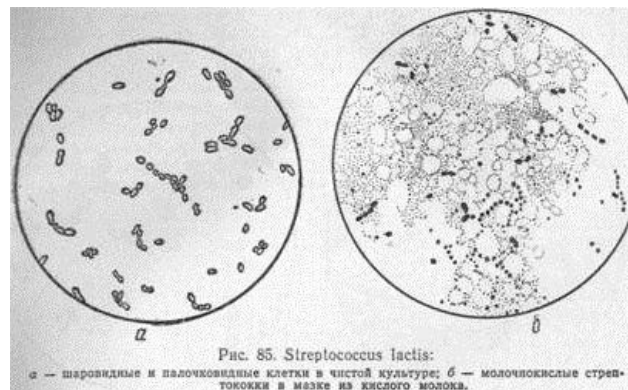
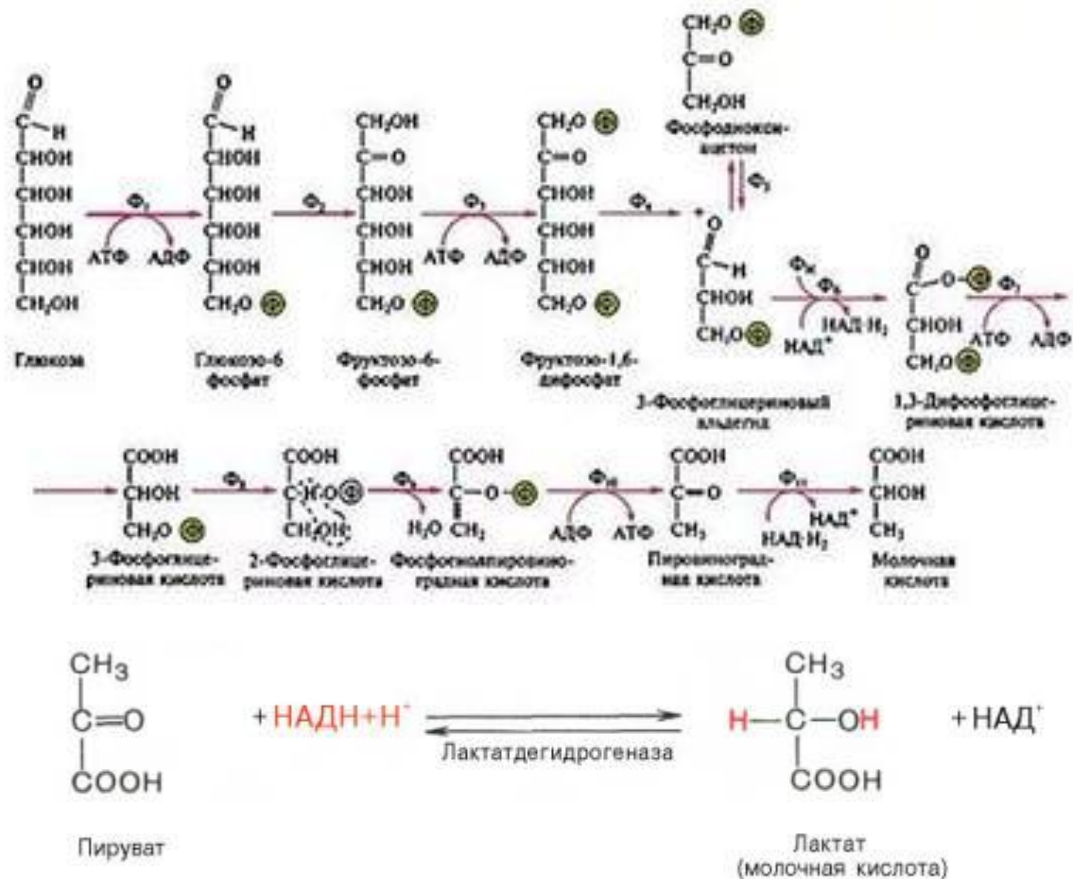


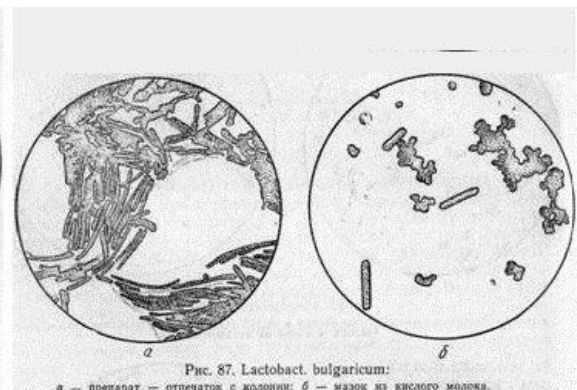
# Субстратное фосфорилирование

Брожение – процесс окислительно-восстановительных превращений органических соединений в анаэробных условиях, сопровождающихся выделением энергии.

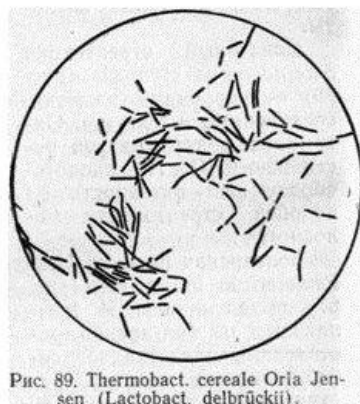
# Молочнокислое брожение



стрептококк молочный *Streptococcus lactis*



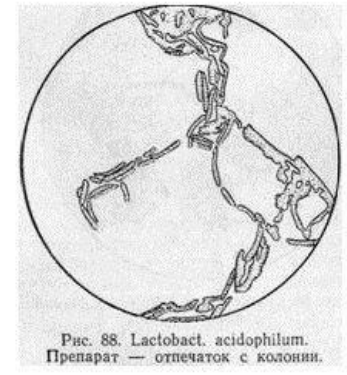
Болгарская палочка *Lactobacterium bulgaricum*



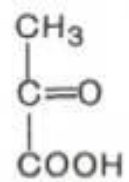
Зерновая термофильная палочка *Thermobacterium cereal*



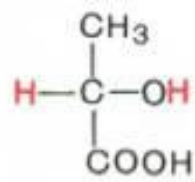
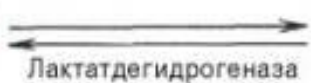
Сливочный стрептококк *Streptococcus cremoris*



Ацидофильная палочка *Lactobacterium acidophilum*



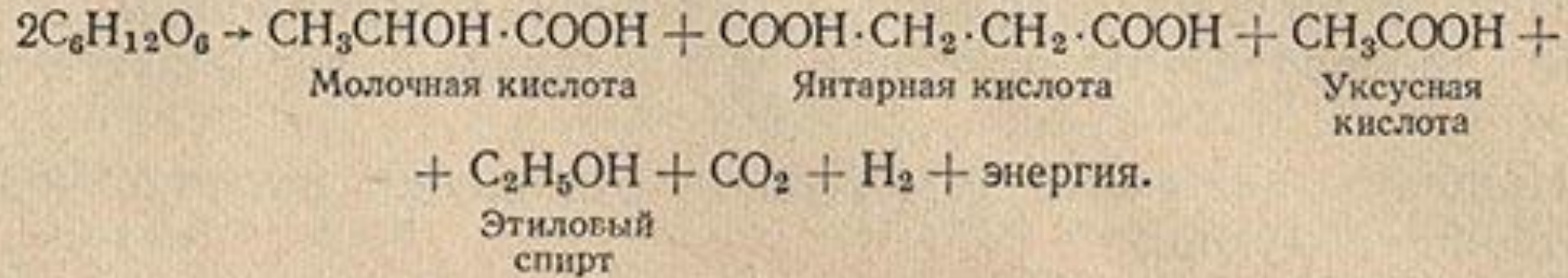
Пируват



Лактат  
(молочная кислота)



# Гетероферментативное молочнокислое брожение



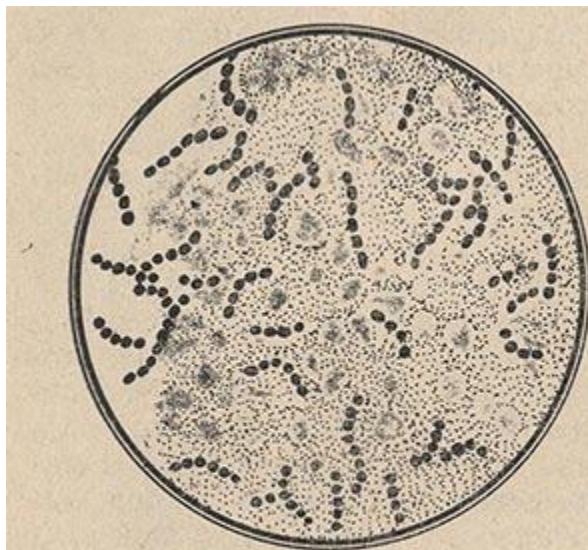


Рис. 22. Молочнокислый стрептококк *Streptococcus lactis* (в мазке из кислого молока) (1000×).

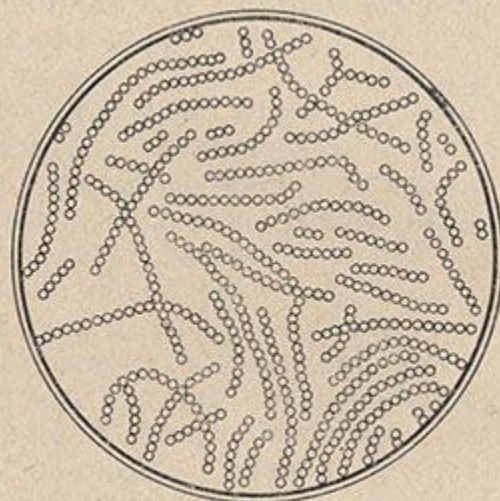


Рис. 23. Сливочный стрептококк *Streptococcus cremoris*.



Рис. 24. Болгарская палочка *Lactobacterium bulgaricum* (препарат-отпечаток с края колонии) (1000×).



Рис. 25. Ацидофильная палочка *Lactobacterium acidophilum* (препарат-отпечаток с края колонии) (1200×).



Рис. 26. Сырная палочка *Lactobacterium casei*.

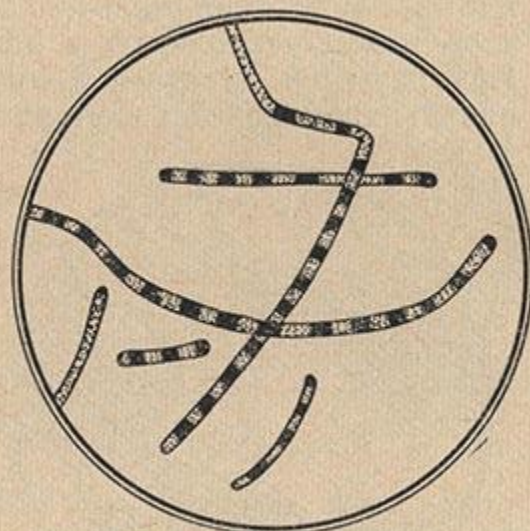


Рис. 27. Дельбрюковская палочка *Lactobacterium delbrückii*.

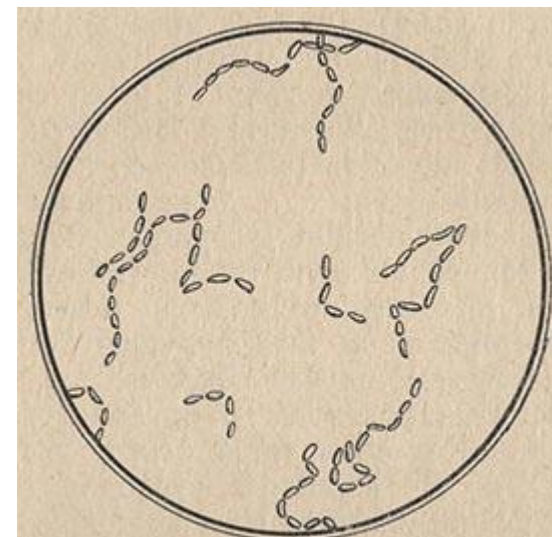
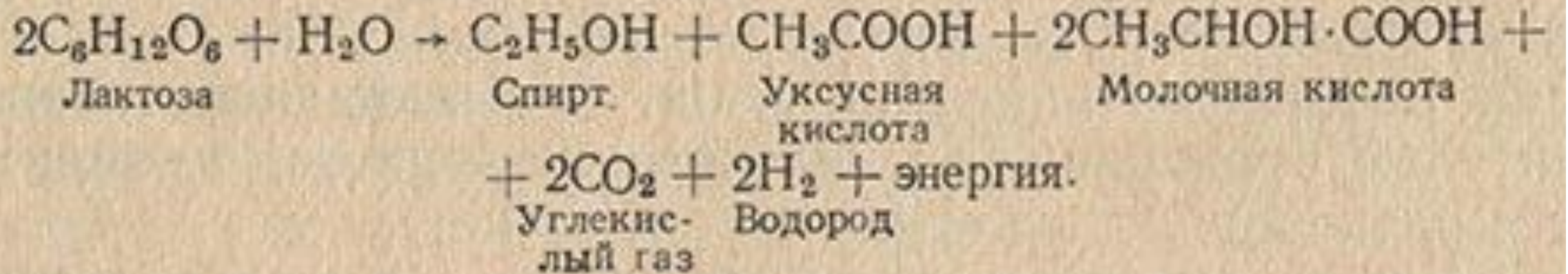
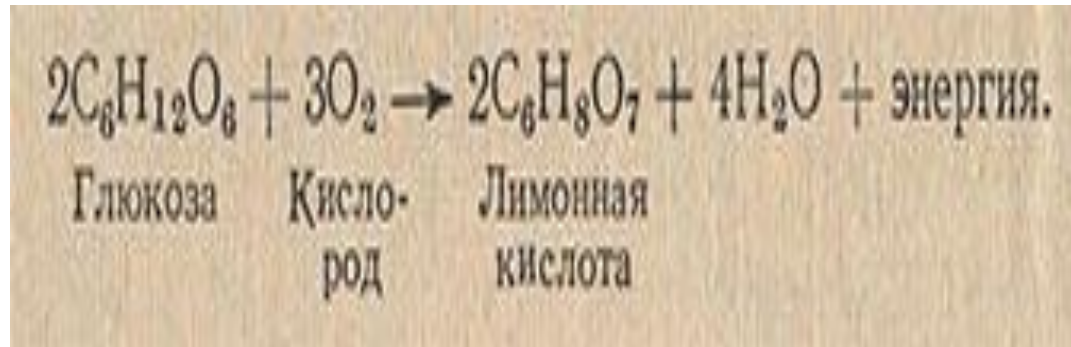


Рис. 28. Огуречная палочка *Lactobacterium cucumeris fermentati*.

# Молочнокислое брожение E.coli



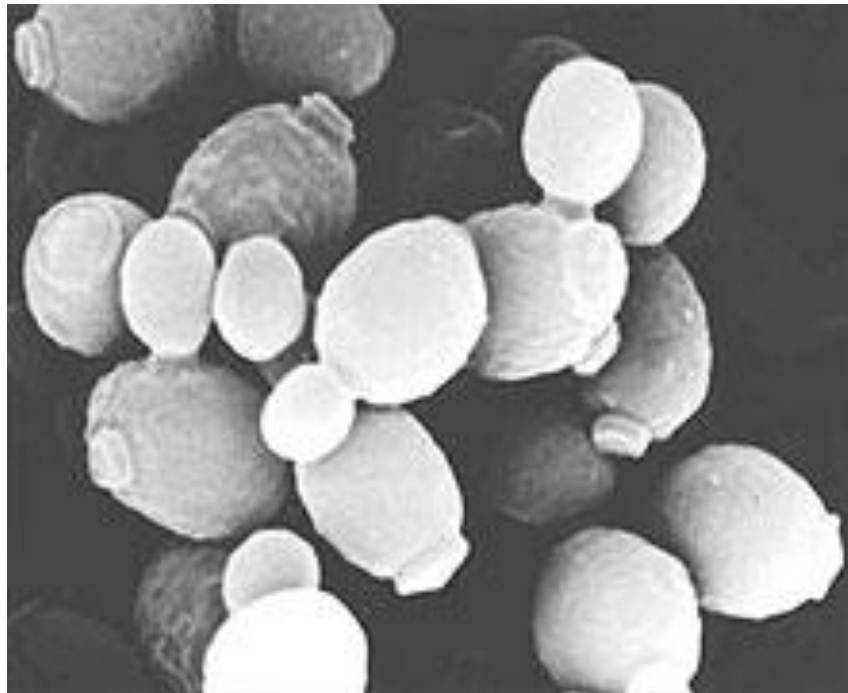
# Лимоннокислое брожение



- Наиболее энергичными возбудителями лимоннокислого брожения сахара являются плесневые грибы *Aspergillus niger*, *Citromyces glaber* и некоторые другие представители рода *Citromyces*.
- Производственный процесс получения лимонной кислоты биохимическим путем, разработанный В. С. Буткевичем, делится на два этапа. Сначала в плоских алюминиевых бродильных сосудах (кюветах) при температуре 30-32°C выращивается пленка гриба. Чаще всего используют *Aspergillus niger*. Подбирается наиболее активный в смысле продуцирования лимонной кислоты штамм этой плесени. Выращивание осуществляется на 20%-ном сахарном растворе с добавлением минеральных солей (в частности, нитрата аммония в количестве 0,3%) и активатора роста - сернокислого цинка. В начале плодоношения (обычно на вторые сутки) питательный раствор из-под пленки сливают, а нижнюю поверхность пленки тщательно промывают кипяченой водой. После этого, начинается второй этап брожения.
- Под пленку вводят свежeproкипяченный и охлажденный до комнатной температуры 20%-ный раствор сахара. Брожение начинается очень быстро и полностью заканчивается в течение 4 дней. В камерах брожения необходимо поддерживать высокую влажность воздуха и достаточную аэрацию. Выход лимонной кислоты составляет 50-60% от количества потребленного сахара. Ее выделяют из субстрата и очищают.



# Спиртовое брожение



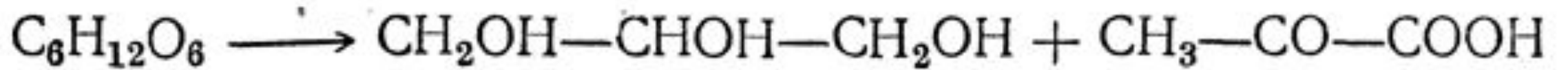
- Процесс спиртового брожения — многоступенчатый, состоящий из цепи химических реакций. Превращения глюкозы до образования пировиноградной кислоты происходят так же, как и при дыхании. Эти реакции происходят без участия кислорода (анаэробно). Далее пути дыхания и брожения расходятся.

При спиртовом брожении пировиноградная кислота превращается в конечном итоге в спирт и углекислоту. Эти реакции протекают в две стадии. Сначала от пирувата отщепляется  $\text{CO}_2$  и образуется уксусный альдегид; затем уксусный альдегид присоединяет водород, восстанавливаясь в этиловый спирт. Все реакции катализируются ферментами. В восстановлении альдегида участвует НАД-Н<sub>2</sub>.

Обычно при спиртовом брожении, кроме главных продуктов, образуются побочные. Они довольно разнообразны, но присутствуют в небольшом количестве: амиловый, бутиловый и другие спирты, смесь которых называется сивушным маслом — соединение, от которого зависит специфический аромат вина.

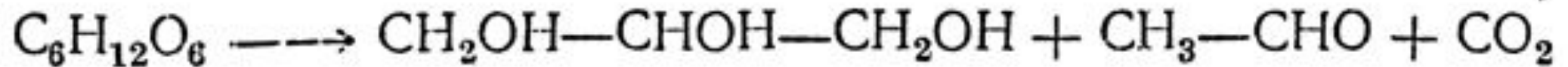
Образование побочных веществ связано с тем, что превращение глюкозы частично идет другими путями.

промежуточными продуктами при [спиртовом брожении](#) являются [глицерин](#)  $\text{CH}_2\text{OH}-\text{CHOH}-\text{CH}_2\text{OH}$  и [пировиноградная кислота](#)  $\text{CH}_3-\text{CO}-\text{COOH}$ :

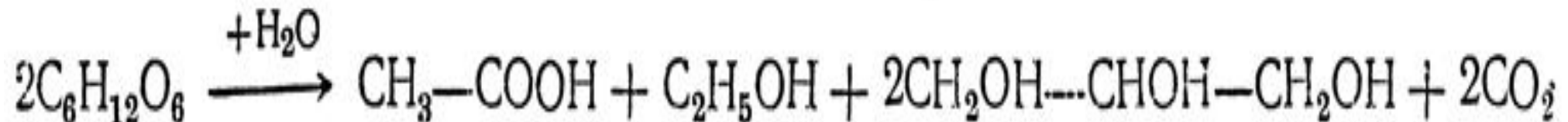


оследняя, в свою очередь, под влиянием находящегося в дрожжах [энзима](#) карбоксилазы распадается на [уксусный альдегид](#)  $\text{CH}_3-\text{CHO}$  и  $\text{CO}_2$ . Действительно, взятая отдельно [пировиноградная кислота](#) распадается под действием дрожжей подобным же образом.

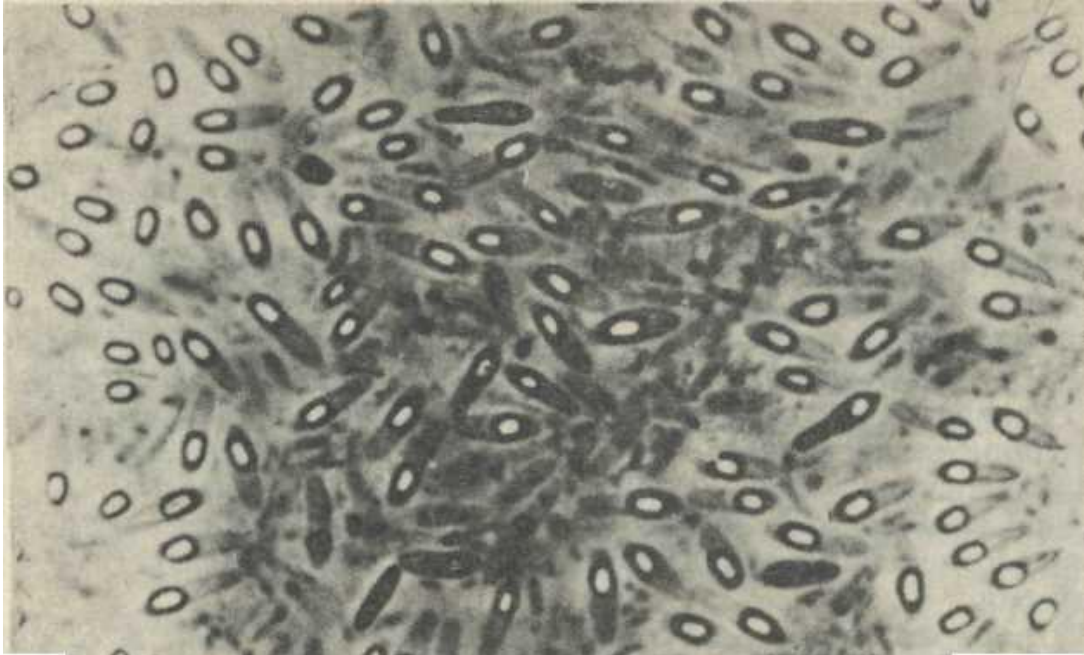
При обычных условиях [брожения](#) всегда образуются в небольших количествах [глицерин](#) и [уксусный альдегид](#).



Если [брожение](#) происходит в присутствии [щелочей](#), то образуется также и [уксусная кислота](#):

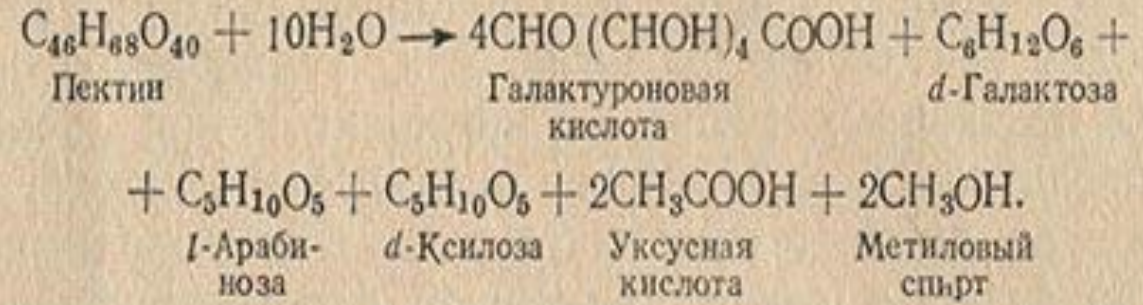


# Маслянокислое брожение



- При этом брожении накапливаются различные побочные продукты. Наряду с масляной кислотой,, углекислым газом и водородом образуются этиловый спирт, молочная и уксусная кислоты.
- Некоторые маслянокислые бактерии, кроме того, образуют ацетон, бутанол и изопропиловый спирт.
- Брожение начинается с процесса фосфорилирования глюкозы и далее идет по гликолитическому пути до стадии образования пирувиноградной кислоты. Затем образуется уксусная кислота, которая активируется ферментом. После чего при конденсации (соединении) из двухуглеродного соединения получается четырехуглеродная масляная кислота. Таким образом, при маслянокислом брожении происходит не только разложение веществ, но и синтез.
- В маслянокислом брожении различаются две фазы. В первой параллельно с увеличением биомассы накапливается уксусная кислота, а масляная кислота образуется преимущественно во второй фазе, когда синтез веществ тела замедляется.
- Маслянокислое брожение происходит в природных условиях в гигантских масштабах: на дне болот, в заболоченных почвах, илах и всех тех местах, куда ограничен доступ кислорода. Благодаря деятельности маслянокислых бактерий разлагаются огромные количества органического вещества.

# Брожение пектиновых веществ



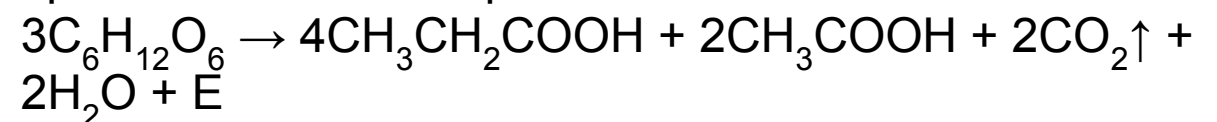
# Пропионовокислое брожение

**Пропионовокислое брожение** — тип брожения, осуществляемый пропионовыми бактериями, который приводит к сбраживанию углеводов с образованием пропионовой кислоты  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$ , углекислоты и воды.



пропионовокислые бактерии в сканирующем электронном микроскопе (x60000)

Пропионовые бактерии способны фиксировать  $\text{CO}_2$ , при этом из пировиноградной кислоты и  $\text{CO}_2$  образуется щавелевоуксусная кислота, превращающаяся в янтарную к-ту, из которой декарбоксилированием образуется пропионовая кислота: Суммарно, можно так описать реакцию сбраживания глюкозы  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  при пропионовокислом брожении:



Таким образом, основными продуктами данного пропионовокислого брожения являются пропионовая кислота  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$ , а также уксусная кислота  $\text{CH}_3\text{COOH}$ , углекислый газ  $\text{CO}_2$  и вода  $\text{H}_2\text{O}$ ; кроме того выделяется энергия. Побочными продуктами этого биохимического процесса, являются янтарная кислота, ацетоин, диацетил, другие летучие ароматические соединения - диметилсульфид, ацетальдегид, пропионовый альдегид, этанол и пропанол.