

Презентация к курсовой по  
промышленной биотехнологии

Тема: использование микроорганизмов  
домена архей в промышленной  
биотехнологии

Выполнил: Володарский Евгений  
Валерьевич

# Введение

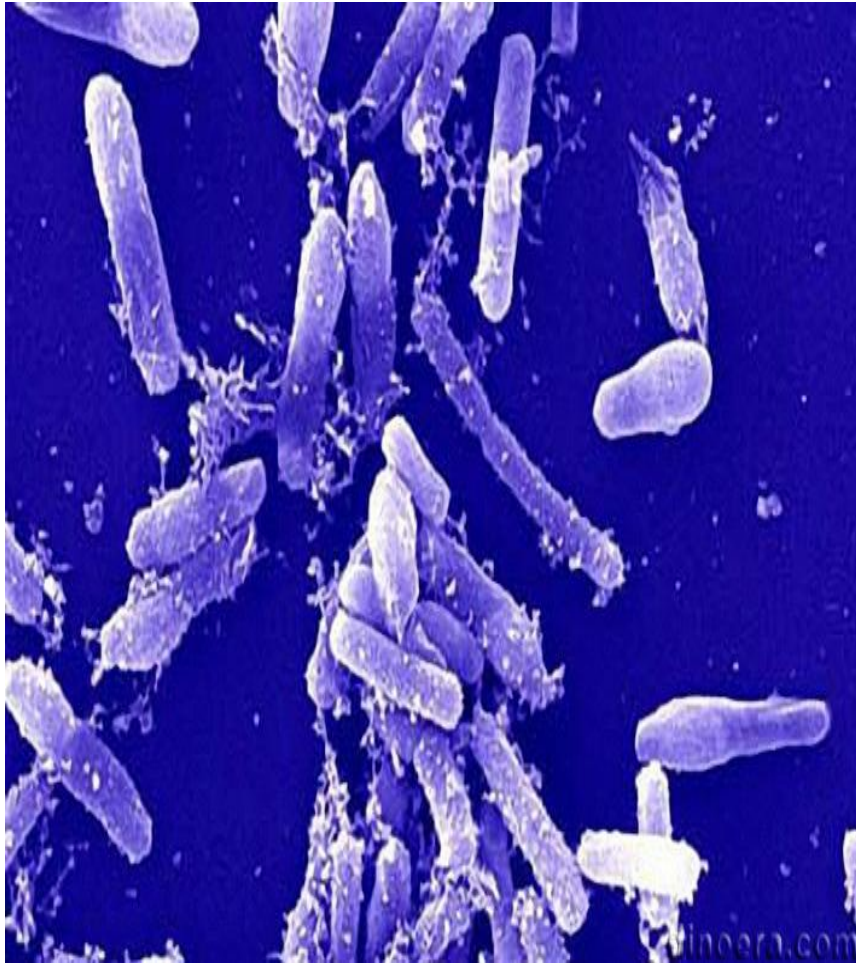
Одним из основных достижений биологии конца XX века явилось выявление трех эволюционных ветвей жизни, сформировавшихся на заре ее возникновения, - это домены бактерий, архей и эукарий. Археи, как полагают, являются одними из самых древних организмов на Земле, и до последнего времени вопрос о точном времени их происхождения оставался открытым. На сегодняшний день самая старая находка датируется возрастом 2,71 - 2,65 миллиарда лет. Археи, несомненно, сыгравшие существенную роль в эволюции биосферы, и в наше время занимают в ней своеобразное место, обеспечивая прохождение определенных процессов круговорота веществ, являющегося необходимым условием ее существования.

Археи чрезвычайно распространены в мире, но известно о них меньше, чем о бактериях. Характерные черты, заметные лишь учёным, делают археев абсолютно неповторимыми, чётко отличая их от всех прочих - бактерий, грибов, растений и животных. Вероятно, многие из этих микроорганизмов состоят из химических структур, неизвестных науке. Археи имеют важное промышленное значение, так как только они могут образовывать метан.

# Общая характеристика

- **Археи** (лат. *Archaea* от др.греч. - ἀρχαῖος «извечный, древний, первозданный, старый») — домен живых организмов (по трехдоменной системе Карла Вёзе наряду с бактериями и эукариотами). Археи представляют собой одноклеточные микроорганизмы, не имеющие ядра, а также каких-либо мембранных органелл.
- В настоящее время археи подразделяют на более чем 5 типов. Из этих групп наиболее изученными являются кренархеоты (лат. *Crenarchaeota*) и эвриархеоты (лат. *Euryarchaeota*). Классифицировать археи по-прежнему сложно, так как подавляющее большинство из них никогда не выращивались в лабораторных условиях и были идентифицированы только по анализу нуклеиновых кислот из проб, полученных из мест их обитания
- Имеют сходство и с бактериями и с эукариотами. Большая часть архей хемоавтотрофы

# Морфология архей



Средний диаметр клеток архей 1 мкм, типичный для большинства известных прокариот. Клетки *Nanoarchaeum equitans* – самые маленькие среди архей, диаметром до 0,4 мкм. Помимо обычных для прокариот форм клеток в виде кокков (в том числе, с выступами или с дольками) или палочек (прямых или спиралевидных), среди архей также найдены клетки в виде почтовых марок и треугольников. Жгутики архей могут располагаться на 1–2 полюсах клеток или по всей поверхности.

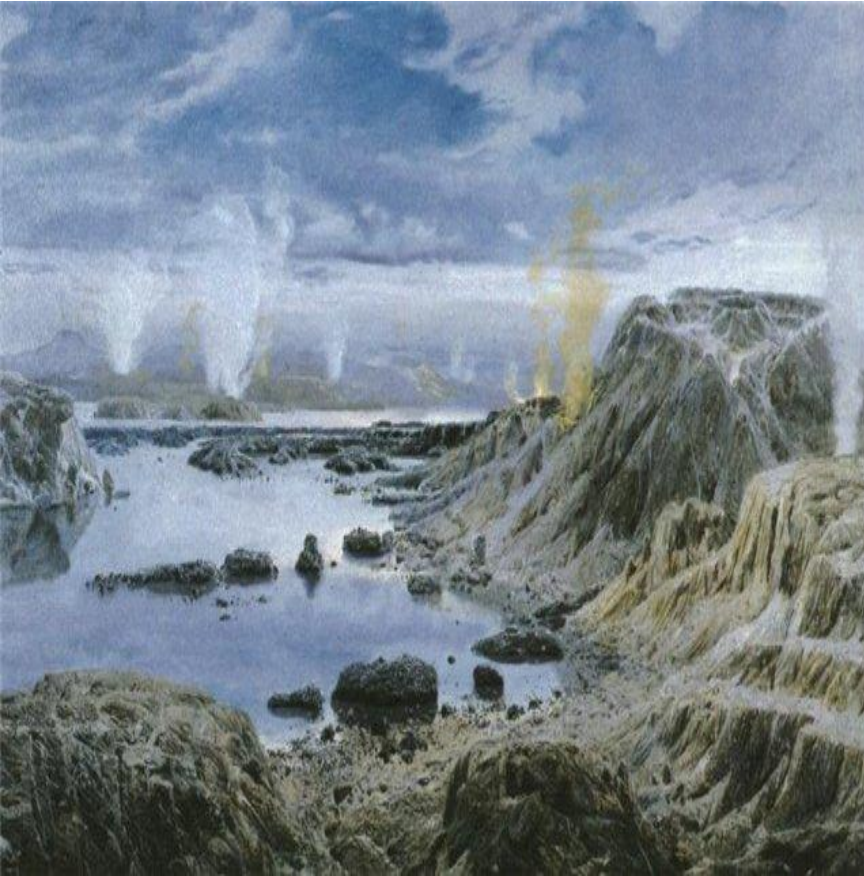
Поскольку белок флагеллин, составляющий основу жгутиков эубактерий, неустойчив в кислой среде, то у архей он замещается гликопротеинами, из которых состоят бактериальные пили. Собственно пили у архей не описаны.

Невосприимчивы к пеницилину из-за отсутствия пептидогликанной стенки

# Сравнительная таблица архей и других доменов

Свойственно археям и бактериям	Свойственно археям и эукариотам	Свойственно только археям
Нет оформленного ядра и мембранных органелл	Нет пептидогликана (мурейна)	Структура клеточной стенки (к примеру, клеточные стенки некоторых архей содержат псевдомуреин)
Кольцевая хромосома	ДНК связана с гистонами	В клеточной мембране присутствуют липиды, содержащие простую эфирную связь
Гены объединены в опероны	Трансляция начинается с метионина	Структура флагелинов
	Схожие РНК-полимераза, промоторы и другие компоненты транскрипционного комплекса, есть интроны и процессинг РНК	Структура рибосом (некоторые признаки сближают с бактериями, некоторые — с эукариотами)
Полицистронная мРНК	Схожие репликация и репарация ДНК	Структура и метаболизм тРНК
Размер клеток (более чем в 100 раз меньше, чем у эукариот)	Схожая АТФаза (тип V)	Нет синтазы жирных кислот

# Экология архей



- Археи распространены повсеместно. Начиная от гидротермальных источников, кратеров вулканов и дна Северного Ледовитого океана и заканчивая столь уютным для них пищеварительным трактом людей и термитов. За счет различных путей метаболизма, археи являются важными членами многих экологических сообществ. Наиболее интересными с точки зрения метаболизма являются метаногенные археи, которые, как ни странно, являются единственным биологическим источником метана на земле. Считается, что именно такой путь метаболизма использовался первыми организмами на Земле. Тесно взаимодействуя с разнообразием биологических видов, они совместно окисляют органику в анаэробных условиях. Важно, что синтрофическое питание необходимо для каждого из членов полимикробного сообщества, ведь в одиночку каждый вид не может использовать субстраты для роста ввиду термодинамических препятствий. Дело в летучих жирных кислотах (volatile fatty acids — VFA) — ацетат, пропионат, бутират, которые являются нежелательными для анаэробов, поскольку их окислительный метаболизм до  $H_2$  и  $CO_2$  возможен только при низком парциальном давлении  $H_2$  вне клетки. Именно за счет утилизации  $H_2$  и  $CO_2$  метаногенами в реакциях синтеза метана и поддерживается оптимальное давление водорода, что поддерживает метаболизм анаэробных бактерий на высоком уровне. Этим механизмом достигается сохранение энергии в сообществах и на нем же основан межвидовой транспорт водорода. Соответственно, антагонистические отношения складываются у Архей с другими потребителями  $H_2$  (в частности — *Theropema* spp., сульфат- и сероредуцирующие бактерии)

# Типы питания архей

Тип питания	Источник энергии	Источник углерода	Примеры
Фототрофы	Свет	Органические соединения	Halobacterium (у них имеется галородопсин)
Литотрофы	Неорганические соединения (сера, аммиак)	Органические соединения или фиксация углерода	Ferroglobus, Methanobacteria, Pyrolobus
Органотрофы	Органические соединения	Органические соединения или фиксация углерода	Pyrococcus, Sulfolobus, Methanosarcinales

# Взаимодействие с другими организмами

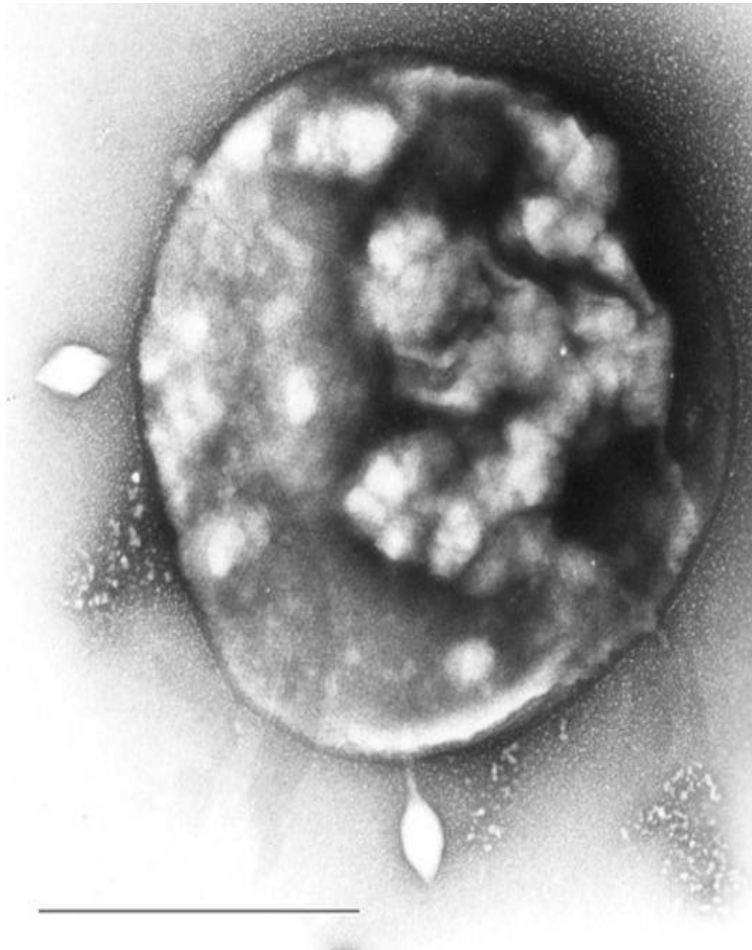
- Метанообразующие археи вступают в симбиоз с термитами. Хорошо изученные отношения между археями и другими организмами — мутуализм и комменсализм. Пока не существует чётких доказательств существования патогенных или паразитических видов архей. Однако была предположена связь между некоторыми видами метаногенов и инфекциями полости рта. Кроме того, вид *Nanoarchaeum equitans*, возможно, является паразитом другого вида архей, поскольку он выживает и размножается только в клетках кренархеота *Ignicoccus hospitalis* и не приносит никакой очевидной выгоды своему хозяину. С другой стороны, архееподобные ацидофильные наноорганизмы Ричмондских рудников ARMAN иногда прикрепляются к клеткам других архей в биопленках кислых сточных вод рудников. Природа этого взаимодействия не ясна, но, в отличие от случая *Nanoarchaeum—Ignicoccus*, сверхмелкие клетки ARMAN всегда остаются независимыми от клеток *Thermoplasmatales*.



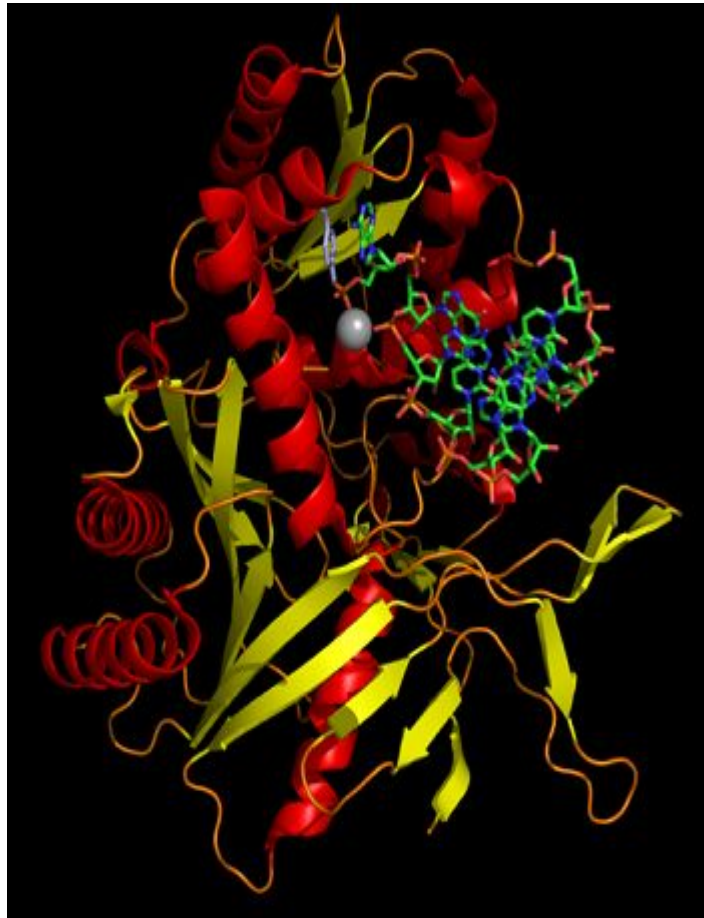
# Типы архей

- *Crenarchaeota* (Креноархеоты) — термофилы, термоацидофилы, серные анаэробные бактерии;
- *Euryarchaeota* (Эвриархеоты) — метаногенные и галофильные археи;
- *Nanoarchaeota* (Наноархеоты) — единственный известный представитель *Nanoarchaeotm equitans*;
- *Korarchaeota* (Корархеоты)— ДНК обнаружена в геотермальных источниках США, Исландии, на рисовых полях Японии, культивируемые виды пока неизвестны;
- *Thaumarchaeota* (Таумархеоты)— в основном окислители аммония, как например, морской аммоний-окислитель *Nitrosopumilus maritimus* и аммоний-окислитель преимущественно почвенного происхождения *Nitrososphaera gardensis*. Недавние филогенетические исследования, основанные на сравнительном анализе структур рибосомальных белков и других важнейших генов, подтвердили существование типа Таумархеот. Был выделен в 2008 году
- Иногда выделяют также шестой тип — *Aigarchaeota* (Аигархеоты) к которому относится единственный вид *Caldircheum subterraneum*.
- В 2015 году были открыты—*Lokiarchaeota* (Локиархеоты) с предполагаемым родом *Lokiarchaeum*. Он был выделен на основании генома, собранного при метагеномном анализе образцов, полученных рядом с гидротермальными источниками в Атлантическом океане на глубине 2,35 км.
- В январе 2016 года были опубликованы результаты метагеномных исследований по реконструкции геномов архей из морских осадочных отложений, которые свидетельствуют об обнаружении нового типа архей — *Thorarchaeota* (Торархеоты).

# Характеристика некоторых типов архей



- *Crenarchaeota* (Креноархеоты) — термофилы, термоацидофилы, серные анаэробные бактерии. Включает 28 родов, относящихся к одному классу – *Thermoprotei*. Окраска по Граму: отрицательная. Морфология клеток у них разнообразна – палочки (*Thermoproteus*), нити, кокки (*Desulfococcus*, *Sulfolobus*), дисковидные клетки, подвижные либо неподвижные. Физиологические группы: хемоавтотрофы, хемогетеротрофы. В основном отдел включает серозависимые прокариоты. В анаэробных условиях восстанавливают элементарную серу ( $S^0$ ) до сероводорода. В аэробных условиях окисляют сероводород или  $S^0$  до серной кислоты. Отношение к кислороду: Строгие анаэробы, факультативные анаэробы, аэробы. Отношение к температуре: в основном гипертермофилы. Способны расти при температурах, в зависимости от вида, в интервале 70-133С. Основной тип местообитаний – морские гидротермальные экосистемы. Характерные представители: *Thermoproteus*, *Sulfolobus* (кокки неправильной угловатой формы), *Desulfococcus*.



- *Euryarchaeota* (Эвриархеоты) — метаногенные и галофильные археи Эти организмы распространены повсеместно. Некоторые формы являются экстремально термофильными и живут около "черных курильщиков", Это, например, *Picrococcus furiosus* ("яростные огненные шарики"). "Шарики" развиваются при отсутствии молекулярного кислорода за счет использования органического вещества при температурах 70-103°C. Однако представители эвриархеот обнаружены и в арктической тундре и даже Антарктиде. Особую группу эвриархеот составляют кислотолюбивые археи, использующие для жизни органические соединения. Сюда относятся так называемые термоплазмы, развивающиеся в горячих и кислых вулканических источниках и лишенные клеточной стенки. Окружающая их клетки цитоплазматическая мембрана, как очевидно, обладает удивительной устойчивостью. Еще более кислотолюбив *Picrophilus*, что в переводе означает кислотолюб. Эта архея растет только при значениях pH ниже 2,2 и даже при pH около 0

# Применение архей в биотехнологии

В настоящее время некоторые метаболиты архейного происхождения нашли применение или рекомендованы для практического использования. Внеклеточные полисахариды галофилов облегчают добычу нефти, а выделяемые клетками галоархейные полимеры (полиалканоаты) рассматривают как сырье для производства биodeградебельных пластиков и материала для хирургии.

Метаногены в ряде стран используют для получения биогаза из возобновляемых субстратов с одновременным удалением бытовых, городских и сельскохозяйственных отходов. Ацидофильные археи, способные к окислению сульфидных минералов, играют важную роль в геохимическом цикле серы и рекомендованы для использования в биометаллургии для выщелачивания бедных руд при добыче ценных металлов.

*S. acidocaldarius* предлагают использовать для десульфуризации каменных углей, содержащих  $\text{FeS}_2$ , и удаления из углей серосодержащих (тиофеновых) соединений. Гликопротеиновые S-слои и бактериородопсин галофилов, способные к самосборке, интересны для нанотехнологических процессов.

Липосомы, образованные из исключительно стабильных липидов архей, позволили создать новую систему иммунных адьювантов.

Невосстанавливающий дисахарид трегалоза широко используется в различных областях промышленности. Получают его из дрожжей. Как источник продукта для промышленного синтеза трегалозы интерес представляет *S. shibata*.

Преимущество ферментов экстремофилов состоит в их высокой стабильности и пониженном риске заражения. Они могут заполнить пропасть между биологическими и химическими процессами. По сравнению с катализаторами ферменты часто имеют большую специфичность, которая позволяет получать определенные стереоизомеры, биокатализ протекает с более низким числом побочных реакций и меньшим загрязнением окружающей среды.

# Процессы с использованием архей

## ДЕСУЛЬФУРИЗАЦИЯ ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ

На мощных заводах или химических предприятиях в ряде технических процессов непосредственно задействованы культуры живых гипертермофилов. В частности, гипертермофильные автотрофные сульфитредуторы используют для десульфуризации выхлопных газов. В этом процессе  $SO_2$  вначале вымывается из газовой смеси, затем восстанавливается до  $H_2S$  в анаэробном реакторе гипертермофилом, например *Archaeoglobus veneflcus*, в присутствии  $H_2$  или метанола как доноров электронов. Во втором аэробном реакторе  $H_2S$  окисляется и получают высоко очищенный ценный конечный продукт — элементарную серу

## ПРОЦЕССИНГ МИНЕРАЛОВ

Археи представляют интерес для выделения меди из халькопирита ( $CuFeS_2$ ), Археи представляют интерес для выделения меди из халькопирита ( $CuFeS_2$ ), который среди других минералов отличается наибольшей устойчивостью к растворению. Окисление  $Fe^{+2}$  — ключевая реакция при растворении промышленных минеральных сульфидов ацидофилами, которая у термофильных архей происходит с более высокими скоростью и эффективностью, так как при повышенной температуре диффузия ионов усиливается.

В процессе выщелачивания температура повышается вплоть до  $80\text{ }^\circ\text{C}$ , но при использовании гипертермофильных архей охлаждения не требуется, что делает процесс энергосберегающим.

Среди архей окисление минералов осуществляют *Ferroplasma acidophilus*, *Sulfolobus metallicus* (оптимальная активность при  $70\text{ }^\circ\text{C}$ ), *Metallosphaera sedula*, *Acidianus brierley*, но наиболее быстрое окисление пирита и наиболее эффективную экстракцию меди из халькопирита при  $80\text{—}85\text{ }^\circ\text{C}$  выполняет охарактеризованная смешанная культура *Sulfolobus*-подобных организмов. *S.*

*Acidocaldarius*

Преимущество этого археона перед ацидофильными тионовыми бактериями состоит в следующем: выделение металлов из минеральных сульфидов лучше происходит при повышенной температуре —  $60\text{ }^\circ\text{C}$ ; не требуется охлаждения реактора, что позволяет сберечь энергию

# Архейные ферменты используемые в биотехнологии

## ТЕРМОАРХЕЙНЫЕ ЭКСТРЕМОЗИМЫ

Одна из важнейших проблем, связанных с применением ферментов, — это их нестабильность, и использование архейных ферментов позволяет эту проблему решить. Гипертермофилы привлекают большое внимание как источники ферментов, поскольку обитают при высокой температуре и их ферменты функционируют при тех же температурах, проявляя при этом высокую термостабильность, устойчивость к действию детергентов, окислителей, протеаз. Молекулярные свойства экстремозимов, обуславливающие их устойчивость к экстремально высоким температурам, закодированы генетически: в белках увеличено число солевых мостиков, водородных связей, усилены гидрофобные взаимодействия, повышена гидрофобность белкового кора, имеются дополнительное спаривание ионов и замещения выступающих термолабильных аминокислот. Это увеличивает термальную стабильность, ригидность и устойчивость ферментов к химической денатурации. Экстремозимы получают из экстремальных или гипертермофильных (последние, главным образом, из архей) организмов. Сложность культивирования гипертермофилов связана с тем, что их метаболизм основан на восстановлении элементарной серы до сероводорода. Поэтому используются специальное оборудование и условия для выращивания. Больше всего изучались экстремозимы из рр. *Rubrococcus* и *Thermococcus*, которые могут расти в отсутствие серы.

## Алкогольдегидрогеназы

Ферменты кальдерных архей представляют интерес для органической химии. Хиральные спирты, применяемые в фармацевтике, получают при восстановлении соответствующих кетонов и альдегидов, используя для этого ферменты, выделенные из бактериального штамма *Thermoanaerobacter* sp. Алкогольдегидрогеназы подвергаются денатурации, если концентрация растворителей (спирта, альдегида или кетона) превышает 10% при температуре выше 35 °С.

Ферменты, выделенные из *Sulfolobus* sp., отлично работают при более высоких температуре и концентрации растворителя. Некоторые реакции в органическом синтезе лучше протекают и направлены в сторону синтезируемого продукта в органическом растворителе при низком содержании воды. Это, например, касается эстеразных и трансэстеразных реакций.

## Гликозилгидролазы

В промышленности особое значение имеют экстремофильные протеазы, липазы и ферменты, деградирующие полимеры такие, как целлюлазы, хитиназы и амилазы. Эти ферменты гидролизуют гликозидные связи между двумя или большим числом углеводов или между углеводом и неуглеводным ядром. Их подразделяют на гликозилгидролазы, расщепляющие крахмал ( $\alpha$ -1,4 и  $\alpha$ -1,6-гликозидные связи), ксилан или целлюлозу — полимеры, содержащие (3-1,4-гликозидные связи).

## α-Глюкозидазы

Фермент включается на конечной стадии деградации гликогена, отщепляя терминальные остатки глюкозы. α-Глюкозидаза, выделенная из *S.solfataricus*, очищена. Температурный оптимум для этого фермента — 105 °С, что на 20 °С выше оптимальной температуры роста штамма. Профиль термальной активности и субстратной специфичности фермента указывает на отличие от соответствующего аналога у *P.furiosus*. Из *Thermococcus* sp. выделена и очищена внеклеточная α-глюкозидаза.

## Ксилан-деградирующие ферменты

Ксиланы — гетерогенная группа полисахаридов; главная цепь молекулы которых состоит из  $\beta$ -1,4-связанных)-ксилопиранозильных субъединиц. Термостабильные ксиланазы представляют интерес для процесса отбеливания бумаги, как альтернатива традиционной техники, применяющей для этой цели хлор. Деградацию неподобработанного ксилана осуществляют *P.furiosus*, *Thermococcus* sp. и *Th.zilligii*.

## Ферменты, деградирующие целлюлозу

Целлюлоза — наиболее широко распространенный природный полимер на Земле. Ее молекула может содержать до 14 тыс. глюкозных остатков, связанных  $\beta$ -1,4-связями.

Целлюлазы распространены широко среди грибов и бактерий, но имеется лишь одно сообщение о наличии архейной целлюлазы (эндог-люконазы) у археона *P.furiosus*, хотя  $\beta$ -гликозидные ферменты содержат многие термофильные и гипертермофильные археи.

У *P.furiosus*, выращенного в среде с целлобиозой (продукта расщепления целлюлозы),  $\beta$ -глюкозидаза составляет до 5% всех белков клетки, Термостабильные  $\beta$ -глюкозидазы обнаружены также у различных штаммов порядка *Sulfolobales*, хотя физиологическая роль фермента непонятна.





## ПСИХРОФИЛЫ И ПСИХРОФИЛЬНЫЕ ЭКСТРЕМОЗИМЫ

Места обитания организмов с высокой температурой не являются широко распространенными на Земле, в противоположность постоянно холодным местам.

Большая часть микроорганизмов, выделенных из холодных мест, относится к психротолерантным (их также называют психротрофными) и психрофильным. Первые хорошо растут при температуре, близкой к температуре замерзания воды, но самую высокую скорость роста имеют при температуре выше 20 °С, а психрофильные микроорганизмы быстрее всего растут при 15 °С или ниже и не могут расти при температуре выше 20 °С

Археи обитают во многих водоемах с низкими температурами. В планктоне Тихого океана, взятого с глубины 100 и 500 м, присутствуют различные архейные штаммы. Археи составляют более 1/3 прокариотной биомассы береговых антарктических вод, включая членов царства Crenarchaeota. Кренархеотный штамм *Cenarchaeum symbiosum* живет как симбионт в морской губке и растет при 10 °С. Из царства эвриархеот изолированы три штамма свободно живущих психрофильных архей: *Methanococcus burtonii* (минимальная температура - минус 2,5 °С, оптимальная — 23 °С), *Methanogenium frigidum* (минимальная температура — минус 10 °С, оптимальная — 15 °С), первоначально выделенные со дна Ледяного озера Антарктиды, насыщенного метаном, и галофильный археон — *Halorubrum lacusprofundi* (минимальная температура — 2 °С, оптимальная — 33 °С), тоже выделенные в Антарктиде. Изучение ферментов этих видов только начинается. Показано, что *Mc.burtonii* при росте при низких температурах аккумулирует К-аспаргат, что приводит к снижению величины  $K_m$  для связывания GTP фактором элонгации 2 (EF-2). Холодоактивные гены архей экспрессированы в *E.coli* и получены рекомбинантные продукты. Особенности ферментов психрофилов

В ферментах психрофилов содержатся специфические изменения в последовательностях аминокислот, меньшее число дисульфидных связей и солевых мостиков, в спиралевидных дипольных структурах — меньшее число зарядов, чем у термофилов, характерно увеличение взаимодействий с растворителями, сниженное число водородных связей на интерфейсах доменов и более низкая степень гидрофобных взаимодействий в коровой части белка (Russell, 2000). Эти модификации делают белки более гибкими в структурном отношении и каталитически более активными на холоде. Приведенные адаптации носят противоположный характер по отношению к тем, которые придают термостабильность белкам экстремальных термофилов.

Ферменты психрофилов практически интересны в связи с возможностью снижения расхода энергии. С такими ферментами, как дополнительными детергентами, возможна работа прачечных с использованием холодной воды.

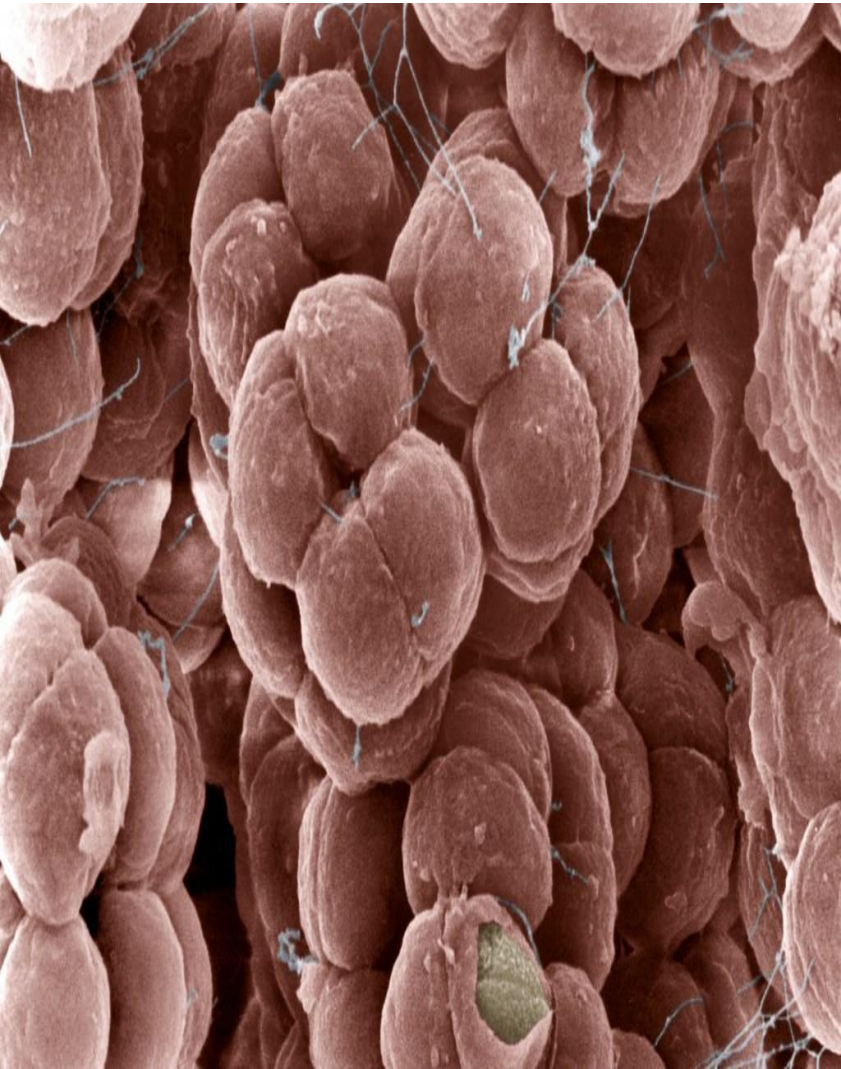
В этой сфере обслуживания особый интерес представляют психрофильные протеазы, амилазы и липазы. Древесная масса (пульпа) и целлюлозобумажная промышленность также заинтересованы в ферментах, деградирующих полимеры при низких температурах, как и некоторые типы процессингов пищи, например расщепление пектинов пектиназа-ми при процессинге фруктовых соков. Психрофильные метаногены могут быть использованы для очистки сточных вод и продукции метана при низких температурах.

## ГАЛОАРХЕЙНЫЕ ЭКСТРЕМОЗИМЫ

Две группы галофильных архей: аэробные галоархеи и анаэробные галофильные метаноархеи используют различные способы существования в солевых окружениях. Цитоплазма метаногенов содержит низкую концентрацию соли благодаря высокой концентрации осмолитов, а биохимические процессы у галофилов функционируют при концентрации соли, близкой к насыщению. Они аккумулируют NaCl или KCl до концентраций изотонических или превышающих концентрации этих солей в окружающей среде, и ферменты галофилов функционируют и адаптированы к очень высоким концентрациям соли вследствие приобретения большого числа отрицательно заряженных аминокислотных остатков на поверхности белков, что предотвращает высаливание. В условиях с низкой концентрацией солей растворимость галофильных ферментов часто очень низкая, что создает определенные ограничения в их применении, но это свойство имеет преимущество при использовании этих ферментов в водно-органической и неводной средах. Например, внеклеточная протеаза *Halobacterium halobium* используется для активного синтеза пептидов в растворителе: вода / N'-N'-диметилформамид.

Галофильные археи представляют коммерческий интерес как источники бетаинов или эктоина — стабилизирующих агентов, полимеров, используемых в производстве биodeградебельных пластиков, полисахаридов, солеустойчивых липидов (см. выше). Солеустойчивость бактериородопсина важна для его использования в галографических пленках и биоэлектронике. Ферменты галофилов длительное время сохраняют стабильность при температуре окружающей среды и часто проявляют значительную термоустойчивость. Как ранее отмечалось, каталитическая активность галоферментов сохраняется при низкой активности воды, например в присутствии большого количества органических растворителей.

Из штаммов рода *Halococcus* выделен новый рестрикционный фермент с необычайно высокой специфичностью. Химотрипсиногенподобная протеаза получена из галоалкалофильного археона *Natronomonas pharaonis*. В отличие от многих протеаз, теряющих активность при низкой концентрации соли, протеаза *N. pharaonis* может функционировать при довольно низкой концентрации — 3 ммоль, поэтому этот экстремо-зим наиболее интересен как дополнительный детергент. Недавно удалось использовать заключенную в обращенные мицеллы p-нитро-фенилфосфатазу из *Halobacterium salinarium* при очень низкой концентрации соли. В этих условиях фермент сохранял активность и стабильность. Такие же результаты получены с галофильной малатдегидрогеназой. Обращенные мицеллы в комбинации с галофильными ферментами открывают путь новым способам их практического применения.



## ЭКСТРЕМОЗИМЫ АРХЕЙНЫХ ПЬЕЗОФИЛОВ

Пьезофильные (барофильные) микроорганизмы, включая термофильные и гипертермофильные архейные штаммы, обитают при давлении в среднем 38 МПа в водах мировых океанов. Высокие давления необходимы в различных отраслях промышленности, например, для процессинга и стерилизации пищевых продуктов.

Использование ферментов пьезофилов — новая биотехнологическая альтернатива по отношению к традиционной. Высокое давление может оказывать влияние на активность ферментов. Гидрогеназы, глицеральдегид-3-фосфатазы и  $\alpha$ -глюкозидазы, полученные из клеток *Methanococcus jannaschii* и *M.s.igneus*, первоначально выделенных из глубины соответственно 2600 и 100 м проявляли более высокую активность при повышенном давлении. ДНК-полимераза из *P.furiosus* и *Rugococcus* sp. также были стабилизированы при высоком давлении и повышенной температуре.

# Исследования по использованию архей

## ЭЛЕКТРОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЖГУТИКОВ АРХЕЙ ДЛЯ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

С помощью метода генно-инженерной модификации жгутиков галофильных архей, разработанного Безносовым С.Н., возможно получение наноматериалов с разнообразными свойствами в зависимости от того, какое вещество способны связывать жгутики после модификации. Так, Безносовым С.Н. на основе модифицированных жгутиков галофильного археона *H. salinarum* был получен материал анода литий-ионного аккумулятора. Этот материал продемонстрировал повышенную разрядную емкость по сравнению с материалами, используемыми в настоящее время в промышленном производстве.

## ИЗУЧЕНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТЕРМОФИЛЬНЫХ СИНТРОФНЫХ БАКТЕРИЙ И МЕТАНОГЕННЫХ АРХЕЙ В АНАЭРОБНОМ МИКРОБНОМ СООБЩЕСТВЕ

Этот проект направлен на получение данных для разработки отсутствующей в России полномасштабной технологии термофильного сбраживания органической фракции твердых бытовых отходов (ТБО) с помощью метаногенного микробного сообщества с получением энергоносителя в виде метана и биоудобрений. Определены наиболее перспективные для запуска процесса термофильного сбраживания инокуляты (источники анаэробных бактерий и метаногенных архей), их оптимальное количество, разработан метод получения активного инокулята из грунта анаэробной зоны полигона захоронения ТБО. В настоящее время проводится изучение активных ассоциаций термофильных синтрофных бактерий и метаногенных архей с целью создания микробного биопрепарата для стабилизации работы термофильных биореакторов.

# Вывод

В данной курсовой работе я описывал микроорганизмы домена "Археи" и то как они используются в биотехнологии. Археи очень важны для природы и для ученых ведь только они могут жить в очень жарких или очень холодных условиях ,сохраняя свою жизнеспособность.

Выполняя работу я узнал, что про археи известно очень мало и основные открытия в их области были сделаны в последние 10- 20 лет. Из-за этого неизвестны патогенные свойства архей , слабо изучено их влияние на людей и животных , но несмотря на это сейчас они весьма часто используются в средах где невозможна жизнь других живых существ .

Использование архей сейчас экономически не выгодно, ведь, несмотря на явные преимущества их сложно культивировать в лабораториях , однако ,несмотря на это, проводится ряд исследований посвященных использованию архей в повседневной жизни.

Археи на сегодняшний день являются очень перспективными объектами для исследования ведь даже то что уже известно ученым показывает серьезный потенциал для будущих исследований во многих областях науки