



УДК 581.192:546

Е.Л. Барский, Я.В. Саванина, С.Ю. Королева, Ю.Н. Королев, Е.С. Лобакова

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, биологический факультет, Россия, 119899, Москва, Ленинские горы, 1, строение 12, E-mail: cordekor@list.ru

ОПТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА ВЗАИМОСВЯЗЕЙ ПАРАМЕТРОВ ЭКОСИСТЕМ С ПАРАМЕТРАМИ ОРГАНИЗМОВ

Известно, что существование биоценозов в широком диапазоне изменений окружающей среды возможно благодаря их приспособительным изменениям - экологическим модификациям. Теория модификаций указывает на некоторые параметры экосистемы, которые характеризуют ее состояние. Однако, использовать их на практике практически невозможно (например, определение биоразнообразия в лесной экосистеме). Однако, исследователи указывают на аналогию между развитием биоценоза и онтогенезом организмов. В работе предлагается подход, когда на основании данной теории выделяются параметры, характеризующие состояние экосистем и формулируются соответствующие параметры для микроорганизмов, характеризующие их состояние. Теория модификаций обращает внимание на возможность использования показателей развития организмов для характеристики состояния экосистем. Показано, что всю экспериментальную часть работы возможно выполнить лишь при использовании спектральных методов исследования, позволяющих вести анализ клеток организмов без их разрушения и послойно.

**ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ, СПЕКТРОСКОПИЯ
ВНУТРЕННЕГО ОТРАЖЕНИЯ, МИКРООРГАНИЗМЫ**

ВВЕДЕНИЕ

Для контроля за состоянием экосистем возможно использовать организмы (в частности, микроорганизмы), входящие в них, т.к. при определенном изменении среды система откликается соответствующей "реакцией", отражающейся в изменении параметров организмов в соответствии с состоянием экосистемы. Она проявляется либо в количественном варианте (изменение градиентов тех или иных биохимических компонентов в определенном объеме клетки, изменение градиентов степени пространственной организации этих биохимических образований), либо в качественном варианте (изменение векторов изменений градиентов концентраций биохимических компонентов, изменение векторов изменений градиентов степени пространственной организации). Это и было необходимо показать в экспериментах при использовании разнообразных спектральных методов. Чтобы рассмотреть возможности практической реализации сказанного, в работе приведены параметры экосистемы, характеризующие ее состояние и сформулированы соответствующие им параметры клеток организмов, в частности, в популяции микроорганизмов. Все приведенные параметры показывают взаимосвязь между пространственными и временными характеристиками биосистем разных рангов. Поэтому для решения поставленных задач и были использованы разнообразные оптические методы, необходимые для контроля приведенных в работе параметров клеток организмов. Для этого воспользовались энтропийным подходом и сформулированы требования к методам для решения указанной задачи.

АНАЛИЗ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ ЭКОСИСТЕМ

К решению поставленной задачи нас подводят представления об экологических модификациях. Рассмотрим подробнее.

В условиях стремительно увеличивающихся масштабов антропогенного воздействия на окружающую природу происходит глубокая перестройка биоценозов. Биоценоз реагирует на изменение окружающей среды как единое целое. Существование биоценозов в широком диапазоне изменений окружающей среды возможно благодаря приспособительным изменениям биоценозов — экологическим модификациям. Последние представляют собой единую взаимообусловленную систему приспособлений, включающую в себя различные способы достижения соответствия интенсивности и характера метаболизма биоценоза изменяющимся условиям среды (экологический прогресс, экологическая модуляция, экологический регресс), механизмы саморегуляции численности популяции, регуляторные механизмы особи, приспособительные изменения органов растительных и животных организмов и компенсаторно-приспособительные реакции в их элементарном проявлении на клеточном и субклеточном уровнях. Поэтому даже самое глубокое проникновение в тонкости приспособительных изменений того или иного элемента биоценоза может дать только одностороннее, частичное представление об адаптационной реакции как о явлении, всегда обусловленном взаимодействием всех элементов и подсистем на всех структурных уровнях организации биоценоза. Адаптационная система биоценоза лежит в основе диалектически противоречивого единства биоценоза и его экотопа — в основе биогеоценоза.

Фундаментальную основу существования биоценозов составляют процессы утилизации энергии и веществ, содержащихся в окружающей природе, процессы извлечения энергии из окружающей среды и превращения экзогенных веществ в биомассу биоценоза.

Источники энергии и вещества, которыми располагает биоценоз, составляют его важнейшие жизненные ресурсы.

Все вышесказанное соответствует определению основного биоценотического закона как закона соответствия уровня метаболизма биоценоза уровню обеспеченности жизненными ресурсами.

Анализ изменений, происходящих в биоценозах, позволяет выделить три общих направления метаболического прогресса, связанные с тремя различными путями изменения экологической структуры биоценозов: с усложнением экологической структуры — экологическим прогрессом, с упрощением экологической структуры — экологическим регрессом и перестройкой экологической структуры, не ведущей к ее усложнению или упрощению, — с экологической модуляцией. Все изменения экологической структуры биоценозов, связанные с экологическим прогрессом, экологическим регрессом и экологической модуляцией, были названы экологическими модификациями [1].

В соответствии с основным кибернетическим законом Винера - Шеннона - Эшби увеличение внутреннего разнообразия биоценоза позволяет ему стабильно поддерживать высокий уровень метаболизма в широком диапазоне флуктуации тех или иных факторов внешней среды в тесном соответствии с обеспеченностью важнейшими жизненными ресурсами.

Экологический прогресс обычно характеризуется определенной направленностью развития целого комплекса очень общих по своему экологическому значению признаков. Среди них наряду с уже упомянутыми наиболее изученными признаками следует считать уменьшение энтропии, увеличение устойчивости к внешним возмущениям, усложнение межвидовых отношений, увеличение пространственной гетерогенности, увеличение длины жизненных циклов и усложнение временной структуры.

Принцип Г. Ф. Хильми [2], запрещающий избыточную организацию организма и по своему содержанию выходящий за пределы простого следствия кибернетического закона необходимого разнообразия, может быть обобщен на биологические системы всех структурных уровней, включая биоценотический. Согласно этому принципу, наибольшая приспособленность системы к устойчивому существованию в конкретных условиях среды

достигается при строго определенном, обусловленном свойствами среды уровне организации этой системы. Превышение необходимого уровня организации уменьшает приспособленность системы к условиям ее существования. Иначе говоря, для устойчивого существования и функционирования биоценоза уровень его организации должен соответствовать условиям среды, должен быть достаточно высоким, но не избыточным: неоправданный условиями среды чрезмерно высокий уровень организации биоценоза, лишает его целесообразного соответствия среде и уменьшает его приспособленность к ней. Таким образом, указанный принцип, распространенный на биоценоз, указывает на существование некоторого предела уровня организации биоценоза, определяемого конкретными условиями среды. В тех случаях, когда по тем или иным причинам происходит упрощение отношений со средой, биоценоз также испытывает вторичное упрощение. Следовательно, среда, изменяемая человеком, среда, в которой существуют биоценозы, оказывается фактором, определяющим и интенсивность метаболизма биоценозов, и уровень их организации.

На зависимость уровня организации организма от условий окружающей среды указывал еще выдающийся русский физиолог XIX в. И. И. Сеченов. В дальнейшем эта идея нашла глубокое отражение в учении А. Н. Северцова о морфологических закономерностях эволюции организмов. Теперь очевидно, что не только уровень организации отдельных видов организмов, но и уровень организации их сообществ зависит от окружающей среды. Основные направления изменений биоценозов в условиях загрязнения окружающей среды отражают сущность этой зависимости.

Экологические модификации могут возникать в результате изменения физических и химических характеристик среды.

Комплекс физических и химических факторов антропогенного происхождения глубоко изменяет условия существования биоценозов. Скорость изменения биоценозов должна быть не меньше скорости изменения биологически важных для них элементов среды. Наличие различных способов метаболического прогресса (экологического прогресса, экологической модуляции и экологического регресса) обуславливает высокую пластичность биоценозов — их способность быстро и глубоко перестраиваться, приспособляясь к изменениям среды.

Уменьшение загрязнения экосистем обычно приводит к обратному течению рассмотренных процессов. Таким образом, экологический прогресс, экологическая модуляция и экологический регресс представляют собой различные способы достижения соответствия интенсивности и характера метаболизма биоценоза его обеспеченности важнейшими жизненными ресурсами.

Абсолютных биологических величин, имеющих одинаковый смысл для всех экосистем, независимо от типа и географического положения последних, не существует. Равными количественными характеристиками (например, одним и тем же значением первичной продукции) могут обладать экосистемы, находящиеся в принципиально различных состояниях. Только основные качественные состояния инвариантны для экосистем: это состояние метаболического и экологического прогресса, состояние метаболического прогресса и экологического регресса, состояние метаболического и экологического регресса. Каждое из этих состояний соответствует определенному уровню антропогенной нагрузки, что является объективным критерием для обоснованного экологического нормирования.

На фоне нерегулярных, спорадических изменений биоценозов, длительность которых определяется временем действия внешних факторов, выделяются более устойчивые, определенно направленные изменения, происходящие в известной хронологической последовательности, когда каждое предыдущее изменение подготавливает последующее. Такие изменения — сукцессии — происходят вследствие преобразования экотопа в процессе жизнедеятельности биоценоза.

Сукцессии, возникающие при заселении новых территорий, представляют собой по существу индивидуальное развитие биоценозов. Многие исследователи указывают на аналогию между индивидуальным развитием биоценоза и онтогенезом организмов. Ю. Одум говорит о «множестве параллелей» между развитием экосистем и развитием организмов [1]. Некоторые авторы в закономерностях сукцессий усматривают аналогию биогенетического

закона.

Биоценозы, имеющие много общих черт на пионерных стадиях, в процессе индивидуального развития приобретают все больше и больше особенных, индивидуальных черт и тем самым утрачивают в значительной степени то сходство, которое имели на пионерных стадиях. Индивидуальные особенности биоценоза достигают наибольшего развития на стадии климакса. Наиболее общие черты, присущие многим типам биоценозов, проявляются на ранних пионерных стадиях. Это общий закон развития биоценозов. Он справедлив для морских, пресноводных и наземных биоценозов.

В биосфере нет структур, не выполняющих какой-либо функции, так же как нет функций, не связанных с какой-либо структурой. Отдельные компоненты биосферы существуют не изолированно, а взаимодействуют друг с другом в своем возникновении, развитии и функционировании, оказывая друг на друга формообразующее влияние [1].

Биологические системы различных структурных уровней возникли и развивались как некоторые части целого — биосферы, — как ее элементы и подсистемы. Система взаимоотношения элементов и подсистем, прежде всего, и характеризует биосферу, которая как целое доминирует над ними и в процессе их развития, и при определении их сущности. Поэтому В. И. Вернадский и указывал на то, что вопрос о начале жизни на Земле сводится к вопросу о начале биосферы. Он писал: «Организм, удаленный из биосферы, есть не реальное, есть отвлеченное логическое построение, по своим свойствам столь же далекое от реальности, как далек от реального «воздуха», т. е. тропосферы, воздух физика. Он дает только первое приближение к научному пониманию, и многие важнейшие свойства тропосферы при таком отвлечении исчезают из научного кругозора».

Биосфера — как действительно целое — это не совокупность результатов становления, а планетарная биологическая система, живая благодаря непрекращающемуся процессу становления. Это приводит нас к пониманию жизни как к процессу становления биосферы, протекающему на всех структурных уровнях биологических систем, представляющих собою подсистемы и элементы биосферы, подсистемы и элементы ее подсистем и элементов.

Биоценозы не существуют абсолютно изолированно, а связаны друг с другом в большей или меньшей степени, объединены в системы, имеющие различную общность.

Рассмотренная нами теория модификаций обращает внимание на возможность использования показателей развития организмов для характеристики состояния экосистем.

Выделим основные положения рассмотренной теории, на которые мы будем опираться при решении поставленной задачи:

«...исследователи указывают на аналогию между индивидуальным развитием биоценоза и онтогенезом организмов («множество параллелей» между развитием экосистем и развитием организмов); ... не только уровень организации отдельных видов организмов, но и уровень организации их сообществ зависит от окружающей среды. Основные направления изменений биоценозов в условиях загрязнения окружающей среды отражают сущность этой зависимости.

Биологические системы всех структурных уровней существуют в единстве взаимной обусловленности. Они возникли и развивались как некоторые части целого - биосферы, как ее элементы и подсистемы. Система взаимоотношения элементов и подсистем прежде всего и характеризует экологическую систему, которая как целое доминирует над ними и в процессе их развития, и при определении их сущности.

В биосфере нет структур, не выполняющих какой-либо функции, так же как нет функций, не связанных с какой-либо структурой. Отдельные компоненты биосферы существуют не изолированно, а взаимодействуют друг с другом в своем возникновении, развитии и функционировании, оказывая друг на друга формообразующее влияние.

Регуляторная система биосферы включает в себя компенсаторно-приспособительные реакции на самых разнообразных уровнях. Это и на клеточном и субклеточном уровнях, и приспособительные изменения органов животных и растений, и регуляторные механизмы организмов, и механизмы саморегуляции популяций, и регуляторные механизмы биоценозов - экологические модификации.

Для рационального управления природоохранной деятельностью, для создания системы высокоэффективного экологического мониторинга чрезвычайно важно понимание того, что окружающая природная среда реагирует на антропогенные воздействия, как иерархически структурированная целостная планетарная экологическая система, а не как конгломерат компонентов».

Из представленного материала следует, что для контроля состояния экосистем возможно использовать организмы (в частности, микроорганизмы), входящие в них, т.к. при определенном изменении среды система откликается соответствующей "реакцией", отражающейся в изменении параметров организмов в соответствии с состоянием экосистемы. Она проявляется либо в количественном варианте (изменение количества тех или иных биохимических компонентов в определенном объеме клетки, изменение степени пространственной ориентации этих биохимических образований), либо в качественном варианте (изменение векторов изменений градиентов концентраций биохимических компонентов, изменение векторов изменений градиентов степени пространственной организации). Это и необходимо показать в экспериментах.

Чтобы рассмотреть возможности практической реализации сказанного, выделим на примере экологического прогресса базовые параметры экосистем, характеризующие их состояние, и сформулируем соответствующие им параметры клеток организмов, в частности, в популяции микроорганизмов (Таблица 1).

Экологический прогресс характеризуется определенной направленностью развития целого комплекса общих по своему экологическому значению признаков:

- 1) увеличение разнообразия биоценоза, в частности, в увеличении общего числа видов;
- 2) уменьшение энтропии;
- 3) усложнение межвидовых отношений;
- 4) увеличение пространственной гетерогенности;
- 5) усложнение временной структуры;
- 6) увеличение длины жизненных;
- 7) увеличение устойчивости к внешним возмущениям (характеристики реакции культуры).

Экологический регресс характеризуется чертами, прямо противоположными экологическому прогрессу.

Экологическая модуляция — перестройка биоценоза, которая не изменяет общего уровня его организации:

- а) может выражаться в смене доминантных видов,
- б) в изменении видового состава биоценоза,
- в) как правило, не ведет к таким глубоким изменениям интенсивности метаболизма биоценозов, к каким приводят экологический прогресс и экологический регресс (энтропия и градиенты во времени меняются слабо – необходимо для каждой экосистемы определять границы),
- г) в изменении состава руководящих комплексов.

Таблица 1. Базовые параметры экосистем, характеризующие их состояние (пример экологического прогресса), и соответствующие им параметры клеток в популяции микроорганизмов

Экосистема	Популяция микроорганизмов (пм)
увеличение разнообразия биоценоза, в частности в увеличении общего числа видов	появление различных форм и размеров клеток при рассинхронизации
уменьшение энтропии	повышение структурированности в пространственной организации клетки, дихроизм молекулярных структур биохимических составляющих клеток
усложнение межвидовых отношений	логарифмическая и стационарная

	фазы развития пм
увеличение пространственной гетерогенности	пространственное перераспределение концентраций биохимических компонентов в клетке
усложнение временной структуры – увеличение набора временных характеристик различных организмов в экосистеме вследствие увеличения видового разнообразия и разнообразия связей	то же при рассинхронизации
увеличение длины жизненных циклов	увеличение продолжительности жизни на каждом последующем этапе развития
увеличение устойчивости к внешним возмущениям – увеличение диапазона устойчивости и уменьшение времени восстановления	то же для пм

Все перечисленные параметры показывают взаимосвязь между пространственными и временными характеристиками биосистем, поэтому необходимо показать не только возможность контроля всех перечисленных выше параметров клеток организмов, не только взаимосвязь в изменениях этих параметров в популяции микроорганизмов, но и возможную взаимосвязь их изменений с изменениями, происходящими в состоянии экосистемы.

Проведенная параллель между параметрами экосистемы и клетками организмов, в нее входящих, пока не показала тех характеристик в организмах, которые могут отражать в клетках информацию о состоянии экосистемы. Ответ на этот вопрос - одна из главных задач данной работы.

В качестве объектов исследования были использованы самые разнообразные организмы. Но для большинства экспериментов были использованы культуры микроорганизмов. Во-первых, микроорганизмы – одна из основных доминантных частей любой экосистемы. Это своего рода собирательное понятие о способах существования земных организмов.

Любые изменения среды обитания находят обязательное отражение в физиологических реакциях живой системы. Реакция проявляется либо в количественном варианте (в определенном объеме клетки изменяется количество биохимических компонентов либо их пространственная организация), либо в качественном варианте.

Микроорганизмы рассматриваются в качестве возможной модели как одна из доминантных частей любой экосистемы и как, своего рода, собирательное понятие о всех возможных способах существования земных организмов (8 типов питания, см. [3]). Реакции многоклеточных организмов на изменения параметров среды опосредованы рядом факторов и сложны для интерпретации. Одноклеточные организмы находятся в постоянном контакте со средой и зависимы от окружающих условий в большей степени, чем мелкие многоклеточные формы, поскольку у них меньше возможностей отделить свою внутреннюю среду от внешней. Обмен веществ между клеткой микроорганизма и средой осуществляется всей ее поверхностью, поэтому внутриклеточные процессы исключительно зависят от условий среды.

Если известный принцип [2], который запрещает «избыточную» организацию для биоценозов (превышение уровня организации сообщества видов снижает приспособленность биоценоза к условиям его существования), распространить на биологические системы других структурных уровней, то можно говорить о существовании ограничения уровня организации клеточной популяции, определяемого конкретными условиями среды. Внешние условия, таким образом, определяют не только интенсивность метаболизма, но и уровень организации биосистем. Можно сказать, что организация биосистемы и ее состояние выступают как адаптация к изменившимся условиям среды существования.

В данной работе использовались методы спектроскопии внутреннего отражения (СВО) в инфракрасном диапазоне. Спектральные характеристики, полученные в поляризованном

свете, позволяют получить информацию и о преимущественной пространственной ориентации ряда химических связей в макромолекулярных компонентах клетки. Анализ проводили по полосам поглощения белков амид 1 (A_1) и амид 2 (A_2).

Экспериментальные данные по изменению анизотропии в виде ИК спектров были получены в поляризованном свете (угол падения измерительных элементов удобно выбрать равным 45° , так как для него в случае изотропного распределения молекул дихроичные отношения (A) $d_{эф1}/d_{эф2} = 2$, где $d_{эф1}$, $d_{эф2}$ - эффективные толщины исследуемого образца для параллельной и перпендикулярной компонент плоскополяризованного света). Оценка эффективной толщины проводилась по оптической плотности (D), которая связана с $d_{эф}$ зависимостью $D = \ln R = \alpha N d_{эф}$, где R - коэффициент отражения, измеряемый в опыте; α - показатель поглощения, см^{-1} ($\alpha = \epsilon C$; ϵ - экстинкция, л/см²·моль; C - концентрация, моль/л); N - число отражений в элементе. Любое отклонение этого значения от $d_{эф1}/d_{эф2} = 2$ характеризует преимущественную ориентацию образца относительно плоскости падения света. В работе был использован ИК пленочный реплика-поляризатор на основе полиэтилена 1200 штрихов/мм, степень поляризации 95-96%, пропускание поляризатора 46-48%. Для регистрации сигнала использовали преобразование сигнала с ИК спектрофотометра ИКС-29 мультиметром METEX ME-22 для ввода в компьютер и последующего анализа данных на базе стандартной программы «MICROSOFT EXCEL», позволяющей провести обшчт площадей поглощения. Проведены статистические обработки результатов измерений.

При изменении среды обитания биосистема пытается адаптироваться к этим изменениям, осуществляя обмен информацией со средой. В процессе адаптации изменяется и степень анизотропии биосистемы в разных ее слоях, что связано с изменением пространственной организации как целых клеток, так и их внешних структур. Степень же анизотропии можно определять с помощью регистрации спектральных характеристик, полученных при разных поляризациях электромагнитного излучения (так называемые дихроичные отношения) и получения цифровых данных. По соотношению этих данных для целых клеток и их внешних структур (A) можно характеризовать организованность биосистемы и, следовательно, ее функциональное состояние. Анализ проводили по полосам поглощения белков амид 1 (A_1) и амид 2 (A_2).

Предположим, что параметрами, характеризующими энтропии, являются полученные в экспериментах различные значения A для целых клеток и их внешних структур (характеристика степени их пространственной организации). Тогда сопоставление значений A должно характеризовать изменение состояния живой системы, цифровые значения A должны характеризовать степень изменения состояния системы, а их изменения во времени характеризуют скорость этих изменений.

1) Сравнительная характеристика вегетативных клеток и спор анаэробной почвенной бактерии *Clostridium pectinofermentans* [4] Целым живым клеткам культуры свойственна определенная степень пространственной упорядоченности белковых компонентов. Значения A для этих же полос, полученные из внешних структур клеток ($\sim 0,2$ мкм) (табл.2 и 3), свидетельствуют об изотропном характере распределения. Спора представляет собой наиболее устойчивое состояние для данного вида микроорганизмов. Особого внимания, на наш взгляд, заслуживает изотропность целой споры. Наибольшая упорядоченность, характеризуемая полосами поглощения амидных связей, наблюдается во внешних слоях споры (0—0,25 мкм), включающих клеточные структуры от экзоспориума до внутренней споровой мембраны.

Таблица 2. Значения A полос поглощения Амид 1 и Амид 2 для вегетативных клеток *Cl. Pectinofermentans*

Фаза развития	Толщина слоя, мкм	Амид 1	Амид 2
Лог-фаза	1,0	2,25	1,62
	0,25	1,90	1,90
Лог-фаза	1,0	1,74	1,56
	0,25	2,09	2,07
Стац. фаза	1,0	1,74	1,62
	0,25	1,98	2,00

Таблица 3. Значения A полос поглощения Амид 1 и Амид 2 для спор *Cl. Pectinofermentans*

Толщина слоя, мкм	Амид 1	Амид 2
1,0	2,0	2,0
0,25	1,3	1,3

Таким образом, получена характеристика максимальной устойчивости для данного вида микроорганизмов. В наиболее устойчивой системе разница между значениями A для внешних структур и целых клеток максимально возможная. Чем выше степень упорядоченности (уровень организации) для целых клеток, тем ниже она для их внешних структур. Процесс спорообразования сопровождается структурированием макромолекулярного матрикса внешнего слоя. Т.е., внешний слой споры (0-0,25 мкм) представляет собой упорядоченную структуру в отличие от вегетативной клетки, у которой внешний слой изотропен. В итоге, спора в целом - изотропна, а вегетативная клетка в значительной степени упорядочена.

2) Для оценки воздействия факторов среды культивирования на интенсивность метаболизма и уровень организации клеток фототрофных микроорганизмов использовался мелафен (меламиновая соль бис(оксиметил)-фосфиновой кислоты). Ранее был показан стимулирующий эффект малых (10^{-7}) концентраций данного синтетического аналога нуклеотидов на рост высших растений и клеток микроводорослей [5]. В качестве основного механизма воздействия рассматривалась модификация жирных кислот в клеточных мембранах.

Таблица 4. Действие мелафена на состояние внешних структур клеток цианобактерий

Без добавки		10^{-7} м		10^{-4} м	
КО-2	Ge	КО-2	Ge	КО-2	Ge
1,92	1,54	1,89	1,65	1,80	1,71

В эксперименте фиксировали изменение степени пространственной организации системы по значениям A в области полос поглощения A_1 и A_2 как для внешних структур, так и для целых клеток (табл.4). Показано, что при увеличении степени пространственной организации во внешних структурах происходит ее уменьшение для целой клетки. И наоборот: чем выше уровень организации целой клетки, тем меньше его организация для внешних структур. Разность этих значений уменьшалась при увеличении концентрации мелафена в среде (в таких дозах мелафен ингибирует рост культур микроводорослей – 10^{-4} мг/мл). Итак, увеличение интенсивности повреждающего фактора среды уменьшает разность между A клеток и A их внешних структур. Это позволяет определить степень устойчивости системы (пределы толерантности), т.е. установить границы ее адаптивных возможностей. При экстраполяции на макрообъекты и экосистемы, это может послужить основой для определения степени антропогенного воздействия на макрообъект или на всю экосистему.

3) Задача заключалась в сравнительном исследовании изменений пространственной организации макромолекул важнейших биополимеров в процессе диализного и периодического культивирования цианобактерии *Synechococcus* sp. PCC 6301. Диализная система представляет упрощенную модель функционирования природной биопленки цианобактерий: в объеме диализного мешка (погруженного в 10 раз больший объем «внешней среды») накапливаются высокомолекулярные полисахариды, которые объединяют отдельные клетки и создают вокруг них специфические условия – организмы развиваются не в водно-солевой среде, а в коллоидном матриксе. Диализные культуры характеризуются высоким уровнем накопления биомассы и значительным увеличением продолжительности экспоненциальной и стационарной фазы роста. С другой стороны, есть возможность создавать различные фоновые условия, приближенные к реальным условиям функционирования живых систем. Поэтому подобный подход может быть использован для уточнения нормативов ПДК при их определении в лабораторных условиях, а также, с нашей точки зрения, в экологии при стандартизации тест-объектов и при создании культуры с максимально возможной адаптацией при изменяющихся условиях внешней среды[6].

Таблица 5. Значения анизотропии полосы амид 1 диализной и периодической культур цианобактерии *Synechococcus* sp. PCC 6301 в различные этапы развития

Этапы развития	Диализная культура		Периодическая культура	
	анализируемый слой			
	Внешние структуры	вся клетка	Внешние структуры	вся клетка
Лаг-фаза	1,9	1,5	2,0	1,65
Лог-фаза	1,4	2,0	1,9	1,57
Стац. фаза	1,92	1,42	1,68	1,98

Отметим здесь лишь необходимые нам выводы с т.зр. энтропийного подхода (табл. 5). Различия между клетками диализной и периодической культур наблюдаются как в спектральных характеристиках, так и в изменениях градиентов биохимического состава. Увеличение разности значений A в диализной культуре подтверждает данные о её большей устойчивости.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итак, в данной работе предложена методология оценки состояния популяции микроорганизмов: оценивается динамика изменений в популяции микроорганизмов при различных воздействиях, характер и степень динамики происходящих изменений, скорость восстановления после воздействия.

Метод опробован на клетках микроорганизмов. Однако, возможен перенос данного метода на клетки макроорганизмов (многоклеточных) с использованием разности значений A для целых клеток этих организмов и их внешних структур.

Предложена эмпирическая модель оценки состояния биосистем на основе контроля степени пространственной организации клеток и их внешних структур в популяции микроорганизмов разных таксономических групп.

Для анализа состояния популяций и сообществ впервые предложен энтропийный подход. В соответствии с данным подходом выявлена зависимость между состоянием организма и изменениями в пространственной организации клеток и их внешних структур.

Предложенный метод позволяет оценивать характер и степень динамики биосистем независимо от рода воздействия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Абакумов В.А.** Экологические модификации и развитие биоценозов. Экологические модификации и критерии экологического нормирования. Труды международного симпозиума. Л.: Гидрометеиздат, 1991. С. 28 – 40.
2. **Хильми Г.Ф.** Основы физики биосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1966.
3. **Гусев М.В., Минеева Л.А.** Микробиология, М.: АСFDEMIA, 2003.
4. **Дуда В.И., Королев Ю.Н., Эль-Регистан Г.И., Дужа М.В., Телегин Н.Л.** Распределение и пространственная упорядоченность молекул биополимеров в покоящихся бактериальных спорах. // Микробиология, 1978, т. 47, вып. 4, с. 750.
5. **Барский Е.Л., Саванина Я.В., Шандиева И.О., Лебедева А.Ф., Фаттахов С.Г., Лобакова Е.С.** Действие мелафена на рост и физиологические параметры фототрофных и гетеротрофных микроорганизмов. // Вестн. Моск. ун-та, сер. «Биология», 2009. № 4. С. 14-19.
6. **Лебедева А.Ф., Барский Е.Л., Саванина Я.В., Королева С.Ю., Королев Ю.Н., Лобакова Е.С.** Диализное культивирование микроорганизмов как адекватная модель контроля. популяций при исследовании экосистем. // Вестн. Моск. ун-та, сер. «Биология», 2010. № 2. С. 15-20.

E.L. Barsky, Ya.V. Savanina, S.U. Koroleva, U.N. Korolev, E.S. Lobakova

*M.V.Lomonosov Moscow State University, Biological Faculty, Russia
119899, Moscow, Leninskie Gori, 1, Bld 12, E-mail: cordekor@list.ru*

OPTICAL METHODS FOR ANALYSIS OF THE INTERRELATIONSHIPS OF ECOSYSTEM PARAMETERS WITH PARAMETERS OF ORGANISMS

It is known that the existence of a wide range of environmental change is possible thanks to the boom, environmental changes acting modifications. Theory of modifications indicates some parameters of ecosystems that characterize her condition. However, use them in practice virtually impossible (for example, the definition of biodiversity in forest ecosystems). Though. researchers point to the analogy between evolution and ontogeny organisms biocenosis. The proposed approach on the basis of this theory are parameters that characterize the ecosystems and made the appropriate settings for microorganisms that characterize their status. Theory models drew attention to the possibility of using indicators of ecosystem characteristics for organisms. It is shown that the pilot of the work can be performed only if you use spectral methods for analysis of cells without destruction and wise.

SPACE-TIME ORGANIZATION, ATTENUATED TOTAL REFLECTION, MICROORGANISMS