

---

---

## Лекции

---

---

### ЭТОЛОГИЯ БАКТЕРИЙ

**Смирнов С.Г.**

ГОУ ВПО «Ивановская государственная текстильная академия»

Кафедра социально-культурного сервиса и туризма

ГОУ ВПО ИвГМА Росздрава

Почетный заведующий кафедрой микробиологии и вирусологии

Дорогие коллеги! Уважаемые господа студенты!

Более 30 лет я провел в аудиториях и лабораториях кафедры микробиологии Ивановского государственного медицинского института. За это время более пятнадцати тысяч студентов прошли обучение на кафедре, овладевая азами микробиологии, вирусологии и иммунологии. Мы с коллективом преподавателей постоянно совершенствовали учебно-методический процесс, много работали с кружковцами, занимались эстетическим воспитанием студентов и достигли в этом немалых успехов.

И все же главным делом нашего многопрофильного научного коллектива кафедры микробиологии, центральной научной лаборатории и кафедры инфекционных болезней — бактериологов, физиков, химиков, инженеров, инфекционистов — была повседневная и кропотливая лабораторно-экспериментальная научная деятельность, в результате которой выполнены и защищены более двадцати диссертаций. По результатам этих исследований вполне естественно сформировалось новое научное направление в отечественной микробиологии — **этология бактерий**, основные положения которого я и хочу предложить вашему вниманию.

Позвольте начать с далекого прошлого. Около 20 миллиардов лет назад в результате так называемого Большого взрыва образовалась наша Вселенная. Примерно 4,5 миллиарда лет назад в Солнечной системе сформирова-

лась планета Земля, а еще через 500 миллионов лет, после того как затихли огненные бури и извержения раскаленной лавы, на нашей планете появилась жизнь. По всей вероятности, это были архебактерии — предки современных прокариотов и эукариотов. Тот факт, что прокариоты (архебактерии) находятся у истоков возникновения и формирования биосферы Земли, делает их в глазах ученых существами особенными. Действительно, сравнительно просто устроенные одноклеточные организмы, многие звенья метаболизма которых вынесены в среду обитания, содержащие примитивный кольцевой геном, а не сложно организованное ядро, за миллиарды лет не только не вытеснены из биосферы Земли высокоорганизованными одноклеточными и многоклеточными эукариотами, но до сих пор занимают все возможные, даже самые агрессивные, казалось бы, совершенно непригодные для жизни экологические ниши на нашей планете.

Имеется достаточно оснований для утверждения, что жизнь на Земле с момента возникновения могла существовать только в виде разнокомпонентной устойчивой экологической системы, в которой каждый из компонентов выполнял свою специфическую функцию. Кроме того, получены астрономические факты, позволяющие утверждать, что жизнь на Земле произошла от всепроникающей общегалактической живой субстанции, представленной архебактериями в количестве не менее  $10^{52}$  клеток, сконцентрированной в виде черных пылевых облаков в нашей Галактике.

---

**Smirnov S.G.**

**ETHOLOGY OF BACTERIA**

К тому же исследователей не может не удивлять, что у древнейших обитателей Земли, прокариотов, не обнаружены циркадные (суточные) ритмы, словно они являются гостями нашей планеты, а потому по-прежнему живут и размножаются в соответствии со своими особыми (космическими?) ритмами. Кстати, у прокариотов отсутствует и информационное биополе, обнаруженное и изученное В. Казначеевым у различных клеток эукариотов. Поэтому мы полностью разделяем позицию Р. Стейнера с соавторами, которые утверждают, что граница между эукариотическими и прокариотическими организмами есть наиболее важное и глубокое из всех обусловленных эволюцией различий в современном мире живого.

Эволюция этих организмов проходила принципиально различно. Так, развитие эукариотов шло по пути формирования многоклеточных систем — **организмов**, в которых дифференцированные и специализированные клетки объединялись пространственно в ткани и органы, а временное согласование их функций и взаимодействий обеспечивалось особыми гуморальными и нервными механизмами. Прокариоты, напротив, эволюционировали по пути формирования гомогенных многоклеточных систем — **популяций**, в которых дифференцированные и специализированные клетки являются полностью разобщенными пространственно, а временное согласование их функций и взаимодействий обеспечивалось гуморальными и физико-химическими механизмами. Именно такое равномерное разобщение в пространстве бактериальных клеток, на наш взгляд, делает их чрезвычайно устойчивыми в экстремальных условиях, а также определяет их целесообразное и целенаправленное развитие.

Известно, что целесообразность — это соответствие процесса определенному состоянию, материальная или идеальная модель которого выступает в качестве цели, что такая целесообразность наиболее ярко проявляется в так называемых эквивиальных системах, способных достигнуть одинакового конечного результата независимо от начальных условий. Поэтому мы в своих исследованиях исходили из представления, что любая бактериальная популяция — это такая эквивиальная система, которая всегда целенаправленно достигает одного и того же конечного результата — сохранения вида путем накопления максимального для данных условий обитания коли-

чества биомассы. Каким образом это происходит в реальных условиях? Каковы конкретные механизмы достижения этой цели? На разрешение этих вопросов и были направлены усилия нашего научного коллектива.

Сотрудники кафедры микробиологии, центральной научной лаборатории и кафедры инфекционных болезней использовали в своей работе современные общепринятые и оригинальные (авторские) методы исследования бактериальных популяций: многоячеечные культиваторы для выращивания периодических культур и усовершенствованные модели проточных культиваторов. Были разработаны прецизионные автоматические методы измерения показателей кислотно-щелочного равновесия (pH), окислительно-восстановительного потенциала ( $G_{H_2}$ ) и свободной энергии Гиббса, изменяющихся параметров вязкости и плотности среды обитания в процессе выращивания бактерий, автоматический непрерывный подсчет количества клеток на протяжении роста и развития бактериальной популяции, оригинальные способы амплитудочастотного измерения электрокинетического (дзета) потенциала клеток; применялись сканирующая электронная микроскопия и адсорбционная электронно-микроскопическая автордиография бактерий, световая микроскопия, в том числе регистрация механизмов формирования микроколоний в проточных микрокамерах оригинальной конструкции с помощью современной микрокиноустановки. Полученная бактериальная масса исследовалась на физико-химические свойства методом дифференциально-термического анализа, в ней определялось содержание элементов и микроэлементов с помощью эмиссионного спектрального анализа, исследовались белки, жиры и полисахариды методом инфракрасной спектрографии. На последних этапах микробиологических исследований применялись диагностические кассеты и технологии фирмы ABBOTT Laboratories (USA), а оценка результатов (микробиохимия экзоферментных систем) производилась с помощью автоматического диагностического центра Quantum II EIA Universal.

Были введены в научный оборот комплексные формализованные показатели биохимических, физико-химических, энергетических и информационных свойств развивающихся популяций бактерий, составлены компьютерные программы для обработки всего полученного информационного массива результа-

тов исследований. На все оригинальные приборы и методы измерения получены патенты и авторские свидетельства.

Научными сотрудниками кафедры микробиологии, центральной лаборатории и кафедры инфекционных болезней впервые экспериментально обнаружены или подтверждены следующие факты:

1. Клетки бактерий растут одним концом, меченые радиоактивные соединения распределяются в них асимметрично, преимущественно в одной (растущей) половине. Материнская бактериальная клетка отделяет дочернюю, ей неравноценную, то есть в процессе роста и деления изначально заложена неодинаковость (гетерогенность) клеточного состава популяции. Поэтому **бактериальная культура всегда гетерогенна**, всегда состоит из большого набора разнообразных по генетически-функциональным свойствам клеток.
2. В каждой развивающейся бактериальной популяции обнаруживаются следующие основные функциональные группы (кластеры) клеток:
  - кластеры клеток, растущих и делящихся с различной скоростью, условно обозначенных нами как «стайеры», «спринтеры» и «миксты»;
  - кластер покоящихся «резервных» клеток, готовых в любой, нужный для популяции момент вступить в процесс интенсивного роста и деления;
  - кластер клеток, условно обозначенных нами как «альтруисты», всегда готовых в любой, нужный для популяции момент включить механизм аутолиза (саморазрушения), продукты которого оптимизируют состав питательной среды и позволяют начать рост и деление других клеток популяции. Выявлено семь морфологических типов такого аутолиза бактерий;
  - кластеры клеток с различным значением дзета-потенциала (поверхностного электрокинетического заряда). Установлено, что величина его коррелирует со скоростью деления клеток, их вирулентностью и иммуногенностью, а также с другими параметрами бактерий.

На разных стадиях развития бактериальной популяции происходит закономерная **смена доминирующих кластеров**, и в каждый момент в культуре может быть обнаружена

богатая мозаика клеточных кластеров с различными свойствами. Несомненно существуют, появляясь и исчезая в процессе развития популяции, и другие морфофункциональные кластеры бактериальных клеток, пока не обнаруженные экспериментально.

3. В лаг-фазе (фазе начальной задержки роста популяции) разнообразие (гетерогенность) меток по морфологическим, физиологическим и физико-химическим свойствам уменьшается к третьему поколению, при этом в культуре почти полностью исчезает (аутолизируется) кластер «альтруистов» и начинает доминировать один из кластеров «стайеров», «спринтеров» или «микстов», что обычно зависит от химического состава и физико-химических свойств среды обитания, посевной дозы (инокулята), температуры культивирования и других исходных параметров.
4. Экспериментально и теоретически обоснована закономерность: лаг-фаза развития бактериальной популяции является **фазой опережающего отражения** будущих периодических изменений кластерной структуры этой популяции. Показано, что внесенная в питательную среду бактериальная посевная доза (инокулят) в лаг-фазе как бы проигрывает, «репетирует» все последующие стадии и особенности развития популяции.
5. Подтверждено представление Дж. Холдейна, что привычное стабильное и линейное время мало пригодно для оценки клеточных процессов, что в цитологии целесообразнее применять переменное время клеточной генерации ( $t$ ) как наиболее точное выражение хода биологических часов, функцию которых у клеток-эукариотов выполняет ядро.
6. Нами показано, что роль таймера (биологических часов) у безъядерных прокариотов играет сам цикл развития клетки. Каждый цикл клеточного деления бактерий — это заново возникающий «временной водитель», который не только воссоздает определенный биологический ритм функционирования внутриклеточных систем, но и тонко согласует периоды жизнедеятельности бактериальной клетки с меняющимися условиями среды обитания. Такое временное согласование огромного количества протекающих параллельно эндогенных и экзогенных биохимических процессов осуществляется за счет включения

(или исключения) «временных метаболических петель» определенной длительности в начальные точки периодов роста и размножения клеток бактерий. Не исключено, что набор таких «временных петель» ограничен и может использоваться в различных сочетаниях, что позволяет особенно тонко согласовывать атомно-молекулярные, физико-химические, физиологические и онтогенетические процессы у прокариотов.

7. Обнаружено, что поведение патогенных бактерий в организме человека связано с их физико-химическими, структурными и метаболическими свойствами, что проявляется в способности формировать стойкие ассоциации с другими микроорганизмами на слизистых оболочках и в тканях. Исследование шигелл и сальмонелл, выделенных от больных, выявило корреляцию этих свойств с особенностями клинического течения и эффективности лечения инфекций. Также обнаружена корреляция указанных особенностей у бактерий, выделенных из родовых путей беременных, с течением беременности и угрозой невынашивания плода у женщин.

На основании этих и других экспериментальных фактов мы сочли возможным рассматривать развивающуюся популяцию бактерий как своеобразный сложно устроенный организм с динамичными морфофункциональными клеточными кластерами — аналогами органов и тканей эукариотического организма. Поэтому мы считаем, что вполне допустимо говорить о поведении такого организма-популяции в процессе развития в различных, в том числе и экстремальных условиях обитания. Биологическая наука, изучающая поведение живых существ в естественных условиях обитания, называется *этология* (от греческого *ethos* — обычай, характер). А. Липкин с соавт. рассматривает поведение как процесс взаимодействия со средой обитания таких живых существ, которые приобрели способность воспринимать, хранить и перерабатывать информацию, используя ее для самосохране-

ния, активного самоизменения, роста и развития. Такая трактовка процесса поведения, на наш взгляд, полностью применима к бактериальным популяциям.

Итак, на основании экспериментальных и теоретических исследований наш коллектив сформулировал основные положения этологии бактерий — учения о целесообразном поведении прокариотов на клеточном и популяционном уровнях, где целесообразность рассматривается как сложная иерархическая структура поведенческих реакций, направленных на достижение генетически детерминированной цели — сохранения вида в разнообразных условиях среды обитания путем накопления максимального количества биомассы. При этом мы рассматриваем бактериальную популяцию как динамичную голографическую конструкцию, в каждом минимальном объеме которой присутствуют клетки всех функциональных кластеров, объединенных во времени метаболитами и ауторегуляторами в единый целесообразно действующий организм. Мы считаем, что совершенство механизмов адаптации к экстремальным условиям среды обитания обеспечивается гениальным изобретением Природы — голографическим принципом организации бактериальной популяции, морфофункциональные структуры которой разобщены, как бы «размазаны» в пространстве, но взаимосвязаны во времени. Поэтому любая порция, самый минимальный объем такой популяции неизбежно содержит весь набор жизненно важных клеточных кластеров, восстанавливающих бактериальную популяцию даже при гибели основной ее массы. Именно поэтому бактериальные популяции с таким совершенством и пластичностью, какие отсутствуют у эукариотов, приспособляются к исходным, порой чрезвычайно неблагоприятным параметрам среды обитания. Именно у прокариотов «жизнь как агрессивная форма материи, стремящаяся превратить в саму себя окружающую среду» проявляется в наиболее ярком и обнаженном виде.

Поступила 20.09.2006 г.