**Общая характеристика некоторых групп домена Bacteria**

**1. Филум *Acidobacteria***

Класс: Acidobacteria

Порядок: Acidobacteriales

Семейство: Acidobacteriaceae

Роды: Acidicapsa

Acidobacterium

Acidopila

Blastocatella

Bryocella

Edaphobacter

Terriglobus

Granulicella

Telmatobacter

*Acidobacteria* – одна из наиболее распространенных групп бактерий в окружающей среде, особенно в почвах. Они были обнаружены по анализу генов 16S рРНК в средах, которые сильно различаются по физическим и биохимическим характеристикам, в том числе в почвах, донных отложениях, пресноводных, морских, экстремальных местообитаниях и загрязненных средах по всему миру.

Первый вид, *Acidobacterium capsulatum*, был обнаружен в 1991 г. Другие известные роды *Holophaga*, *Geothrix*, *Bryobacter, Terriglobus* и др. В качестве нового таксона были впервые признаны в 1997 году. Анализ 3000 последовательностей генов 16S рРНК ацидобактерий показал, что филум отличается большим разнообразием, в состав него входят 26 различных групп. Особенно часто последовательности 16S рРНК ацидобактерий обнаруживаются в грунтах и отложениях, содержащих от 10 до 50 % от суммарного бактериального гена 16S рРНК в библиотеке клонов.

Так как они только недавно были обнаружены, и подавляющее большинство не культивировались, экология и метаболизм этих бактерий не исследованы. Тем не менее, эти бактерии могут быть важной составляющей экосистемы, так как они особенно многочисленны в почве.

Изоляты из почвы не растут на стандартных питательных средах. Они растут очень медленно и требуется от нескольких дней до нескольких недель, чтобы сформировались видимые колонии на комплексной разбавленной питательной среде.

Ацидофильное организмы способны развиваться в сильно кислой среде, чему способствовала эволюция эффективных защитных механизмов. Например, большинство ацидобактерий способны выкачивать протоны из внутриклеточного пространства для поддержания нейтрального рН в цитоплазме. Это дает преимущество, поскольку не требуется вырабатывать устойчивость внутриклеточных белков к кислой среде. Однако, не все члены этой филума считаются ацидофильными.

Типовой вид *Acidobacteria capsulatum* все еще ​​является относительно новым видом с момента его официальной классификации в 1991 году. Это грамотрицательные, ацидофильные, гетеротрофные, факультативно анаэробные палочковидные бактерии. Подвижные, перитрих. Другой характерной чертой этого организма является наличие большого количества экзополисахаридного покрытия клетки. Функция экзополисахарида: защита, адгезия, адаптационная реакция или межклеточные взаимодействия. Это способствует конкурентоспособности *А. capsulatum*, например, бактерии, имеющие повышенную адгезию легче поглощают питательные вещества из окружающей среды.

*А. capsulatum* предпочитают существовать в условиях, когда рН почвы в пределах 3,0-6,0. Кроме того, они часто и иногда доминирует в богатых железом средах, таких как заброшенные шахты, дренажные воды. Это может быть связано с их способом дыхания, восстановлением железа, которые могут играть важную роль в цикле железа в этих средах. Разнообразные режимы дыхания и механизмы выживания *А. capsulatum* подчеркивают способность адаптироваться к различным природным средам и объясняют его обилие в почве, где условия могут быстро меняться и дефицит терминальных акцепторов электронов лимитирует рост клеток.

**2. Филум Fusobacteria**

Класс: Fusobacteria

Порядок: Fusobacteriales

Семейство: Leptotrichiaceae

Роды: Sebaldella

Sneathia

Streptobacillus

Leptotrichia

Семейство: Fusobacteriaceae

Роды: Cetobacterium

Fusobacterium

Ilyobacter

Propionigenium

Psychrilyobacter

Фузобактерии хорошо изучены как патогены человека и животных. Это веретенообразные, грам(-), не спорообразующие палочки, варьируют по размеру, подвижности и форме. Клетки получают энергию путем сбраживания углеводов и некоторых аминокислот. В процессе брожения образуется бутират и в некоторых случаях уксусная кислота в качестве основных продуктов метаболизма.

Род *Fusobacterium* обладает исключительной способностью к адгезии с грам(-) и грам(+) микроорганизмами налета в биопленке, что делает патогена высоко инвазивным, особенно в мягких тканях. Давно известно, что эти бактерии вызывают некроз и сепсис, но совсем недавно стала известна их роль во внутриутробных инфекциях, преждевременных родах и тропических язвах. Из-за его патогенной и паразитарной природы, *Fusobacterium* не влияет на окружающую среду напрямую, но он может изменить экосистему, воздействуя на население зараженных животных-хозяев.

Первые сообщения о фузобактериях появились в конце девятнадцатого века, разнообразие названий видов привело к некоторой путанице в родах *Fusobacterium* и *Leptotrichia*. Тем не менее, новые методы исследования привели к лучшему пониманию таксономии, с описанием нескольких новых видов: *F. ulcerans* из тропических язв, *F. periodonticum* из ротовой полости и др. Важные виды *F. necrophorum* и *F. nucleatum* образуют подвиды. Вполне вероятно, что систематика фузобактерий будет развиваться.

Род *Leptotrichia* – грамотрицательные неподвижные палочки 1–1,5 на 5–15 мкм. Анаэробные, аэротолерантные; мезофильные, оптимум 37 °C. Их можно обнаружить в полости рта, как часть зубной флоры, в кишечнике и в мочеполовом тракте. *L. buccalis* обнаружены только в полости рта, однако были выделены из крови пациентов с ослабленным иммунитетом. *L. buccalis*, возможно, был одним из первых видов, описанных Левенгуком. Рассматривается как условно-патогенный микроорганизм, который может быть причиной инфекции (сепсис и эндокардит) у пациентов с ослабленным иммунитетом.

Род *Streptobacillus –* палочковидные неподвижные бескапсульные аспорогенные грам- хемоорганотрофные аэробные или факультативно-анаэробные бактерии. Клетки нередко располагаются цепочками, спонтанно превращаются в L-форму. Вызывают болезнь укуса крысы. Возбудителем заболевания служит *Streptobacillus moniliformis*, грамотрицательная бактерия, содержащаяся в виде сапрофита в носоглотке у 50% здоровых крыс. Заражение может происходить при бытовых укусах в ногу, а также через укус или царапину руки, полученных во время лабораторных работ либо при игре с домашней крысой

**3. Филум *Gemmatimonadetes***

Класс: *Gemmatimonadetes*

Порядок: *Gemmatimonadales*

Семейство: *Gemmatimonadaceae*

Род: *Gemmatimonas*

Вид: *Gemmatimonas aurantiaca*

*Gemmatimonadetes* – недавно описанный отдел домена Бактерии, содержит одноимённый класс и порядок *Gemmatimonadales*, состоящий из нескольких видов. Первый описанный представитель отдела был выделен в 2003 году из сточных канализационных вод и описан под названием *Gemmatimonas aurantiaca* как грамотрицательная палочковидная бактерия, способная к размножению почкованием. Клетки подвижные с помощью жгутиков, очень медленно растущие бактерии, аккумулируют полифосфаты. Факультативные анаэробы. Оранжевого цвета при росте как на плотных, так и в жидких средах. Предполагают, что у этих бактерий будет много уникальных ферментов и метаболических путей; возможно открытие новых каротиноидов.

**4. Филум *Aquificae***

Класс: Aquificae

Порядок: Aquificales

Семейство: Aquificaceae

Типовой род: Aquifex

Филум включает экстремально термофильные бактерии, способные размножаться при температурах до 95 °C. Тип включает одноимённый класс, содержащий порядок *Aquificales*, в котором выделяют три семейства: *Aquificaceae* 2002, *Desulfurobacteriaceae* 2006, *Hydrogenothermaceae* 2003.

Название таксона образовано от названия рода *Aquifex*. Это бесспоровые, грамотрицательные палочки; 2,0-6,0×0,4-0,5 мкм. *Aquifex* можно перевести как «создатель воды» — в названии отражена способность представителей этого рода получать энергию путем окисления водорода кислородом воздуха с образованием воды.

2 H2 + O2 → 2Н2O

Первый представитель этого рода – *Aquifex pyrophilus* – был открыт в 1992 году. Хемолитоавтотрофы, аэробы и анаэробы, экстремальные термофилы. Способны к фиксации диоксида углерода путём восстановительного цикла трикарбоновых кислот. Представители встречаются в микробных популяциях горячих источников.

Гипертермофильные бактерии, такие как *Aquifex*, важны для промышленных процессов, их гены могут быть использованы в биотехнологии.

**5. Филум *Deinococcus-Thermus***

Класс: Deinococci

Порядок: Deinococcales

Семейство: Deinococcaceae

Род: Deinococcus

Семейство Thermaceae

Роды: Thermales, Thermus, Meiothermus, Marinithermus, Oceanithermus, Vulcanithermus

Deinococcus-Thermus включает один класс *Deinococci*. Все представители филума *Deinococcus-Thermus* имеют клеточную стенку, характерную для всех грамотрицательных бактерий (хотя и представители рода *Deinococcus* и окрашиваются положительно по методу Грама). Представители *Deinococcus-Thermus* являются аэробами и хемоорганогетеротрофами, используют несколько субстратов для роста, в том числе углеводы, аминокислоты, карбоновые кислоты и пептиды. Встречаются повсеместно. Представители порядка *Thermales* – в горячих источниках.

Класс включает два порядка. Порядок *Thermales* включает роды *Thermus, Marinithermus, Meiothermus, Oceaniothermus, Vulcanithermus.* В этот порядок входит *Thermus aquaticus*, известный своей Taq-полимеразой, использующейся в ПЦР, и другими термостабильными ферментами. Впервые *T. aquaticus* был обнаружен в геотермальных источниках Йеллоустонского национального парка. Максимальное образования ДНК нитей использованием Taq-пол достигается при оптимальной температуре 70 ° C, и она может синтезировать нити до температуры 97,5 °С.

Порядок *Deinococcales*, куда входит один из самых радиорезистентных организмов в мире *Deinococcus radiodurans*, 1-2 мкм в диаметре, имеет тенденцию к образованию тетрад. Вид был обнаружен в 1956 году в мясных консервах после γ-облучения, предназначенного для стерилизации мяса. Обладает способностью выдерживать ионизирующее излучение 10-60 кГр (по разным данным), не подвергаясь гибели клеток, что в 50 раз больше летальной дозы излучения для *E. coli*, и в 2000 раз дозировке, которая является смертельной для человека. Есть несколько адаптивных механизмов, которые позволяют выдерживать такие высокие уровни излучения. К ним относятся репарации ДНК, белки защиты, накопление Mn(II), экспорт повреждения ДНК, генетический резервирования и восстановления высыханием.

*D. radiodurans* имеет несколько копий генома: во время фазы экспоненциального роста 8-10 копий, в стационарной фазе – 4.

*D. radiodurans* можно найти в самых разнообразных местах обитания. Они широко распространены в почве и могут быть найдены на каждом континенте; встречаются на мясных продуктах, в кишечнике, сточных водах. Они также в могут выживать в бедных питательными средами и сухих местах (сухой корм, музыкальные инструменты и комнатная пыль).

Патогенность не доказана. Более того, *D. radiophilus* уменьшает образование атеросклерозных бляшек. Было описано (2005) антиоксидантное действие бактерий *D. radiophilus* против перекисного окисления липидов низкой плотности (плохой холестерин), что способствует снижению развития атеросклероза.

**6. Филум Thermotogae**

Класс: Thermotogae

Порядок: Thermotogales

Семейство: Thermotogaceae

Роды: Thermoroga, Geotoga, Petrotoga, Thermosipho и др. (9 родов)

*Thermotogae* – грамотрицательные, анаэробные, в основном термофильные и гипертермофильные бактерии. Диапазон температур, при которых этот вид жизнеспособен, находится между 47-88 °C с оптимумом 80 °C; значения рН между 5.2-9.0 с оптимальным ростом на уровне 8,0.

Свободно живущие и подвижные, с несколькими боковыми жгутиками. Название отражает существование многих из этих организмов при высоких температурах, вкупе с характерной похожей на футляр структурой, называемой “тога”, окружающей клетки этих видов. Недавно были обнаружены некоторые мезофильные виды. Несмотря на то, что виды *Thermotogae* отрицательно окрашиваются по Граму, они окружены одной липидной мембраной.

Типовой вид *Т. petrophila* – палочки размером 2-7 мкм в длину и 0,7-1 мкм в ширину. Клеточная стенка характерна и для других грамотрицательных бактерий с тонким слоем пептидогликана с минимальными сшивками. В отличие от других грамотрицательных бактерий *Thermotoga* имеет слой пептидогликана, который действительно содержит D-лизин и L-лизина.

*Т. petrophila* могут образовывать баллон выступами на концах в форме стержня клеток, и это создает периплазматическое пространство. Объем этого пространства, может превышать объем цитоплазмы.

*Т. petrophila* гетеротрофные являются облигатными анаэробами и может расти в присутствии различных подложках. Рост был обнаружен на среде, включающей глюкозу, галактозу, фруктозу, рибозу, сахарозу, арабинозу, лактозу, крахмал, мальтозу, пептон, дрожжевой экстракт и целлюлозу. Этот вид может использовать органические молекулы в качестве единственного источника энергии, а также усваивать углерод путем бродильного метаболизма.

Некоторые виды рассматриваются в качестве привлекательных кандидатов для использования в промышленных процессах. Способность *Thermotogae* в процессе метаболизма использовать различные сложные углеводороды, выделяя при этом газообразный водород приводит к тому, что эти виды упоминаются в качестве возможного биотехнологического источника энергии, альтернативного ископаемому топливу. Термостабильная ферментативную активность была предметом исследования, как это имеет практическое применение в производстве биотоплива, фармацевтических препаратов и сырья, химических веществ.

Термотоги обычно растут в вулканических или высокотемпературных средах обитания низкой солености, таких как прибрежные или глубоководных морские и континентальные системы нефтяных месторождений. Вид *Т. maritima* был впервые выделен в городе Вулкан, Италия из морского подогретого осадка. *Т. neapolitana* был найден в тепловой вентиляциии подводной лодки у берегов Неаполя, Италия. Новейшие виды *Thermotoga* – в горячей воде около 68 °С, рН 6,8 в Германии. Виды *Petrotoga* встречаются только в нефтяных пластах.

*Т. petrophila* не является патогенным, и как вид был найден только в нефтяных пластах. Есть данные, показывающие, что они проявляют некоторую чувствительность при контакте с антибиотиками рифампицин, стрептомицин, левомицетин или ванкомицин. В самом деле, рост *Т. petrophila* полностью подавляется при воздействии этих соединений.

**7. Филум Chrysiogenetes** 2002

Класс: Chrysiogenetes

Порядок: Chrysiogenetales

Семейство: Chrysiogenetaceae

Род: Chrysiogenes

Мышьяк является высокотоксичным химическим элементом, который можно найти в природе в сочетании с серой и металлами, и приобрел за историю печально, но заслуженную репутацию сильного яда. Его смертельное действие основано прежде всего на способности заменить фосфор в молекулах. В 1996 году ученые в австралийском университете открыли микроорганизмы, которые могут использовать соединения мышьяка в качестве источника энергии. *Chrysiogenes arsenatis* — облигатно анаэробный хемолитоавтотрофный микроорганизм рода *Chrysiogenes*, единственный вид бактерий, способный использовать арсенат как конечный акцептор электронов в ходе т. н. «арсенатного дыхания».

В качестве донора электронов использует ацетат, пируват, D- и L-лактат, фумарат, сукцинат и малат. Представляет собой грамотрицательные палочковидные, искривлённые подвижные (монотрих) бактерии (1-2×0,5-0,75 мкм). Впервые были выделены из загрязнённых соединениями мышьяка областей золотоносных шахт в Австралии. Колонии маленькие, круглые с ровными краями, выпуклые и белые. Оптимальный рост при 25-30 °С.

**8. Филум Deferribacteres**

Класс: Deferribacteres

Порядок: Deferribacterales

Семейство: Deferribacteraceae

Род: Denitrovibrio, Deferribacteres, Calditerrivibrio, Flexistipes, Geovibrio

Род *Deferribacter* – изогнутые палочки (0,3-0,5×1-5 мкм), не спорообразующие, подвижные, жгутики полярные, грамотрицательные. Колонии 1-2 мм в диаметре, оранжево-красные, плоские, круглые. Акцепторы электронов: Mn (IV), Fe (III) нитрат. Используют пептоны, органические кислоты и H2. Оптимальный рост при 60 °С (50-65 °С), рН 6,5 (5-8) и NaCl 20 г/л (0-50 г/л). Один из видов, *Deferribacter thermophilus*, изолирован из нефтяного пласта в Северном море.

Род *Calditerrivibrio* – вибрионы, (0,4-0,5×1,4-2 мкм), подвижные неспорулирующие, жгутики полярные, грамотрицательные. Анаэробы, каталазоотрицательные, хемоорганогетеротрофы. Восстанавливают нитраты до аммония. Используют пептоны, органические кислоты, как доноры электронов. Оптимальный рост при 55 °С (30-65 °С), рН 7-7,5 (5,5-8). Один из видов, Calditerrivibrio nitroreducens, изолирован из горячих источников в Японии.

Род *Denitrovibrio* – вибрионы (0,5-0,7×1,7-2 мкм), выделенные в парах или цепочках, подвижные за счет биполярных жгутиков. Анаэробы, гетеротрофные, восстанавливают нитрат до аммиака. Оптимальный рост при 35-37 °C (4-40 °С), рН от 6,5 до 8,6 и 2-4 % NaCl (0-6 %). Требовательны к витаминам. *Denitrovibrio acetiphilus* был выделен в лаборатории из колонки, моделирующей условия бурения морских нефтяных скважин. Присутствие этого организма будет полезным для остановки процесса нежелательного образования сероводорода. Добавление нитрата к системе стимулирует смену популяций сульфатредуцирующих бактерий на нитратредукторов, тем самым уменьшая производство сероводорода. Способность этого организма к снижению количества нитратов имеет экономическое значение, устраняя необходимость применения дорогостоящих биоцидов, и в настоящее время используется для оптимизации добычи нефти в морских скважинах. В настоящее время морская вода впрыскивается в резервуар во время добычи нефти для поддержания желаемого давления и повышения эффективности. В большинстве случаев морская вода содержит высокие концентрации сульфата, что, в свою очередь, приводит к увеличению популяции сульфатредуцирующих бактерий в этих местах добычи.

В результате анаэробного дыхания этих сульфатредуцирующие бактерии вырабатывают сероводород, который потенциально может окислять запасы нефти и привести к ухудшению качества газа, коррозии и т. д. Сероводород может также вредить операторами платформ на нефтяных вышках. Во многих случаях H2S подавляет обоняние, что делает практически невозможным его обнаружение при отсутствии мониторинга воздуха. Эксперименты показали, что добавление нитрата может привести к уменьшению образования сероводорода.

**9. Филум Spirochaetes**

Класс: Spirochaetes

Порядок: Spirochaetales

Семейство: Brachyspiraceae

Роды: Brachyspira, Serpulina

Семейство: Brevinemataceae

Род: Brevinema

Семейство: Leptospiraceae

Роды: Leptonema, Leptospira, Turneriella

Семейство: Spirochaetaceae

Роды: Borrelia, Cristispira, Diplocalyx, Pillotina, Spirochaeta, Treponema

Спирохеты – бактерии с длинными (3-500 мкм) и тонкими (0,1-1,5 мкм) спирально закрученными (один и более виток спирали) клетками. Грамотрицательны, хемоорганогетеротрофы, существенно различающиеся по степени требовательности к субстрату. Подвижны, размножаются поперечным делением. Эндоспор не образуют. Встречаются как аэробные виды, так и анаэробные и факультативно-анаэробные.

Клетки состоят из протоплазматического цилиндра с одной или несколькими так называемыми осевыми фибриллами, отходящими от расположенных на концах клетки прикрепительных цилиндров. Протоплазматический цилиндр с осевыми фибриллами покрыт внешней оболочкой.

Спирохеты встречаются в почве, воде, других организмах. Свободноживущие спирохеты могут быть обнаружены во многих водоемах (в лужах, прудах и в море). Другие относятся к нормальной автохтонной микрофлоре животных. Они встречаются в кишечнике млекопитающих, термитов, переваривающих древесину, и тараканов, в кристаллическом стебельке моллюсков, в рубце жвачных и в других местообитаниях. Лишь немногие из них патогенны (вызывают сифилис, возвратный тиф, лептоспирозы).

*Spirochaeta* – обычный обитатель ила пресных и соленых водоемов.

К роду *Leptospira* относятся самые мелкие аэробные спирохеты. Из патогенных лептоспир известны возбудители «болезни Вейля», возбудители инфекционной желтухи и др. Лептоспиры попадают в организм с водой или пищей, проникают в кровь, почки и печень и нарушают функцию этих органов, что приводит к кровоизлияниям и желтухе.

К роду *Borrelia* относят анаэробных спирохет. Это паразиты различных членистоногих, а также возбудители болезней человека и других позвоночных («спирохеты крови»).

*В. recurrentis* - возбудитель возвратного тифа.

*Treponema pallidum* (возбудитель сифилиса) и *Т. pertenue* (возбудитель тропической болезни фрамбезии). Некоторые трепонемы – относительно безобидные паразиты ротовой полости, легко выделяются из слюны и налета на зубах.

**10. Филум Fibrobacteres**

Класс: Fibrobacteres

Порядок: Fibrobacterales

Семейство: Fibrobacteraceae

Род: Fibrobacter (1988)

F. intestinalis

F. succinogenes

*Fibrobacteres* включает грамотрицательные, облигатно анаэробные крупные бактерии рубца жвачных животных, осуществляющие деградацию растительной целлюлозы. Род *Fibrobacter* был исключен из рода *Bacteroides* в 1988 году. Филум *Fibrobacteres* считается тесно связанным с CFB [*Cytophaga-Flavibacterium-Bacteroides*]. Единственный род в *Fibrobacter* содержит штаммы из кишечника многих млекопитающих, включая крупный рогатый скот и свиней. Два описанных вида этого рода, а именно *Fibrobacter* *succinogenes* и *Fibrobacter* *intestinalis,* являются важными членами сообщества микроорганизмов кишечника млекопитающих, способными разлагать растительные волокна.

Молекулярные доказательства, основанные на амплификации генов 16rRNA в различной среде предполагают, что филум гораздо более распространен, чем считалось ранее.

*Fibrobacter succinogenes* интенсивно деградирует клеточные стенки растений, разрушая целлюлозу и гемицеллюлозу. Ферменты, участвующие в этом процессе, включают сочетание глюканазы, ксиланазы, арабинофуранозидазу(ы) и эстеразы. Бета-глюканы (крахмал, глюкоза) являются преимущественным субстратом в рубце, метаболиты включают формиат, ацетат и сукцинат. Целлюлозные материалы составляют большую часть органического мусора. Способность переваривать бумагу – офисную бумагу, фильтровальную бумагу, газеты, журналы – делает их интересными для переработки отходов такого рода.

**11. Филум Verrucomicrobia**

Класс Verrucomicrobiae

Порядок Verrucomicrobiales

Семейство Akkermansiaceae

Род Akkermansia

Семейство Rubritaleaceae

Род Rubritalea

Семейство Verrucomicrobiaceae

Роды Luteolibacter, Persicirhabdus, Prosthecobacter, Roseibacillus, Verrucomicrobium

Класс Opitutae

Порядок Opitutales

Семейство Opitutaceae

Роды Alterococcus, Opitutus

Порядок Puniceicoccales

Семейство Puniceicoccaceae

Роды Cerasicoccus, Coraliomargarita, Pelagicoccus, Puniceicoccus

Представители выделялись из почвы, пресной воды и человеческих экскрементов. Некоторые представители способны окислять метан при экстремально низких значениях рН. Для представителей характерно наличие особых выростов клеток (у *Prosthecobacter* – особые выросты – простеки, у *Verrucomicrobium* – выросты в виде бородавок – отсюда и название таксона от лат. *verruca* "бородавка"). Следует отметить, что эти выступы часто в одной плоскости, в результате чего клетки похожи на зубчатые блины. Они изменяют гидродинамические свойства и отношение поверхности к объему.

Некоторые – автотрофы, которые растут при высокой температуре в кислой среде окисляя метан. Примечательно, что, когда они перестают расти, они заполняются гликогеном в размере 36% от их сухого веса.

В группе нет известных патогенов, но есть вероятность.

Род *Akkermansia* назван в честь Антона Аккерманса, голландского микробиолога, за его вклад в изучение микробной экологии. Исследователи обнаружили, что *Akkermansia muciniphila* могут быть использованы для борьбы с ожирением и диабетом 2 типа. Исследование было проведено на откормленных мышах. Мыши с ожирением подают бактерий и количество жира уменьшается вдвое без каких-либо изменений в диете. Бактерии естественным образом присутствуют в пищеварительном тракте человека на 3-5%, но очевидно, их количество снижается при ожирении. Считается, что употребление в пищу бактерий увеличивает толщину стенки кишечника, за счет муцина, который блокирует поглощение пищи организмом. Муцины, мукопротеины – высокомолекулярные гликопротеины, содержащие кислые полисахариды. Имеют гелеобразную консистенцию (слизистую).

*Verrucomicrobia* сейчас занимают видное место в исследованиях бактериального тубулина. Дж. Rosati и коллеги из университета Пизы обнаружили, что морские реснитчатые инфузории (*Euplotidium*) несут на наружной части спины группу бактерий. Каждая бактерия выстреливает длинную нить до 40-мкм. На рисунке можно увидеть, что нити из бактерий закрывают часть инфузории. Интересно, что в лабораторных условиях *Euplotidia*, которые несут эти симбионты (называются epixenosomes) сопротивляются поеданию другими инфузориями. Способ защиты пока не известен.

Бактерии на инфузории дифференцируют в необычные клетки, которые содержат свернутые в кольцо упругие белки (напоминает рулон бумаги), в окружении корзино-подобной структуры, состоящая из белка тубулина. Во время экструзии, бактерии открывают и разворачивают трубку, неся на его конце плотно упакованные молекулы ДНК. Это уникальная структурная модификация, которая описана для бактерий (следует отметить, что *Caedibacter*, эндосимбионты другого виды инфузории, *Paramecium*, а также некоторые свободно живущие бактерии, также формируют рулоны белка, называемые R-органы)

Экструзия содержимого тела – это не новость в биологии. Различные одно-и многоклеточные организмы используют такие механизмы. Наиболее известны нематоцисты медуз, случайно поражающие пловцов в океане. Другой поразительный пример – оомицет *Haptoglossa mirabilis*, который стреляет целыми клетками по коловраткам. В этих случаях экструзионные органы производятся самим организмом. Вместо этого, *Euplotidium* использует бактерий на ее поверхности, чтобы обеспечить устройство для экструдирования.

Однако, остаются вопросы. Как бактерии защищают хозяина от хищников? Как происходит экструзия нити? Какова роль тубулина в экструзии? Почему ДНК на конце нити? И т.д.

**12. Филум Planctomycetes**

Класс: Planctomycetia

Порядок: Planctomycetales

Семейство: Planctomycetaceae

Роды: Gemmata, Isosphera, Pirellula, Planctomyces, candidates: Brocadia, Kuenenia, Scalindua, Anammoxoglobus

Бактерии, представители данного типа, обитают в пресных и солёных водах, являются важными членами почвенных микробных сообществ, детектируются в торфяных сфагновых болотах, обитают также в анаэробных источниках, богатых соединениями серы. Имеют уникальное для бактерий строение цитоплазмы и клеточной стенки, размножаются почкованием и имеют стебелёк, предназначенный для заякоривания на субстрате. Изучение представителей отдела представляет интерес для изучения эволюции и экологии микроорганизмов.

Уникальной особенностью *Planctomycetes* является отсутствие пептидогликана в клеточной стенке, вместо которого присутствует гликопротеин, содержащий много остатков глутаминовой кислоты. В мембране обнаружены гопаноиды – вещества, подобные стероидам, укрепляющие плазматическую мембрану и прежде обнаруженные лишь у аэробных микроорганизмов. Второй уникальной особенностью отдела является наличие компартментов в цитоплазме, ограниченных мембраной и ограничение нуклеоида двойной мембраной – особенность, характерная для эукариот и нехарактерная для прокариот. Компартмент, содержащий рибосомы и белки, называется пиреоплазма или рибоплазма, безрибосомный компартмент называется парифоплазма.

Сравненительный анализ нуклеотидных последовательностей 16S рРНК показывает, что отдел имеет высокий уровень гомологии с тремя другими филумами – *Verrucomicrobia, Chlamydiae* и *Lentisphaerae*, образуя надотдел. Изучение геномов представителей *Planctomycetes* позволяет пролить свет на происхождение метаногенеза и метилотрофии. Уникальной особенностью геномов является отсутствие оперонной структуры генов некоторых важных метаболических путей, что также не характерно для прокариот. Сравнение нуклеотидных последовательностей некоторых генов показывает больший уровень гомологии с таковыми эукариот – например ген *Gemmata obscuriglobus* проявляет большой уровень гомологии с геном, кодирующим белок интегрин-альфа-V, играющим большую роль в трансмембранной сигнальной трансдукции у эукариот.

Имеется чередование между неподвижными сидячими формами и формами, подвижными за счет наличия жгутиков. Сидячие клетки при почковании образуют подвижные клетки с жгутиками, которые затем прикрепляются к субстрату и сами становятся сидячими, продуцируя при помощи почкования новые подвижные клетки.

Род *Planctomyces* – морские бактерии, которые могут быть найдены в различных местах обитания по всему миру. Клетки обычно имеют сферическую форму и равномерно распределенные по всей поверхности клетки кратерообразные структуры. Их клеточные стенки лишены пептидогликана. Как и остальные планктомицеты, размножаются почкованием. Многие планктомицеты получают энергию за счет «анаммокс»-метаболизма, при котором аммиак окисляется нитратом до газообразного азота.Виды: *Planctomyces brasiliensis, P. limnophilus, P. maris*

*Planctomyces brasiliensis* первоначально был выделен из гиперсоленых озеро в Бразилии, но эти, а также другие виды *Planctomyces*, можно найти в самых разных географических регионах и местах обитания: в пресной и соленой воде, на болотах, в навозе крупного рогатого скота, на мусорных свалках и рисовых полях. В некоторых исследованиях выделяли *Planctomyces*, *Pirellula*, *Gemmata* или родственных организмов из образцов гигантских тигровых креветок (*Penaeus monodon*). Планктомицеты могут существовать свободно или с беспозвоночными в морской среде обитания.

Вид *Gemmata obscuriglobus* – пресноводные сферические почкующиеся эубактерии, которые содержат ДНК область, отделенную от остальной клетки двойной ядерной мембраной. Аэробы, хемоорганотрофы,

Нуклеоид окружен электронно-плотными гранулами, цитоплазма вне ядерного тела отличается меньшей электронной плотностью. Нуклеоид и гранул отделены двойной мембраной с пространством между ними для переноса электронов. Внешняя из двух мембран похожа на другие внутриклеточные мембраны и может быть присоединена к клеточной мембране. Обе мембраны имеют плотные частицы, которые выглядят как рибосомы – то, каким образом они расположены напоминает рибосомы на шероховатой эндоплазматической сети в эукариотических клетках. Мембраны, окружающие нуклеоид, не содержит ядерные поры или другие подобные признаки эукариотических ядер, т.е. это не то же самое.

*Gemmata obscuriglobus* были впервые выделены в пресной воде плотины в Квинсленде, Австралия. Обнаруживаются также в сточных водах очистных сооружений (более 3%). Бактерии были выделены из кислых болотных вод и почвы. *Gemmata*, как и другие планктомицеты, осуществляют полярное, дрожжеподобное деление клеток. Во время деления, клетки прикрепляют вегетативный полюс к поверхности, образуя стебелек или выделяя вещество. На другом полюсе клеточная стенка выпячивается и образуется подвижная дочерняя клетка.

Род *Pirellula* – морские, аэробные, гетеротрофные бактерии. Есть жгутик. Как и все другие планктомицеты, размножается почкованием, образуют подвижные дочерние клетки. Другим характерным свойством *Pirellula* и других планктомицетов являются их сложная внутренняя структура – интрацитоплазматическая мембрана вокруг ядерного региона и компартментализация клеток, а также рибосомы, расположенные только в пределах интрацитоплазматической мембраны. Однако, в отличие от бактерий рода *Gemmata*, *Pirellula marina* и *Pirellula staleyi* имеют только одну обволакивающую мембрану в то время как *Gemmata obscuriglobus* имеет двойную мембрану.

**13. Филум Synergistetes**

Класс: Synergistia 2009

Порядок: Synergistales

Семейство: Synergistaceae

Роды: Acetomicrobium, Aminiphilus, Aminobacterium, Aminomonas, Anaerobaculum, Candidatus Tammella, Cloacibacillus, Dethiosulfovibrio, Fretibacterium, Jonquetella, Pyramidobacter, Synergistes, Thermanaerovibrio, Thermovirga

*Synergistetes* – недавно признанный филум грамотрицательных анаэробных бактерий, филогенетически связанных с *Synergistes jonesii*. Морфология – палочки или вибрионы. Они широко распространены в природе, но обычно составляют лишь незначительную часть бактериального сообщества. Демонстрируют широкий спектр физиологических и биохимических характеристик, однако, все изученные таксоны обладают способностью к ферментации ограниченного круга аминокислот, но не углеводов. Гены различных белков, участвующих в биосинтезе липополисахаридов, еще не были обнаружены в *Synergistetes*, это указывает на то, что они могут иметь атипичные внешние оболочки клетки.

*Synergistetes* населяют большинство анаэробных сред, включая желудочно-кишечный тракт животных, почвы, нефтяные скважины и очистные сооружения. Они также присутствуют в местах заболеваний человека, таких как кисты, абсцессы, области заболеваний пародонта, желудочно-кишечные инфекции и инфекции мягких тканей. *Synergistetes* могут считаться условно-патогенными микроорганизмами, но они также могут быть найдены у здоровых лиц в микробиоме из пупка и в нормальной флоре влагалища. Другие виды из этого филума вносят существенный вклад в деградацию шлама при производства биогаза в анаэробных реакторах и являются перспективными кандидатами для использования в производстве возобновляемой энергии – газообразного водорода.

*Aminobacterium colombiense* – типовой вид рода *Aminobacterium*.

**14. Филум Dictyoglomi**

Класс: Dictyoglomia

Порядок: Dictyoglomales

Семейство: Dictyoglomaceae

Род: Dictyoglomus

Экстремально термофильные алкалифильные облигатно анаэробные бактерии. Длинные палочки (5-30×0,3-0,6 мкм), неподвижные, одиночные, в парах, цепочках или группах, грамотрицательные, не спорообразующие. Формируют сферические тела (глобулы) из десятков клеток, объединенных общей оболочкой, до 100 мкм в диаметре. Колонии, 2-4 мм в диаметре, непигментированные. Субстраты: углеводы (моно-, дисахариды, крахмал), дрожжевой экстракт, пептон, гидролизат казеина, казаминокислоты, гликоген, микрокристаллическая целлюлоза, лигнин, гуминовые кислоты. Метаболиты: ацетат, лактат, этанол, CO2 и H2. Каталаза отрицательная. Оптимум роста на 72-78 °С (48-86 °С), рН 7 (5,2 до 9). ДНК: 29-32 моль% G+C. Два вида *Dictyoglomus thermophilum*, *Dictyoglomus turgidus* изолированы из горячих источников

Продуцирует термостабильные амилазы и ксиланазы. Представляет интерес для биотехнологии ввиду продукции термостабильных амилаз, обладающих трансглюкозилирующей активностью, и термостабильных ксиланаз, необходимых для обработки целлюлозы при производстве бумаги.

**15. Филум Bacteroides/Cytophaga**

Классы: Bacteroidetes, Flavobacteria, Sphingobacteria, Cytophagia

Филум Bacteroidetes состоит из четырех классов грамотрицательных, неспороносных, анаэробных и палочковидных бактерий, которые широко распространены в окружающей среде в том числе в почве, отложениях и морской воде, сточных водах очистных сооружений, а также в кишечнике и на коже животных и человека.

Класс: Bacteroidetes

Порядок: Bacteroidales

Семейство: Bacteroidaceae

Роды: Bacteroides, Acetofilamentum, Acetomicrobium, Acetothermus, Anaerorhabdus, Capsularis

Семейство: Porphyromonadaceae

Роды: Porphyromonas, Barnesiella, Butyricimonas, Dysgonomonas, Odoribacter, Oribaculum, Paludibacter, Parabacteroides, Petrimonas, Porphyromonas, Proteiniphilum, Tannerella

Наиболее хорошо изучены, представители рода *Bacteroides* (обильные организмы в фекалиях теплокровных животных, включая человека), а также *Porphyromonas*, группа организмов, населяющих полость рта. *Bacteroides* – грамотрицательные неподвижные палочки семейства *Bacteroidaceae*. Хемоорганогетеротрофы, облигатные анаэробы

Являются представителями нормальной микрофлоры кишечника, составляют примерно 1010-1011 клеток на грамм сухих каловых масс. Они участвуют во многих важных метаболических процессах в толстой кишке человека, включая ферментацию углеводов, использование азотистых веществ, и биотрансформацию желчных кислот и других стероидов. Большинство кишечных бактерий сахаролитические – они получают углерод и энергию путем гидролиза углеводных молекул. Основными продуктами брожения являются уксусная кислота, изовалериановая кислота, янтарная кислота. Имеют полисахаридную капсулу.

Подсчитано, что только около 2% простых сахаров минуют верхнюю часть желудочно-кишечного тракта. Таким образом, простые сахара, вероятно, не являются основным источником энергии для *Bacteroides*. Гораздо более распространенными в толстой кишке являются полисахариды из растительного волокна, такие как целлюлоза, ксилан, арабиногалактан и пектин и растительный крахмал, такие как амилозы и амилопектин. Большая часть *Bacteroides* образуют ферменты, которые гидролизуют эти полисахариды.

Геномы изученных видов представлены кольцевыми двуцепочечными молекулами ДНК, процент % Г+Ц пар составляет 40-48 %, обнаружен транспозон, переносимый при конъюгации, также обнаружена возможность переноса генетической информации между *Escherichia coli* и *Bacteroides* *fragilis* и так называемые «челночные» плазмиды для осуществления такого переноса.

Представители рода *Bacteroides* являются оппортунистическими патогенами. Некоторые виды способны вызывать так называемые анаэробные инфекции у человека. Представители родов *Bacteroides*, *Prevotella*, и *Porphyromonas* объединены в единый патокомплекс, представители этих родов способны вызывать хронический синусит, хроническое воспаление среднего уха, инфекции ротовой полости, различные абсцессы и некротическую пневмонию, токсигенные *Bacteroides fragilis* ассоциированы с воспалительной диареей. *Bacteroides fragilis* вырабатывает энтеротоксин, стимулирующий дегенерацию эпителиоцитов кишечника человека. Побочные продукты метаболизма (сукцинат капсул) представителей рода *Bacteroides* ингибируют функцию лейкоцитов человека. Также известны данные об антибиотикорезистентности *Bacteroides fragilis*.

Класс: Flavobacteria

Порядок: Flavobacteriales

Семейство: Flavobacteriaceae

Роды (102 рода): Flavobacterium и др.

Семейство: Blattabacteriaceae

Род: Blattabacterium

*Flavobacterium* – грамотрицательные, неподвижные и подвижные, палочковидные бактерии, часто пигментированные от желтого до оранжевого цвета. Пигменты – каротиноиды и флексирубин, отличный от каротиноидов. Аэробные, микроаэрофильные, редко анаэробные. Мезофильные и психрофильные. Хемоорганотрофные. Обнаруживаются в почве, морской и пресной воде, также найдены в сырых продуктах, молоке, в больничных учреждениях, некоторые формы являются патогенными для человека. Типовой вид *Flavobacterium aquatile*, напоминает вид Cytophaga, с которым образует комплекс. *Flavobacterium meningosepticum* возбудитель менингита у новорожденных. Он имеет несколько серотипов, а также может привести к пневмонии у детей и взрослых.

Несколько видов вызывают заболевания у пресноводных рыб. *Flavobacterium psychrophilum* вызывает бактериальную болезнь холодной воды (BCWD) у лососевых и радужной форели. *Flavobacterium columnare* – болезни пресноводных рыб. Вид *Flavobacterium columnare* был известен ранее как *Flexibacter columnaris, Bacillus columnaris и Cytophaga columnaris*.

*Flavobacterium columnare* проникает через отверстия, открытые раны, затем размножаются и растут на поверхности жабр образуя литические ферменты, что приводит к гибели клеток нитей жабры и в конце концов гибель рыбы. Зараженные рыбы часто имеют желтовато-коричневые повреждения на жабрах. Рост патогена усиливается, когда рыбы находятся в стрессовых условиях, таких как недостаток кислорода, избыток аммиака, высокая температура воды, скученность, и травмы.

*Blattabacterium* основной эндосимбионт таракана *Blattella* Германика. Это грамотрицательные бактерии, которые живут в специализированных жировых клетках в брюшной полости тела хозяина. Филогенетический анализ симбиоза *Blattabacterium*-таракан подтверждает гипотезу коэволюции между симбионтами и хозяевами, более чем 140 миллионов лет назад. Тараканы всеядные насекомые, пища которых часто бедна азотом. *Blattabacterium* могут перерабатывать азот из мочевины и аммиака, которые являются продуктами разложения, в глутамат, и таким образом обеспечивают своих хозяев некоторыми незаменимыми аминокислотами, витаминами и кофакторами. Бактерии выделяют Pro, Gln и Asn. Они кодирует полный механизм для синтеза нуклеотидов, жирных кислот и кофакторов, фолиевой кислоты, липоевой кислоты, ФАД, НАД, пиридоксина, рибофлавина.

Класс: Sphingobacteria

Порядок: Sphingobacteriales

Семейство: Sphingobacteriaceae

Роды (8): Sphingobacterium, Pedobacter и др.

Семейство: Chitinophagaceae

Роды (16): Chitinophaga и др.

*Sphingobacterium* палочки 0,3×1,3-1,6 мкм, одиночные или парные, некоторые подвижные (скользящее движение). Желтоватые колонии. Аэробные, хемоорганотрофные. Каталаза присутствует. Наличие сфингофосфолипидов с разветвленной цепью. ДНК: 39-42 моль% G+C. Род имеет пять изолированных из клинических образцов человека, патогенности не было установлено, типовой вид *Sphingobacterium spiritivorum* окисляет спирты.

*Pedobacter* грамотрицательные, короткие палочковидные скользящие бактерии, выделяются из почвы.

Класс: Cytophagia

Порядок: Cytophagales

Семейство: Cytophagaceae

Роды: Cytophaga, Flexibacter, Sporocytophaga и др.

*Cytophaga* обладают способностью разрушать целлюлозу: скользят по субстрату, разлагают и потребляют его. Так как целлюлоза является слишком большой молекулой для транспортировки в клетки, бактерии выделяют внеклеточные ферменты, которые в окружающей среде образуют комплексы cellulosome, трансформирующие целлюлозу в продукты, которые могут быть импортированы в клетку. *Cellulosome* связаны с клеточной стенкой и содержит ферменты, такие как экзо- и эндо-глюканазы, ксиланазы и гемицеллюлазы. Бактерии играют важную роль в углеродном цикле, осуществляя минерализацию растительных остатков.

*Flexibacter* грамотрицательные хемоорганотрофные палочковидные бактерии, длина от 5 до 100 мкм. *Flexibacter* также известны тем, что очень гибкие, подвижные посредством скольжения. Колонии желтого цвета. Выделяются из морской среды, почвы. Почвенные виды, такие как Flexibacter canadensis восстанавливает NO3 и NO2 в газообразную форму азота. Денитрифицирует в присутствии кислорода. Процесс денитрификации связан с мембраной.