы (Голлербах, Штина, 1969). Выступая как альтернативные пищевые объекты, водоросли участвуют в сохранении устойчивости гетеротрофного комплекса почвенного населения при недостатке традиционных источников пищи. В этом случае также срабатывает механизм «конгенерического гомотаксиса».

В экологии принято выделять два типа устойчивости экосистем (Одум, 1986): резистентную (способность оставаться в устойчивом состоянии под нагрузкой) и упругую (способность быстро восстанавливаться после снятия возмущающего фактора). Высокая сопротивляемость почвенных водорослей к неблагоприятным факторам повышает резистентную устойчивость всей экосистемы. Одновременно, благодаря высокой скорости размножения, почвенные водоросли являются составной частью ее механизмов упругой устойчивости. В экосистемах, деградирующих в результате воздействия антропогенных факторов, возрастает интенсивность развития почвенных водорослей, что является одним из способов поддержания стабильности автотрофного компонента наземных экосистем.

Следующим этапом развития почвенно-альгологических исследований на кафедре ботаники БГПУ будет создание компьютерной базы данных по

почвенным водорослям антропогенных экосистем. Это позволит работать на более высоком уровне, и, прежде всего, на основе имеющегося большого фактического материала разрабатывать прогностические модели формирования и развития сообществ почвенных водорослей в зависимости от конкретных экологических ситуаций. В перспективе посредством моделирования можно будет перейти к управлению этими процессами.

R.R. Kabirov

Bashkir State Pedagogical University, Department of Botany,
3a, Oktiabrskoi revoliutsii St., Ufa 450000, Bashkortostan, Russia

DEVELOPMENT OF SOIL-ALGEOLOGICAL STUDIES IN DEPARTMENT OF BOTANY OF
BASHKIR STATE PEDAGOGICAL UNIVERSITY

Results of the 25 years of studies of soil algae carried out in Department of Botany of Bashkir State Pedagogical University are presented. Main achievements and perspectives of development of soil algology in the department are discussed.

Keywords: soil algae, algology, Bashkiria, results, trends of studies, perspectives of development.

Богданова А.В. Альгофлора лесов поймы реки Белой // Тез. докл. междунар. конф. «Микология и криптогамная ботаника в России: традиции и современность», СПб, 24-28 апреля 2000 г. – СПб: Изд-во СПб Гос. хим.-фарм. акад., 2000. – С. 404-405.

Гайсина Л.А. Влияние температуры на морфологию *Heterothrix exile* (Klebs) Pasch. (*Xanthophyta*) // Современные экологические проблемы: Межвуз. сб. науч. тр. – Уфа: Изд-во БГПИ, 1998. – С. 48-52.

Гайсина Л.А. Толерантность *Heterothrix exile* (Klebs) Pasch. (*Xanthophyta*) к концентрации водородных ионов // Актуальные проблемы биологии и экологии: Тез. докл. VI молод. науч. конф. – Сызтывкар, 1999. – С. 32-33.

Гайсина Л.А. Биология и экология *Xanthonema exile* (Klebs) Silva (*Xanthophyceae*, *Chrysophyta*): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Уфа, 2000. – 16 с.

Голлербах М.М., Штина Э.А. Почвенные водоросли. – Л.: Наука, 1969. – 228 с.

Кабилов Р.Р. Особенности сезонной динамики и продуктивности почвенных водорослей (на примере Башкирского Предуралья): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Л., 1978. – 26 с.

Кабилов Р.Р. Влияние осушения на альгофлору пойменных почв // Почвообразовательные процессы в осушенных и пойменных землях Башкирии. – Уфа, 1982. – С. 168-173.

Кабилов Р.Р. Альгофлора железорудных отвалов Южного Урала // Растения и промышленная среда. – Свердловск: УралГУ, 1989а. – С. 66-74.

Кабилов Р.Р. Особенности альгофлоры промышленных отвалов // Лесовосстановление на промышленных отвалах Предуралья и Южного Урала. – Уфа: БНЦ УрО АН СССР, 1989б. – С. 32-41.

Кабилов Р.Р. Почвенные водоросли железорудных отвалов Южного Урала // Ботан. журн. – 1989в. – 74, № 2. – С. 208-216.

Кабилов Р.Р. Альгосинузии Южной тайги и их изменения в процессе промышленного освоения территории // Там же. – 1990. – 75, № 12. – С. 1717-1727.

Кабилов Р.Р. Возможности использования культур почвенных водорослей при проведении экотоксикологической экспертизы // Очерки по экологической диагностике: Сб. науч. тр. – Свердловск: УрО АН СССР, 1991а. – С. 101-112.

Кабилов Р.Р. Почвенные водоросли техногенных ландшафтов: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. – СПб, 1991б. – 35 с.

- Кабилов Р.Р. Роль почвенных водорослей в поддержании устойчивости наземных экосистем // Альгология. – 1991в. – 1, № 1. – С. 60-68.
- Кабилов Р.Р. Альгондикация с использованием почвенных водорослей (методологические аспекты) // Там же. – 1993. – 3, № 3. – С. 73-83.
- Кабилов Р.Р. Альгосинузии хвойных лесов в районе комбината “Североникель” (Кольский п-ов) // Лесоведение. – 1997а. – № 3. – С. 33-39.
- Кабилов Р.Р. Участие почвенных водорослей в процессах формирования растительного покрова на отвалах Канско-Ачинского угольного месторождения (КАТЭК) // Экология. – 1997б. – № 3. – С. 218-220.
- Кабилов Р.Р., Минабаев Р.Г. О влиянии нанорельефа на особенности пространственного распределения почвенных водорослей // Ботан. журн. – 1976а. – 61, № 3. – С. 373-377.
- Кабилов Р.Р., Минабаев Р.Г. Особенности сезонной динамики численности водорослей в серой лесной почве Башкирского Предуралья // Науч. докл. высш. шк. Биол. науки. – 1976б. – № 11. – С. 114-117.
- Кабилов Р.Р., Минабаев Р.Г. Использование подхода Браун-Бланке при изучении почвенных альгоценозов речных пойм // Флористические критерии при классификации растительности: Тез. докл. VI Всесоюз. совещ. по классификации растительности. – Уфа, 1981. – С. 166-167.
- Кабилов Р.Р., Минабаев Р.Г. Влияние нефти на почвенные водоросли // Почвоведение. – 1982. – № 1. – С. 86-91.
- Кабилов Р.Р., Прошкина Е.А. К вопросу об экологическом нормировании содержания тяжелых металлов в почве // Современные экологические проблемы: Межвуз. сб. науч. тр. – Уфа: Башкир. пединститут. – 1998. – С. 6-11.
- Кабилов Р.Р., Суханова Н.В. Почвенные водоросли городских газонов (Уфа, Башкортостан) // Ботан. журн. – 1997. – 82, № 3. – С. 46-57.
- Кабилов Р.Р., Хазипова Р.Х. Изменение количественных показателей альгосинузий пойменных почв при антропогенном загрязнении // Там же. – 1987. – 72, № 8. – С. 1060-1065.
- Кабилов Р.Р., Хазипова Р.Х. Альгологический метод оценки токсичности поверхностно-активных веществ // Биондикация и биомониторинг. – М.: Наука, 1991. – С. 282-285.
- Кабилов Р.Р., Шилова И.И. Почвенные водоросли свалок и полигонов твердых бытовых и промышленных отходов в условиях крупного промышленного города // Экология. – 1990. – № 5. – С. 10-18.
- Кабилов Р.Р., Шилова И.И. Сообщества почвенных водорослей на территории промышленных предприятий // Там же. – 1994. – № 6. – С. 16-20.
- Кабилов Р.Р., Степанов А.М., Черненкова Т.В. Устойчивость популяций почвенных водорослей к радиоактивному загрязнению // Альгология. – 1991. – 1, № 4. – С. 51-57.
- Кабилов Р.Р., Суханова Н.В., Хайбуллина Л.С. Выделение почвенных альгоценозов методом Браун-Бланке. – М., 1999. – 35 с. Деп в ВИНТИ 31.03.99, № 1014-B99.
- Кабилов Р.Р., Хазипова Р.Х., Хазипов Р.Х. Влияние двух неогенных поверхностно-активных веществ на почвенные водоросли // Теория и практика применения новых методов увеличения нефтеотдачи. – Уфа, 1980. – С. 138-140.
- Кабилов Р.Р., Хазипова Р.Х., Хусайнов З.М. Изучение границ устойчивости почвенных водорослей к поверхностно-активным веществам // Альгология. – 2000. – 10, № 2. – С. 168-173.
- Одум Ю. Экология: В 2-х т. – М.: Мир, 1986. – 328 с.
- Прошкина Е.А. Влияние тяжелых металлов на сообщества почвенных и эпифитных водорослей: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Уфа, 1997. – 20 с.
- Степанов А.М., Кабилов Р.Р., Мусаев Е.К. Состояние синузий почвенных водорослей лесных экосистем в районе Чернобыльской АЭС // Ботан. журн. – 1994. – 79, № 3. – С. 56-61.
- Степанов А.М., Кабилов Р.Р., Черненкова Т.В., Садыков О.Ф., Ханисламова Г.М., Некрасова Л.С., Бутусов О.Б., Бальчевич Л.А. Комплексная экологическая оценка техногенного воздействия на экосистемы южной тайги. – М.: ЦЕПЛ, 1992. – 246 с.
- Сугачкова Е.В. Скорость восстановления альгоценозов на гаях // Современные экологические проблемы: Межвуз. сб. науч. тр. – Уфа: Изд-во БГПИ, 1998. – С. 65-72.
- Сугачкова Е.В. Влияние выгашивания на альгофлору почв соснового леса: Тез. докл. II Междунар. конф. «Актуальные проблемы современной альгологии» // Альгология. – 1999. – 9, № 2. – С. 139.

- Сугачкова Е.В. Влияние рекреационной нагрузки на сообщества почвенных водорослей: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Уфа, 2000. – 19 с.
- Суханова Н.В. Почвенные водоросли городских экосистем: Автореф. дис. ... к.б.н. – Уфа, 1996. – 21 с.
- Суханова Н.В., Ишбирдин А.Р. Синтаксономия почвенных водорослей урбанизированных территорий Башкирского Предуралья (Россия) // Альгология. – 1997. – 7, № 1. – С. 18-29.
- Суханова Н.В., Фазлудинова А.И., Хайбуллина Л.С. Диатомовые водоросли почв городских парков // Почвоведение. – 2000. – № 7. – С. 840-846.
- Суханова Н.В., Зайцев Г.А., Кулагин А.Ю., Багаудинов Ф.Я. Микроскопические водоросли коренасыщенных слоев почвы хвойных насаждений (промышленная зона, г. Уфа) // Экологические проблемы современности: Межвуз. сб. науч. тр. Ч. II. – Уфа: Изд-во БГПУ, 2001. – С. 201-211.
- Уиттекер Р. Сообщества и экосистемы. – М.: Прогресс, 1980. – 227 с.
- Фазлудинова А.И. Качественный состав и количественные характеристики группировок диатомовых водорослей почв Башкортостана // Экологические проблемы Республики Башкортостан: Межвуз. сб. науч. тр. – Уфа: Изд-во БГПИ, 1997. – С. 315-322.
- Фазлудинова А.И. Эколого-флористическая характеристика почвенных диатомовых водорослей Южного Урала: Автореф. дис. ... к.б.н. – Уфа, 1999. – 17 с.
- Фазлудинова А.И. Влияние поверхностно-активных веществ на сообщества почвенных водорослей НПАВ // Экологические проблемы современности: Межвуз. сб. науч. тр. Ч. I. – Уфа: Изд-во БГПУ, 2001. – С. 148-152.
- Фазлудинова А.И., Кабиров Р.Р. Устойчивость почвенных диатомовых водорослей (*Bacillariophyta*) к воздействию тяжелых металлов // Альгология. – 1999. – 9, № 1. – С. 30-34.
- Хазитова Р.Х. Почвенные водоросли как фактор поддержания стабильности наземных экосистем в условиях антропогенного процесса // Экологические проблемы Республики Башкортостан: Межвуз. сб. науч. тр. – Уфа: Изд-во БГПИ, 1997. – С. 300-306.
- Хазитова Р.Х., Ханисламова Г.М., Кабиров Р.Р. Экотоксикологическая оценка используемых в нефтедобывающей промышленности химических препаратов // Экологические проблемы современности: Межвуз. сб. науч. тр. – Ч. I. – Уфа: Изд-во БГПУ, 2001. – С. 152-160.
- Хайбуллина Л.С. Почвенные водоросли, приуроченные к городским сообществам рудеральных растений // Современные экологические проблемы: Межвуз. сб. науч. тр. – Уфа: Изд-во БГПИ, 1998. – С. 52-58.
- Хайбуллина Л.С. Флора и синтаксономия почвенных водорослей г. Сибая и его окрестностей: Автореф. дис. ... к.б.н. – Уфа, 2000. – 19 с.
- Хайбуллина Л.С., Суханова Н.В., Кабиров Р.Р. Использование метода Браун-Бланке при анализе флоры почвенных водорослей Зауралья (Россия) // Актуальные проблемы современной альгологии: Тез. докл. II Междунар. конф. (Киев, 26-28 мая 1999 г.). – К.: Ин-т ботаники, 1999. – С. 148.
- Ханисламова Г.М., Кабиров Р.Р., Хазитова Р.Х. Поверхностно-активные вещества в наземных экосистемах. – Уфа: БНЦ УрО АН СССР, 1988. – 143 с.
- Шмелев Н.А. Почвенные водоросли хвойных лесов Южно-Уральского заповедника // Биоразнообразие и биоресурсы Урала и сопредельных территорий: Мат. междунар. конф. – Оренбург, 2001. – С. 50.
- Шмелев Н.А. Альгоценозы основных типов леса среднего пояса горно-лесной зоны Южно-Уральского заповедника: Автореф. дис. ... к.б.н. – Уфа, 2002. – 18 с.
- Штина Э.А., Голлербах М.М. Экология почвенных водорослей. – М.: Наука, 1976. – 144 с.
- Kabirov R.R., Sukhanova N.V., Bogdanova A.V., Khaibullina L.S., Shmelev N.A., Sugachkova E.V., Fazludina A.I., Gaisina L.A. Influence of recreation on algal flora of the forest societies (South Ural region) // Biodiversity and dynamics of ecosystems in North Eurasia. Doc. int. conf. (Novosibirsk, 21-26 Aug., 2000). – Novosibirsk, 2000. – P. 100-102.

Получена 01.04.03

Подписала в печать Н.В. Кондратьева