

**СОВРЕМЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**



**МИКРОБИОЛОГИЯ ВОДЫ**

Учебное пособие

**РЯЗАНЬ  
2018**

УДК 627.824.31:351.793:721.012.1(075.8)

**Микробиология воды:** учебное пособие(Электронный ресурс) /сост.  
Барановский А.В.,  
Совр. техн. универ-т. – Рязань, 2018. – 67 с.

*Рецензент:* д.б.н., профессор А.Г. Резанов

Учебно-методическое пособие составлено для студентов вузов,  
ведущих подготовку специалистов по природоохранным  
специальностям.

*Печатается по решению Ученого Совета  
Современного технического университета.*

УДК 627.824.31:351.793:721.012.1(075.8)

© А.В.Барановский

© Современный технический университет, 2018

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Раздел 1. Основы общей микробиологии .....	5
1.1. Предмет микробиологии и его связь с окружающей средой .....	5
1.2. Краткая история развития общей микробиологии .....	5
1.3. Систематизация микроорганизмов. Морфология .....	10
1.4. Строение и состав бактериальной клетки .....	19
Раздел 2. Общая физиология микроорганизмов. Взаимоотношения с окружающей средой .....	20
2.1. Физиология микроорганизмов .....	20
2.2. Факторы влияния окружающей среды на микроорганизмы и их адаптация к этим факторам .....	24
2.3. Участие микроорганизмов в превращении веществ .....	29
Раздел 3. Патогенные микроорганизмы. Вредная деятельность микробов .....	41
3.1. Основные пути распространения инфекции .....	41
3.2. Индикаторная роль бактерий группы кишечной палочки .....	44
3.3. Группировка водоемов по экологическим признакам .....	46
3.4. Основные приемы технического воздействия на микробное население воды .....	47
3.5. Жизнедеятельность микроорганизмов на водопроводных очистных сооружениях .....	50
Раздел 4. Роль микроорганизмов в процессах очистки природных и сточных вод .....	52
4.1. Почвенные методы очистки сточных вод .....	52
4.2. Принцип работы биологического фильтра .....	55
4.3. Биохимическое окисление жидкой фазы сточных вод в аэротенках .....	57
4.4. Очистка сточных вод в биологических прудах .....	58
4.5. Пусковой период биохимических очистных сооружений .....	59
4.6. Биохимические процессы, протекающие при анаэробном разложении твердой фазы сточных вод .....	60
4.7. Биохимические процессы, происходящие в септике .....	61
4.8. Биохимические процессы разложения твердой фазы в двухъярусном отстойнике .....	62
4.9. Биохимические процессы, протекающие в метантенке .....	63
Литература .....	66

## **РАЗДЕЛ 1. ОСНОВЫ ОБЩЕЙ МИКРОБИОЛОГИИ**

### **1.1. Предмет микробиологии и его связь с окружающей средой**

Микробиологией называется наука о малых (невидимых невооруженным глазом) организмах, получивших название микробов.

Эту группу организмов составляют: бактерии, актиномицеты — нитчатые микроорганизмы, бесхлорофилльные растения — грибы, хлорофиллсодержащие растения — водоросли, простейшие и ультрамикробы — особый класс существ, более просто организованных, чем бактерии, и более мелких, невидимых в микроскоп.

Слово микробиология происходит от греческих слов mikros— малый и bios — жизнь.

Микробиология изучает особенности строения и жизнедеятельность микроорганизмов. Она выясняет их роль в превращениях органических и неорганических веществ в природе. Распад органических веществ в природных условиях и в искусственных сооружениях происходит при деятельном участии микроорганизмов, использующих органические вещества для своего питания. Для них белки, жиры и углеводы представляют собой ценный питательный материал.

При изучении процессов, происходящих на очистных сооружениях, нельзя игнорировать жизнедеятельность микробов, которая нередко является основной причиной уничтожения органических загрязнений.

### **1.2. Краткая история развития общей микробиологии**

Бактерии являются самыми древними обитателями Земли. Полагают, что первобытные бактерии были мельче, чем современные. «Ископаемые бактерии», т. е. их отпечатки, найдены вместе с сине-зелеными водорослями в кембрийских и докембрийских отложениях. Со временем

усложнение организмов привело к появлению нитчатых ветвящихся форм, от которых в дальнейшем произошли грибы.

От пигментных бактерий могли взять начало сине-зеленые водоросли.

Первые сведения о мире микроорганизмов появились в XVII в. Они связаны с наблюдениями голландского ученого Антония Левенгука (1632—1723), которому удалось создать микроскоп, дававший линейное увеличение в 160 раз. Левенгук рассматривал соскоб с зубных налетов, каплю стоячей воды, сенной настой и др. Он подробно описал и зарисовал увиденные им микроорганизмы в книге «Тайны природы».

Но если обнаружить бактерии удалось только в XVII в., то некоторые процессы, вызываемые микроорганизмами, например процесс скисания молока, приготовление дрожжевого теста, виноградного вина и т. п., были известны в глубокой древности.

Первый период развития микробиологии (XVIII в. и начало XIX в.) не выходил за пределы наблюдения и описания морфологии микроорганизмов. Первым исследователем, который попытался глубже проникнуть в структуру микробной клетки, был русский ботаник Л. С. Ценковский (1822—1887). Ему удалось обнаружить у микробов особые студенистые скопления — *зооглеи*, которые свойственны и водорослям. На этом основании Ценковский предложил отнести бактерии к миру растений.

Дальнейшее развитие эта наука получила в работах французского ученого Луи Пастера (1822—1895), которые положили начало изучению физиологии микроорганизмов и изучению деятельности микробов в природе. Пастер доказал микробиологическую природу различных брожений (спиртовое, уксуснокислое, молочнокислое и др.), которые до того считались процессами химическими. Пастер предложил освобождаться от вредных микробов путем термической обработки жидкостей, которая и до сих пор широко применяется в практике и называется *пастеризацией*.

Пастер исследовал некоторые болезни человека и животных и обнаружил, что возбудителями болезней являются различные микробы. Кроме того, он доказал, что можно предупредить болезнь введением в организм ослабленной культуры данного возбудителя. Этот прием широко используется в медицине под названием *предварительной прививки*.

Вслед за работами Пастера появились труды немецкого ученого микробиолога Роберта Коха (1843—1910). Ему окончательно удалось доказать, что заразные болезни вызываются различными болезнетворными бактериями. Кроме того, он указал приемы борьбы с распространением этих бактерий, которые легли в основу так называемой *дезинфекции*. Кохом были открыты возбудители туберкулеза, холеры, введены в практику микробиологических исследований плотные питательные среды, при помощи которых можно получать чистые культуры микроорганизмов.

Дальнейшее развитие микробиологии связано с целым рядом работ русских ученых: И. И. Мечникова (1845—1916), Н. Ф. Гамалеи (1859—1949), Д. И. Ивановского (1864—1920), С. Н. Виноградского (1856—1953) и В. Л. Омелянского (1867—1928).

Особенное значение имели работы Мечникова, который открыл защитные свойства организма — явление *фагоцитоза*, т. е. поглощение белыми кровяными тельцами (лейкоцитами) болезнетворных микробов, попавших в кровь. Мечников открыл иммунные свойства организма, т. е. невосприимчивость его к заразным заболеваниям. Им же создана теория, объясняющая преждевременное старение организма под влиянием ядов, вырабатываемых микробами в кишечнике во время переваривания пищи. Мечников предложил использовать в качестве «антагонистов» молочнокислые бактерии (болгарская палочка), которые в процессе своей жизнедеятельности подавляют развитие гнилостных бактерий, вызывающих отравление организма продуктами своей жизнедеятельности.

Эти наблюдения за антагонизмом и послужили основой для дальнейшей разработки учения об антибиотиках.

Процесс очистки загрязненных вод с помощью микроорганизмов по своему характеру близок к процессам превращения органических и минеральных веществ в почве. Поэтому следует остановиться на работах выдающихся русских почвоведов.

П. А. Костычев (1845—1895) доказал, что в образовании почвенного гумуса большую роль играют микроорганизмы. Им же изучен процесс накопления белковых веществ в почве, также связанный с жизнедеятельностью микробов.

С. Н. Виноградский сыграл большую роль в развитии микробиологии. Им были изучены серобактерии, железобактерии и нитрифицирующие бактерии, исследования которых дали результаты важного научного значения. Эти бактерии обладали способностью развиваться на средах, не содержащих органических веществ, и синтезировать составные части своего тела за счет углерода угольной кислоты. Необходимую энергию эти бактерии получают за счет биохимических процессов, протекающих при окислении азота аммонийных солей в нитриты и нитраты, или за счет окисления двухвалентного железа в трехвалентное. Такой своеобразный процесс синтеза органического вещества из угольной кислоты и воды называется *хемосинтезом*. Это явилось крупнейшим открытием в области физиологии микроорганизмов.

Позднее Виноградским был обнаружен свободноживущий анаэробный фиксатор свободного азота *Clostridium pasteurianum*. Многочисленные опыты с культурой выделенного микроорганизма на средах с различными формами связанного азота и с различными источниками углерода показали, что разложение 1 г сахара сопровождается усвоением 2,5—3,0 мг атмосферного азота, если среда не содержит связанных соединений азота. Если же последний входит в состав среды, то

азотфиксирующая активность этой бактерии падает, а затем и вовсе прекращается.

Позднее Бейеринку удалось выделить из состава почвенной микрофлоры и аэробный фиксатор азота — азотобактер. Наличие этих микробов в почве помогло объяснить ту прибыль азота в ней, которая постоянно наблюдается, но которая долгое время оставалась непонятой.

Много ценного в раскрытии сущности процесса разложения органических азотистых соединений внесли исследования В. С. Буткевича. Ему удалось показать, что накопление аммиака при процессах аммонификации строго координировано с наличием в среде углеводов. Если в среде углеводов нет, то микроорганизмы интенсивно используют белковые вещества в качестве материала для дыхания, а азот окисленных аминокислот накапливается в форме аммиака. Если же имеются углеводы, то белковые вещества используются в меньшей мере и накопление аммиака сильно падает, а иногда и вовсе не происходит. Эти закономерности весьма важны при сбрасывании осадков сточных вод.

Наряду с превращениями азотистых веществ особый интерес представляют превращения безазотистых веществ — целлюлозы. Минерализацией целлюлозы занимался В. Л. Омелянский. Ему удалось показать, что в почве встречается обильная микрофлора, разрушающая целлюлозу в анаэробных условиях.

В дальнейшее изучение анаэробного и особенно аэробного разложения клетчатки много нового внесли исследования А. А. Имшенецкого, В. В. Первозванного и других микробиологов.

Кроме разложения клетчатки внимание ученых привлекло и разложение других стойких органических соединений. Среди них наиболее важное значение для круговорота углерода в природе имеют углеводороды, жиры и близкие к ним соединения. Много внимания изучению процесса разложения соединений, содержащих углерод, было уделено русским исследователем В.О. Таусоном. Ему удалось выделить



бактерии, которые разлагают углеводороды нефти: бензин, керосин, различные парафины, а также бензол, ксилол, кумол, фенантрен и др. Все эти соединения оказались хорошими источниками углерода для многих групп бактерий.

При дальнейшем изучении бактерий, усваивающих углеводы, было показано (В. С. Буткевич, Г. А. Могилевский), что некоторые из них могут быть использованы даже в качестве биологических индикаторов при разведке горючих газов и нефти.

### **1.3. Систематизация микроорганизмов. Морфология**

Простейшие (*Protozoa*). Это одноклеточные организмы животного происхождения. Большинство из них в сотни раз больше многих бактерий. Они, как и все животные, лишены твердой оболочки, но имеют мягкую или гибкую и относительно хрупкую внешнюю клеточную мембрану. Чаще всего она состоит из хитина или родственных ему соединений и не содержит целлюлозы.

Под оболочкой простейших находятся обособленное ядро и цитоплазма. В цитоплазме содержатся вакуоли, выполняющие различные функции. Так, пищеварительная вакуоль выполняет роль желудка. Из нее растворенные питательные вещества просачиваются в цитоплазму и расходуются организмом на жизненные процессы. В других вакуолях накапливаются продукты обмена веществ, подлежащие выделению. В цитоплазме обнаруживаются также гранулы с запасными питательными веществами, которые расходуются организмом при их недостатке.

Простейшие дышат растворенным в воде кислородом. Вредные вещества (двуокись углерода и др.) выводятся из организма через всю поверхность и через сократительную вакуоль.

Простейшие лишены сложно дифференцированных органов чувств, но они чувствительны к действию теплоты, света, различных химических веществ, а также к действию силы тяжести и электричества. Большинству

простейших свойственен голозойный способ питания. Они заглатывают плотные частицы пищи, переваривают и превращают их в растворимые вещества, за счет которых питается клетка или клетки организма. Простейшие размножаются путем деления клетки пополам. Для жгутиковых характерно продольное деление, а для ресничных — поперечное. Каждая часть клетки обладает всеми физиологическими свойствами и генетическими потенциями родительской клетки. У некоторых простейших имеется также половой способ размножения.

Ряд простейших при попадании в неблагоприятные условия превращается в *цисты*, имеющие плотную оболочку, за счет которой приобретают устойчивость к воздействию вредных факторов окружающей среды. Цисты могут существовать без влаги в течение нескольких лет. После высыхания прудов и рек они разносятся ветром в различных направлениях, заражая почву и открытые водоемы. Например, в воде и других объектах внешней среды цисты дизентерийных и кишечных амёб способны переживать до 3—4 месяцев.

Среди простейших существуют патогенные микроорганизмы — возбудители малярии, амёбной дизентерии и других заболеваний.

В активном иле и биопленке встречаются представители саркодовых (*Sarcodina*), бесцветных жгутиковых (*Flagellata*), ресничных инфузорий (*Ciliata*) и сосущих инфузорий (*Suctoria*).

Класс *Sarcodina*. Представителем этого класса является обыкновенная амёба. Она встречается в загрязненной воде на дне, в иле. Это бесцветный студенистый комочек, постоянно меняющий свою форму. Тело амёбы состоит из полужидкой цитоплазмы с заключенным в ней небольшим пузыревидным ядром. По направлению движения амёбы на ее теле появляются выросты — ложноножки, с помощью которых она передвигается путем перемещения в них содержимого клетки. Ложноножками амёба захватывает пищу (бактерий, водорослей, простейших), которая переваривается в питательной вакуоли, а затем

переводится в цитоплазму, где используется для построения клетки. Продукты обмена и избыточная влага выводятся из организма через всю поверхность тела и через сократительную вакуоль. Размножается амеба делением. Амебы образуют цисты.

Класс *Mastigophora*. К этому классу относятся бесцветные жгутиковые инфузории (Flagellata) и окрашенные формы, например, *Euglena*. Flagellata имеют более или менее постоянную форму тела. Они питаются бактериями. Размножаются делением клетки пополам. Развиваются в присутствии значительного количества органических веществ и бактерий.

Для этой группы характерно наличие на переднем конце тела одного (Oicomonas), двух (Bodo) или многих (Trepomonas) жгутиков — эластичных протоплазматических нитей, с помощью которых они перемещаются в среде. Клетки Oicomonas имеют на одном конце тела углубление в виде губ, на другом конце клетки вырост, вытянутый в ножку, с помощью которой он прикрепляется к твердому предмету. Жгутик совершает непрерывно колебательные движения, способствующие перемещению организма. Прикрепленные клетки с помощью жгутика получают пищу, которая поступает с потоком воды к переднему концу

Клетки *Bodo* перемещаются за счет колебательного движения жгутика, направленного вперед, второй жгутик направлен назад и выполняет роль руля или стебелька, которым прикрепляется к твердому предмету.

Клетки *Trepomonas* имеют волнообразно изогнутую, сплюсненную форму тела. На каждой стороне по ротовому отверстию с четырьмя жгутиками. Клетка содержит два вытянутых ядра и одну сократительную вакуоль.

Зеленая эвглена (*Euglena*) подобно обыкновенной амебе обитает в стоячей воде. Тело эвглены имеет вытянутую форму. Наружный слой цитоплазмы плотный, поэтому этот организм почти не изменяет форму при движении. Эвглена может слегка сокращаться, становясь при этом короче и

шире. На одном конце у эвглени есть вырост цитоплазмы — жгутик, с помощью которого она перемещается в среде.

Цитоплазма эвглени содержит ядро и многочисленные (более двадцати) зеленые овальные хлоропласты, придающие ей зеленый цвет. В хлоропластах содержится хлорофилл, с помощью которого этот организм фотосинтезирует клеточное вещество, как растения. Но хлорофилл исчезает, когда эвглена попадает в темноту. В новых условиях она усваивает растворенные органические вещества. Следовательно, этот организм на свету проявляет признаки растения, в темноте — животного. Продукты обмена и избыточная влага выводятся из организма через сократительную вакуоль. Размножается эвглена простым делением. Образует цисты.

Класс *Ciliata*. Ресничные инфузории весьма разнообразны по форме, расположению и количеству ресничек, способам питания и образу жизни. Их насчитывается более 3000 видов. Пищей большинству инфузорий служат бактерии, мелкие водоросли, другие простейшие, в том числе и инфузории. Многие инфузории ведут паразитический образ жизни в организмах человека, животных и рыб.

Тело простейших состоит из одной клетки, но организм этот имеет сложное строение, как, например, у *Paramecium caudatum*, живущей в сточных водах. Инфузория-туфелька, или парамеция, имеет постоянную форму из-за упругого плотного наружного слоя цитоплазмы (хитиновой оболочки). Все тело туфельки покрыто продольными рядами многочисленных мелких ресничек. Они совершают волнообразные движения, и с их помощью туфелька перемещается в среде. У одного из концов туфельки расположено ротовое отверстие, ведущее в короткую трубчатую глотку, куда пища поступает с помощью более крупных ресничек, расположенных вокруг рта. Пища из глотки поступает в пищеварительную вакуоль, где происходит переваривание и всасывание питательных веществ. Непереварившиеся остатки выводятся наружу через анальную пору—

порошицу. Сократительные вакуоли, расположенные в цитоплазме, собирают жидкие продукты обмена и выбрасывают их наружу. Парамеции размножаются как бесполом путем (простое деление), так и половым.

Среди ресничных инфузорий распространен метод введения в организм пищи путем осаждения (седиментации) взвеси. Их называют *седиментаторами*. У этих организмов имеется рот, расположенный в углублении, куда осаждается взвесь, приносимая током воды. Для направления, а также для сортировки пищевых частиц по величине, форме, виду у седиментаторов развивается сложная ресничная аппаратура, которая представляет собой органеллы движения, соответствующим образом видоизмененные для целей добывания пищи.

Простейшие встречаются всюду в сточных водах, иле, испражнениях, почве, пыли, воде рек, озер, океанов, на очистных сооружениях, работающих в аэробных условиях. Они принимают активное участие в минерализации органических веществ в естественных и искусственных условиях очистки природных и сточных вод. Но следует помнить, что некоторые простейшие являются возбудителями заболеваний человека и животных.

Коловратки (*Rotatoria*) Коловратки являются представителями животного мира и имеют более сложное строение, чем простейшие.

Коловратка покрыта прозрачным, но крепким панцирем, который сверху кончается шестью правильными симметричными шипами со спинной стороны и двумя — с брюшной. В широкое переднее отверстие панциря выходит головной конец, увенчанный ресничным коловращательным аппаратом, реснички которого находятся в постоянном движении. Снизу панцирь заканчивается узким отверстием, из которого выходит нога коловратки, представляющая собой мускульный вырост с членистой хитиновой оболочкой. Нога оканчивается двумя пальцами, у основания которых имеются железы, выделяющие клейкие вещества. При помощи их коловратка может прикрепляться к субстрату.

Пищеварительная система состоит из рта, переходящего в ротовую полость, которая, расширяясь, переходит в мускульную глотку, представляющую собой жевательный аппарат, перемалывающий пищу. Глотка переходит в узкий пищевод и желудок. Желудок впадает в узкую кишку, которая соединяется с выделительными органами.

Кровеносная и дыхательная система у коловраток отсутствует.

По способу добывания пищи коловратки относятся к седиментаторам. Прикрепленные организмы движением ресничек создают винтообразное движение воды в форме воронки, направленной узким концом в рот животного. По такой воронке попадают бактерии, простейшие и органические вещества. У большинства коловраток имеются глаза в виде красных пятен.

Коловратки — аэробы, чувствительны к недостатку кислорода. Предельно высокой температурой для них является 50°C. При неблагоприятных условиях животное образует цисты (при этом голова и нога втягиваются в панцирь). Коловратки чувствительны к изменению активной реакции среды. Они являются показательными организмами, характеризующими работу очистных сооружений в аэробных условиях.

Водоросли. Термин водоросли охватывает обширную группу организмов, относящуюся к низшим растениям, содержащим хлорофилл и имеющую примитивное строение тела, не расчлененное на стебель, листья и корень, как у высших растений. Из-за наличия в них хлорофилла, зеленого пигмента, они окрашены в зеленый цвет. Но в некоторых случаях этот цвет искажается от присутствия в клетках добавочных пигментов, таких, например, как фикоциан (синего цвета), фикоэритрин (красного цвета), каротин (оранжевый), ксантофилл (желтый) и др. В зависимости от количества тех или иных пигментов водоросли имеют различные окраски.

По своему строению водоросли могут быть одноклеточными, многоклеточными и колониальными формами. Некоторые из них имеют

клетку без плотной оболочки и лишь с уплотненным внешним слоем протоплазмы, вследствие чего обладают способностью изменять свою форму. Другие же характеризуются плотной оболочкой, большей частью состоящей из целлюлозы. Часто в состав оболочки входят пектиновые вещества. У некоторых групп оболочка сильно пропитана известью или кремнеземом. Одни клетки содержат одно или несколько ядер, другие типичного ядра не имеют, лишь в протопласте заметна окрашенная периферическая часть и неокрашенное центральное тело. У некоторых водорослей красящие вещества находятся в особых плазмменных телах различной формы, которые называются *хроматофорами*. Большой частью в хроматофоры бывают включены плотные тельца — пиреноиды, богатые белковыми веществами. Вокруг пиреноидов отлагается крахмал, являющийся одним из продуктов ассимиляции. Запасными питательными веществами служат масла, жиры, лейкозин, маннит и глюкоза.

Многие одноклеточные — преимущественно подвижные формы имеют красный глазок и пульсирующие вакуоли.

Размножаются водоросли вегетативным, бесполом и половым путем. При вегетативном размножении клетка делится пополам в продольном, поперечном или косом направлениях.

При бесполом размножении протопласт материнской клетки делится на несколько частей, которые развиваются самостоятельно в новые клетки.

Главным местом обитания водорослей являются водоемы. Их развитие связано с сезонами года, наличием питательных веществ и солевым составом среды. Например, в одном и том же водоеме наблюдается смена комплексов водорослей. Зимой и весной развиваются диатомовые, а летом зеленые и сине-зеленые водоросли. В осенний период снова наступает развитие диатомовых и подавляется развитие зеленых и сине-зеленых водорослей.

Зеленые водоросли (*Chlorophyceae*) —самый распространенный тип водорослей. У большинства видов этих водорослей клетки имеют целлюлозную оболочку, вакуоль с клеточным соком, дифференцированное ядро и хроматофоры чашевидной, лентовидной, пластинчатой, зернистой форм. Зеленые водоросли содержат те же пигменты, что и высшие растения, т. е. хлорофилл и каротин. Размножение половое и бесполое с образованием подвижных зооспор. Формы клеток *Chlorophyceae* разнообразны. Бывают шаровидные, полулунные, серповидные, треугольные, неправильной формы с разнообразными выростами. Большинство *Chlorophyceae* представляет собой одноядерные формы.

К классу *Chlorophyceae* относятся протококковые (*Prolococijneae*) водоросли. Организмы зеленого цвета, одноклеточные, одиночные или колониальные, неподвижные в вегетативном состоянии. У некоторых родов состоят из постоянного числа клеток. Продуктом ассимиляции является крахмал. К простейшим представителям протококковых относится *Chlorella vulgaris*.

В состав зеленых водорослей входят также водоросли порядка вольвоксовых. Большая часть этих организмов покрыта оболочкой, состоящей из пектинового и целлюлозного вещества. Хроматофор чисто зеленого цвета, постенный, чашеобразный с утолщенным основанием, покрывает нижнюю часть клетки. Иногда хлорофилл замаскирован гематохромом и водоросль имеет красную окраску, например *Chlamydomonas nivalis*, обитающая в полярных областях и окрашивающая снег в красный цвет. Клетки имеют разнообразные формы: овальные, грушевидные, яйцевидные, веретеновидные и т.д. У основания жгутиков расположены две пульсирующие вакуоли. Вольвоксовые водоросли являются широко распространенной группой. Они встречаются в водоемах с чистой и грязной водой, с медленным и быстрым течением. Часто они встречаются во временных водоемах —



различных ямах, лужах, наполняющихся после дождя. Встречаются на почве. Часть из них относится к сапрофитам.

Диатомовые водоросли (*Diatomeae*). Оболочка клеток диатомовых водорослей состоит из двух половинок, находящихся одна на другую своими краями. Обе половинки не срастаются друг с другом, поэтому могут раздвигаться. Протоплазма располагается обычно тонким слоем вдоль стенок, образуя у многих видов в середине клетки протоплазматический мостик. Остальное пространство клетки заполнено клеточным соком. Ядро одно. Хроматофоры разнообразны по форме: в виде зернышек, пластинок и т. д.

Диатомовые водоросли широко распространены в природе и достигают массового развития в пресной и соленой водах. Диатомовые водоросли группы *Pennales* встречаются преимущественно среди обрастаний и в грунте. Они прикрепляются к субстрату при помощи студенистых стебельков или створкой, снабженной шипом. Диатомовые водоросли имеют большое хозяйственное значение. Они являются пищей для водных животных.

Грибы. Они относятся к бесхлорофильным растениям, поэтому не нуждаются в солнечной энергии. Грибы, образующие преимущественно нитевидные формы (мицелий), называются плесенями. Плесень — это очень длинные разветвленные, напоминающие волосы нити или гифы, которые при росте образуют видимые невооруженным глазом массы, так называемый мицелий. Грибы, развивающиеся преимущественно в виде одноклеточных элементов, называются дрожжами. Резко разграничить дрожжи от плесени нельзя. Некоторые из них могут расти и в виде дрожжеподобных клеток, и в виде нитей с образованием мицелия. Это явление зависит от внешних условий среды. Например, низкие температуры благоприятствуют образованию плесени, тогда, как некоторые вещества, входящие в состав питательных сред (кровь, глюкоза, соединения, содержащие группу — SH), и отсутствие кислорода (анаэробноз)

благоприятствуют развитию дрожжеподобных клеток. Существуют различные вещества (сивушные масла, ионы кобальта, камфора и др.), способствующие переходу из дрожжеподобной формы в нитевидную.

Дрожжи и плесени отличаются от простейших наличием толстой твердой клеточной оболочки (у дрожжей оболочка состоит из целлюлозы, а у плесеней — из хитина или родственных ему веществ), способом питания, отсутствием подвижности, вегетативным способом роста (рост происходит непрерывно независимо от размеров) и характерной морфологией.

Дрожжи и плесени обладают высокой ферментативной активностью, что используется в промышленности и санитарной технике. Некоторые виды дрожжей вызывают брожение с выходом ценных продуктов (например, спиртов, ацетонов и т. д.), а другие разрушают органические вещества растительных и животных остатков. Плесени используются для получения антибиотиков.

#### **1.4. Строение и состав бактериальной клетки**

Бактериальная клетка состоит из цитоплазмы, ядерного вещества, различных по химическому составу включений, окруженных снаружи оболочкой - цитоплазматической мембраной.

По особенностям строения ядерного аппарата (ядра), основу которого составляет дезоксирибонуклеиновая кислота (ДНК), среди микроорганизмов выделяются *прокариоты* (истинные бактерии, актиномицеты, цианобактерии) и *эукариоты* (грибы, дрожжи, простейшие, микроскопические водоросли, а также миксобактерии). У эукариотов имеется ядро, внутри которого заключена ДНК. Ядро отделено от цитоплазмы ядерной мембраной. Основным отличительный признак прокариотов - отсутствие такого ядра. Молекула ДНК в виде нити, замкнутой в кольцо, расположена непосредственно в цитоплазме. Цитоплазматическая мембрана, окружающая цитоплазму, обладает избирательной проницаемостью, то есть пропускает

внутри клетки питательные вещества и выводит наружу продукты жизнедеятельности клетки. Цитоплазматическая мембрана вплотную примыкает к клеточной оболочке, которая придает клетке определенную форму и защищает бактериальную клетку от воздействия неблагоприятных условий. Толщина ее - около 0,02 мкм.

Важнейшими химическими элементами, входящими в состав клеток микроорганизмов, являются *O, H, C, N, P, S, K, Ca, Mg, Fe, Cu* и др. Первые 4 элемента называются органогенами, они составляют основу органического вещества. При сжигании органического вещества эти элементы выделяются в виде газообразных продуктов  $CO_2$ ,  $H_2O$ ,  $NH_3$ . Все другие элементы остаются в золе и называются зольными (или минеральными) элементами. В состав бактериальной клетки химические элементы входят в виде воды, белков, жиров, углеводов.

Вода составляет 80-85% массы микроорганизмов. Часть воды находится в связанном состоянии с коллоидами клетки. Другая ее часть служит растворителем различных соединений, выделяемых клеткой в процессе обмена веществ. Белки микробной клетки состоят из тех же аминокислот, что и белки животных и растений. Наибольшее значение из них имеют нуклеопротеиды, играющие важную роль в процессе роста, размножения микроорганизмов и участвующие в передаче наследственных признаков. Кроме белков, в состав органических соединений клетки входят углеводы, представленные в основном полисахаридами, а также липиды. Все основные соединения, входящие в состав бактериальной клетки, должны быть и в составе питательной среды.

Биохимические процессы, протекающие в организме бактерий, совершаются только при участии ферментов - энзимов. Функция минеральных элементов в основном сводится к активации различных ферментов. Железо, например, необходимо для синтеза фермента каталазы, медь входит в состав полифенолоксидазы.

## РАЗДЕЛ 2. ОБЩАЯ ФИЗИОЛОГИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ. ВЗАИМООТНОШЕНИЯ С ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДОЙ

### 2.1. Физиология микроорганизмов

#### 2.1.1. Подвижность бактерий

Способность передвигаться обусловлена наличием у бактерий жгутиков, которые являются цитоплазматическими выростами. Жгутиками обладают большинство спирихет, спирилл, вибрионов, часть бактерий. По расположению жгутиков подвижные микроорганизмы делятся на *монотрихи* (один жгутик), *амфитрихи* (по одному жгутику на каждом полюсе клетки), *лофотрихи* (пучок жгутиков на одном полюсе клетки) и *перитрихи* (жгутики расположены на всей поверхности клетки). Толщина жгутиков - от 10 до 20 мкм, длина - до 20 мкм. Способность к передвижению позволяет бактериям находить наиболее благоприятные условия для развития, уходить от опасности, интенсифицировать процесс обмена веществ.

#### 2.1.2. Размножение микроорганизмов

Достигнув определенной величины, клетка перестает расти и подвергается делению. Для подавляющего большинства микроорганизмов характерно равновеликое *бинарное поперечное деление*, но может быть и *почкование*.

При бинарном поперечном делении клетка сначала удлиняется, затем делится нуклеоид (бактериальная хромосома) Этот процесс называется репликацией ДНК, при нем происходит удвоение числа молекул ДНК в клетке, что позволяет вновь образующейся (дочерней) клетке получать тождественную материнской клетке по последовательности нуклеотидов молекулу ДНК. Затем образуется делящая перегородка. При непрерывном притоке питательных веществ и удалении продуктов обмена клетка делится каждые 20 - 30 мин, поэтому потомство одной клетки через 12 часов может достигнуть нескольких миллионов. Но размножение бактерий в природных

условиях связано с недостатком пищи, влаги, света, тепла, вследствие чего одновременно с размножением происходит гибель бактериальных клеток.

Почкование происходит путем образования почки, которая по величине меньше исходной клетки.

Некоторые палочковидные бактерии (бациллы) обладают способностью к спорообразованию - сохранению вида, попавшего в неблагоприятные для него условия. Внутри клетки образуется спора - особое образование круглой или эллипсоидальной формы, одетое плотной оболочкой, ограничивающей обмен споры с внешней средой. После созревания споры клеточная оболочка постепенно разрушается и спора освобождается из клетки. Кипячение, морозы, высушивание, солнечные лучи, химические яды не действуют на споры, благодаря чему они способны сохраняться в жизнеспособном состоянии в течение нескольких лет. В благоприятных условиях спора набухает, прорастает и вегетативная клетка выходит наружу.

### 2.1.3. Питание микроорганизмов

У бактерий нет специальных органов пищеварения. Необходимые питательные вещества попадают в клетку путем осмотического всасывания всей поверхностью через мельчайшие поры клеточной оболочки. Для проникновения через поры клетки питательные вещества должны быть расщеплены до молекулярного состояния. Такое размельчение питательных веществ осуществляется ферментами, которые микроорганизмы выделяют в окружающую среду. Типы питания микроорганизмов чрезвычайно разнообразны, но особенно характерно отношение их к основным элементам-органогенам - азоту и углероду.

По способу питания микроорганизмы делятся на три основные группы: *автотрофы*, *гетеротрофы* (они также называются метатрофами, сапрофитами) и *паратрофы*.

*Автотрофные* микроорганизмы используют для питания углерод неорганических соединений - углекислого газа и карбонатов. Необходимую для жизнедеятельности энергию они получают при фотосинтезе (зеленые

растения, пурпурные серные бактерии) и хемосинтезе (нитрифицирующие и тионовые бактерии, бесцветные серобактерии).

В отличие от автотрофных *гетеротрофные* микроорганизмы нуждаются в готовых органических соединениях - углеводородах, спиртах, органических кислотах. К ним относятся все микроорганизмы, разлагающие органические вещества в воде, в почве, участвующие в биологической очистке сточных вод.

*Паразитные* бактерии (или паразиты) нуждаются в органических веществах живого организма. К ним относятся все болезнетворные микроорганизмы, включая вирусы, вызывающие заболевания человека, животных, растений.

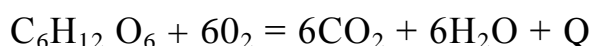
Важнейшим элементом для синтеза органических веществ клетки является азот. По отношению к источнику азота микроорганизмы делятся на аминоавтотрофы, усваивающие азот из минеральных соединений (аммонийных солей), и аминокетотрофы, нуждающиеся в готовых азотосоединениях (белках, аминокислотах, пуринах, пиримидинах).

#### 2.1.4. Обмен веществ и процессы дыхания у бактерий

Основу жизнедеятельности микроорганизмов, как и всех живых существ, составляет обмен веществ (*метаболизм*) - совокупность превращений химических веществ в клетке. В результате ряда превращений из простых питательных веществ среды строятся сложные органические вещества микробной клетки. Этот процесс называется *анаболизмом* (ранее он назывался ассимиляцией), или строительным (конструктивным) обменом. Для его осуществления, а также для поддержания других жизненных функций (роста, размножения, движения и пр.) микроорганизмам необходим постоянный приток энергии, которую они получают в результате распада поступающих в клетку питательных веществ. Этот процесс называется *катаболизмом* (ранее - диссимиляцией), или энергетическим обменом. Анаболизм и катаболизм в совокупности составляют обмен веществ в организме клетки в целом.

*Дыханием* в микробиологии называется процесс биологического окисления, сопровождающийся выделением энергии. Сущность процесса дыхания заключается в отщеплении водорода (дегидратации) ферментом дегидрогеназой от органических субстратов и передаче этого водорода акцептору. В зависимости от того, какое вещество служит акцептором, различают *аэробный* и *анаэробный* типы дыхания.

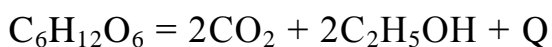
Если акцептором водорода является молекулярный кислород, то эти микроорганизмы имеют аэробный тип дыхания и нуждаются в кислороде:



глюкоза

У анаэробных микроорганизмов акцептором водорода служат молекулы органических веществ с ненасыщенными связями. Такой тип дыхания называется брожением. Типы брожений получают название по конечным продуктам:

спиртовое брожение глюкозы:



уксуснокислое брожение:



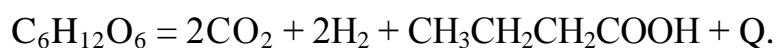
метановое брожение:



молочнокислое брожение:



маслянокислое брожение:



Анаэробные микроорганизмы осуществляют брожение без доступа свободного кислорода с помощью эндоферментов, в результате чего выделяется гораздо меньше энергии, чем при аэробном дыхании. Различают облигатных (строгих, безусловных) анаэробов (например маслянокислые бактерии), для которых кислород вреден, и факультативных анаэробов,

которые могут жить и в присутствии кислорода, и без него. К факультативным анаэробам относятся молочнокислые бактерии, дрожжи.

## **2.2 Факторы влияния окружающей среды на микроорганизмы и их адаптация к этим факторам**

Микроорганизмы существуют всюду, где есть условия, способствующие их развитию, а именно: достаточная влажность, питательные вещества и определенная температура, допускающая проявление жизненной активности. Следовательно, существование микробов определяется многообразием факторов естественной среды их обитания, которые называются экологическими. Эти факторы могут быть разделены на *физические* (температура, лучистая энергия, концентрация растворов в среде и ее осмотическое давление, влажность), *химические* (активная реакция среды и ее химический состав), *биологические* (взаимоотношения с другими организмами).

### **2.2.1. Физические факторы**

Температура. Проявление жизненной активности у микробов чаще всего протекает в интервалах температур от 0 до 80°C, а для большинства бактерий - от 3 до 45°C. По отношению к температуре микроорганизмы делятся на 3 группы, *психрофильные*, развивающиеся при температурах от -8 до +10°C, *мезофильные* - от +25 до +40°C; *термофильные* - от +40 до +60°C. Психрофилы обитают в почве полярных стран, воде северных морей. Термофилы - в горячих источниках, самонагреваемых скоплениях органических веществ (сене, навозе) К ним же относятся микроорганизмы биологических очистных сооружений (метантенков). Большинство распространенных в почве и воде микроорганизмов, а также большинство микроорганизмов, участвующих в процессе биологической очистки сточных вод, относятся к мезофилам.

Высокие температуры губительны для микроорганизмов. Большинство вегетативных микробных клеток погибает в течение 15-30 мин при



нагревании до +60 ... +70°C и в течение 1-3 мин при нагревании до +80 ... +100°C. Споры погибают при поддержании 120°C в течение 20 - 30 мин. Губительное действие высоких температур на микроорганизмы используется для дезинфекции различных медицинских инструментов и материалов, препаратов, вводимых в кровь и в живые ткани.

Для сохранения различных пищевых продуктов применяют пастеризацию, которую проводят при 80 - 90°C в течение нескольких минут. При этом погибают вегетативные клетки, а споры остаются. При такой обработке сохраняется питательная ценность продукта, так как не разрушаются витамины.

При пониженной температуре не наступает гибели микроорганизмов, лишь снижаются или совсем приостанавливаются жизненные процессы, а микроорганизмы переходят в состояние анабиоза.

Лучистая энергия. Наибольшее неблагоприятное влияние на бактерий оказывают ультрафиолетовые лучи, длина волн которых равна 2000 -3000 А. Они вызывают гибель бактерий и спор в течение минутного облучения. Лучи с длиной волн до 8000 А (видимая часть спектра) оказывают меньшее бактерицидное действие, а инфракрасные лучи (свыше 8000 А), безвредны. В практике применяют бактерицидные ультрафиолетовые лампы для дезинфекции воздуха в лечебных учреждениях, при микробиологических исследованиях. Кроме того, УФ-лучи применяют для дезинфекции питьевой воды плавательных бассейнов.

Осмотическое давление. Высокой приспособленностью к повышенной солености и осмотическому давлению обладают микроорганизмы, живущие в морях. Особенно ярко это выражается у микроорганизмов солончаковых почв и соленых озер, называемых галофильными: они растут при содержании соли в среде от 13 до 25 %. Нормальная жизнедеятельность микроорганизмов протекает лишь при оптимальных концентрациях растворенных веществ в среде. Оптимальной же концентрацией для обмена веществ большинства микроорганизмов является 0,5 - 1 % солей в среде. В таком растворе клетка

микроорганизмов находится в состоянии тургора - цитоплазма плотно прилегает к клеточной стенке. При более высокой концентрации солей происходит плазмолиз клетки - она обезвоживается, цитоплазма отходит от клеточной стенки. В состоянии плазмолиза в клетке не происходят процессы питания, размножения. Это состояние клетки называется анабиозом. На анабиозе основано консервирование с помощью сахара или соли путем создания высокой концентрации указанных продуктов, т.е. путем резкого повышения осмотического давления среды.

Влажность. Вода необходима микроорганизмам для процесса питания, поэтому высушивание препятствует развитию микроорганизмов. Минимальная влажность субстрата, при которой возможно развитие бактерий, - 20 - 30 %, для плесеней - 13 - 15 %. При высушивании бактерии не гибнут, а впадают в состояние анабиоза и способны длительное время сохраняться при этих условиях. Так, возбудители туберкулеза устойчивы к высушиванию и способны длительное время сохраняться в высохшей мокроте туберкулезных больных.

На способности бактерий и дрожжей хорошо переносить длительное высушивание основаны способы приготовления сухих заквасок, используемых в процессах получения молочнокислых продуктов, пивоварения, хлебопечения.

#### 2.2.2. Химические факторы

Активная реакция среды. Реакция среды - это водородный показатель рН, отражающий степень ее кислотности ( $\text{pH} = 1-7$ ) или щелочности ( $\text{pH} = 7-14$ ). Для роста большинства бактерий оптимальная величина рН - около 7. Изменение рН в любую сторону от оптимального значения изменяет заряд клеточных коллоидов, влияет на проницаемость мембраны, на активность ферментов, т.е. вызывает изменение направления метаболизма клеток.

В природе встречаются среды с низкими значениями рН (3 - 4) - некоторые болота, озера. Еще более низкие значения рН характерны для шахтных и рудничных дренажных вод. В таких кислых средах развиваются

ацидофильные микроорганизмы, например *Thiobacillus thiooxidans* и *Thiobacillus ferrooxidans*.

Высокое значение рН встречается в щелочных почвах, в местах скопления экскрементов животных. Бактерии, оптимум развития которых лежит в зоне рН = 9 - 10,5, называются *алкалофильными*. К ним относятся *Bacillus pasteurii*, *Streptococcus faecalis*.

Хотя микроорганизмы могут жить при разных рН, реакция внутри их клетки всегда поддерживается близкой к нейтральной. Это достигается благодаря наличию в цитоплазме буферных систем и низкой проницаемости цитоплазматической мембраны для Н\*.

Химический состав среды. Химические вещества по действию на микробов разделяются на стимулирующие и тормозящие рост микроорганизмов. Это явление называется положительным и отрицательным хемотаксисом.

К стимулирующим веществам в первую очередь относятся витамины, а также бензойная и пантотеновая кислоты. Витамины синтезируются различными растительными и животными организмами, а также многими микроорганизмами. Однако не все микроорганизмы способны синтезировать все витамины, необходимые им для нормального роста, например никотиновую кислоту (витамин РР), тиамин (витамин В<sub>1</sub>), рибофлавин (витамин В<sub>2</sub>), биотин (витамин В<sub>7</sub>). При отсутствии одного из этих витаминов в среде микроорганизмы не растут вовсе, а при недостаточном количестве рост их замедляется.

Благодаря потребности микробов в определенных витаминах они используются в качестве своеобразных индикаторов для качественного и количественного определения витаминов в различных субстратах. Так как витамины присутствуют в различных продуктах в чрезвычайно малых количествах, то химические методы определения их весьма затруднены, вследствие чего в настоящее время широкое применение нашел микробиологический метод определения витаминов.

К тормозящим рост микробов веществам относятся разнообразные соединения, называемые антисептиками. Из неорганических соединений особенно ядовиты соли тяжелых металлов (ртути, меди, серебра, цинка), а также окислители (хлор, озон, иод, перекись водорода, марганцовоокислый калий). Из органических соединений антисептиками являются фенол, крезол, формалин, спирты. Действие антибиотиков объясняется коагуляцией белков цитоплазмы.

### 2.2.3 Биологические факторы

В естественных условиях обитания микроорганизмы существуют совместно с другими микроорганизмами, растениями и животными, образуя сложные сообщества - *биоценозы*, представляющие собой организованную систему с многообразными типами взаимоотношений между представителями отдельных видов<sup>2</sup>. Основными типами взаимоотношений между группами организмов являются симбиоз и антагонизм.

Примером симбиоза могут служить отношения между бобовыми растениями и клубеньковыми бактериями *Rhizobium lupini*, *R. meliloti*, *R. trifoli*, *R. phaseoli*, образующими на корнях растений клубеньки и фиксирующими атмосферный азот. Растение снабжает микроорганизмы необходимой им углеродистой пищей, а от них получает усвояемые соединения азота. В молочнокислых заквасках используются дрожжи и молочнокислые бактерии *Lactobacillus lactis*, *L. bulgaricus*, *L. casei*, *L. brevis*, *Streptococcus lactis*, *S. diacetylactis*. Молочная кислота создает pH, благоприятный для развития дрожжей, а витамины, синтезируемые дрожжами, стимулируют развитие молочнокислых бактерий

Антагонизм выражается в виде неблагоприятного воздействия одного вида микроорганизмов на другой, приводящего к повреждению или гибели последнего. Примером микробов-антагонистов являются молочнокислые и гнилостные бактерии. Молочнокислые бактерии вырабатывают молочную кислоту, создающую кислую реакцию, препятствуя этим развитию гнилостных бактерий.

Между растениями и микроорганизмами также существуют антагонистические отношения. Некоторые растения для защиты от микробов вырабатывают специальные летучие вещества - фитонциды. Наиболее интенсивно эти вещества выделяют лук, чеснок, хрен, хвойные деревья.

Часто антагонизм проявляется между плесенями и бактериями. Плесени выделяют особые вещества, называемые антибиотиками, которые подавляют развитие многих бактерий. В настоящее время антибиотики являются одним из эффективнейших лекарственных препаратов.

Существует третий вид взаимоотношений - паразитизм, при котором совместное существование одному из симбионтов приносит выгоду, а другому причиняет вред. Все бактерии, вызывающие заболевания растений и животных, являются паразитическими.

### **2.3. Участие микроорганизмов в превращении веществ**

Круговорот биогенных элементов в биосфере представляет собой переход их из минеральной формы в живую материю и обратно за счет множества биохимических превращений. Характерное время биологического оборота запасов питательных веществ в окружающей среде оценивается в 10 лет.

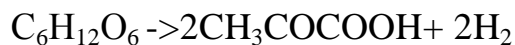
Основная роль в круговороте различных элементов в биосфере, в деструкции органических соединений принадлежит бактериям. Только микроорганизмы способны использовать стойкие химические соединения, недоступные другим живым организмам. Ведущая роль микроорганизмов в процессах превращения веществ объясняется их широким распространением и чрезвычайно интенсивным обменом.

#### **2.3.1. Круговорот углерода**

Биологический круговорот углерода включает два противоположно направленных процесса: синтез органических веществ из углекислоты и расщепление органических соединений до углекислого газа и воды. Огромную роль в круговороте углерода в природе играют процессы

брожения, осуществляемые микроорганизмами. Благодаря брожению происходит превращение сложных органических углеродсодержащих соединений в более простые. Чаще всего исходными продуктами брожения являются полисахариды, или гексозы, а конечными - органические кислоты или спирты. Процессы брожения называются по тем конечным продуктам, которые образуются в результате этого процесса. Наиболее распространенными и изученными являются молочнокислое, спиртовое, маслянокислое, ацетонэтиловое, ацетонобутиловое брожения. К брожениям относится также анаэробное разложение клетчатки, носящее название не по конечному, а по начальному продукту.

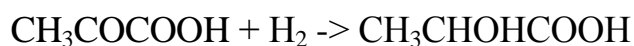
Химизм этого процесса в начальной стадии одинаков для всех типов брожения. Путем перестройки молекулы гексозы, связанной с участием целой группы микробных ферментов, а также фосфорной кислоты, происходит постепенное превращение ее в пировиноградную кислоту:



Два атома водорода в дальнейшем ходе брожения либо присоединяются к промежуточному продукту брожения, либо выделяются в молекулярной форме.

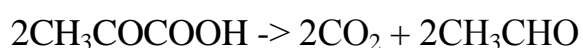
Дальнейшее превращение пировиноградной кислоты происходит следующим образом:

1) молочнокислое брожение завершается образованием молочной кислоты из пировиноградной, причем последняя, восстанавливаясь, служит акцептором водорода:

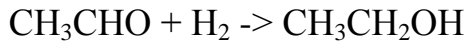


молочная кислота

2) при спиртовом брожении происходит расщепление пировиноградной кислоты на уксусный альдегид и углекислоту, уксусный альдегид служит конечным акцептором водорода; таким образом, спиртовое брожение заканчивается образованием этилового спирта и углекислого газа:

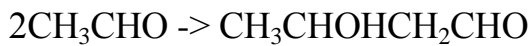


уксусный альдегид



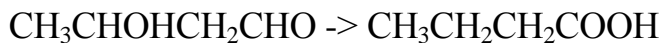
этиловый спирт

3) при маслянокислом брожении сначала происходит образование из пировиноградной кислоты уксусного альдегида и углекислого газа. Далее уксусный альдегид подвергается конденсации и образуется альдегид оксимасляной кислоты:



альдегид оксимасляной кислоты

Альдегид оксимасляной кислоты путем внутренней перегруппировки переходит в масляную кислоту:



масляная кислота

Отщепляющийся в первоначальной стадии от молекулы гексозы водород выделяется в виде молекулярного.

Иногда ход реакции сдвигается в сторону накопления промежуточных продуктов. Например, при расщеплении пировиноградной кислоты на уксусный альдегид и углекислый газ уксусный альдегид образует, кроме этилового спирта, еще и уксусную кислоту:



уксусная кислота

Рассмотрим более подробно отдельные типы брожений.

Молочнокислое брожение. Различают два вида молочнокислого брожения: *гомоферментативное* и *гетероферментативное*. В первом случае процесс осуществляется однородными ферментами, восстанавливающими пировиноградную кислоту в молочную. Во втором случае разнородные ферменты вызывают, кроме молочнокислого, еще и спиртовое брожение с образованием в качестве побочных продуктов уксусной кислоты и этилового спирта.

К настоящему времени описано много видов молочнокислых бактерий; вызывающих гомоферментативное брожение, и все они объединяются в два рода.

Род *Streptococcus* - бесспорные бактерии. Лучше всего они развиваются при 30 - 35°C и вызывают скисание молока через 12 - 24 ч. При этом в молоке накапливается до 1% молочной кислоты. Типичный представитель этого рода - вид *Streptococcus lachs*.

Род *Lactobacterium* - это также бесспорные бактерии с палочковидной формой клетки. Представители этого рода (*Lactobacterium acidophilum*) хорошо развиваются при температуре 40°C. При сквашивании молока накапливается до 3% молочной кислоты. Представители рода *Streptococcus* более распространены в северных широтах.

Гомоферментативное молочнокислое брожение широко применяется для изготовления молочнокислых продуктов на молочных заводах. Кроме того, большое значение молочнокислые бактерии имеют в консервировании свежих кормов путем силосования, которое основано на сбраживании сахаров, содержащихся в растительном соке, с образованием молочной кислоты. Благодаря кислой реакции среды предотвращается развитие гнилостных процессов в силосуемой массе. Консервирование овощей путем квашения также основано на деятельности молочнокислых бактерий и осуществляется по типу силосования кормов.

Молчнокислые бактерии используются в хлебопечении, обуславливая кислый вкус хлеба, а также при промышленном получении молочной кислоты.

Гетероферментативное (нетипичное) молочнокислое брожение вызывается кишечной палочкой *Bact. coli*, а также близкой к ней бактерией *Bact. lactis aerogenes*. *Bact. coli* - это малоподвижная палочка, постоянный обитатель кишечника человека и животных. При санитарной оценке воды и почвы она является показателем фекального загрязнения.



Гетероферментативные молочнокислые бактерии могут сбраживать не только гексозы, но и пентозы. При этом образуются молочная и уксусная кислоты:



молочная кислота    уксусная кислота

Такой тип расщепления пентоз имеет существенное значение при разложении растительных остатков в почве, в состав которых входят пентозаны, дающие при гидролизе соответствующие пентозы.

Гетероферментативные бактерии широко распространены в природе на поверхности различных растительных остатков и играют важную роль в процессе их минерализации.

Спиртовое брожение. Как и молочнокислое, спиртовое брожение издавна используется человеком. Основной возбудитель спиртового брожения - дрожжи рода *Saccharomyces*. Способностью к сбраживанию углеводов и образованию спирта обладают и другие бактерии и одноклеточные грибы.

Лучше всего дрожжи развиваются при температуре +25...+30°C в условиях слабокислой реакции среды (pH 4 - 6) и могут доводить концентрацию спирта в среде до 15 - 17%.

Химизм спиртового брожения меняется в связи с воздействием различных факторов. Так, прибавление к среде сульфитов приводит к образованию, кроме спирта, глицерина и уксусного альдегида. Возникает глицериновое брожение:



глицерин                      уксусный альдегид

Этот микробиологический процесс используется для промышленного получения глицерина из сахара с помощью дрожжей.

Хозяйственное значение спиртового брожения очень велико. Оно используется в виноделии, пивоварении, винокурении (получении спирта) и хлебопечении. В первых трех процессах используется способность дрожжей

образовывать спирт на растворах сахара. В виноделии таким сахарным раствором служит виноградный сок или сок ягод и фруктов. При производстве пива сахаросодержащим субстратом является солодовое сусло, т.е. раствор сахаров, получаемый при водной экстракции солода. (Солод - это проросшие зерна ячменя, иногда ржи или пшеницы, в которых происходит осахаривание крахмала.) При винокурении (производстве этилового спирта) основным сырьем служит крахмал картофеля или хлебных злаков.

Сначала производится осахаривание крахмала ферментом амилазой, затем сбраживание сахарного раствора спиртовыми дрожжами и далее отгонка (ректификация) спирта. Для получения этилового спирта широко используется непищевое сырье - кислотные гидролизаты клетчатки, сульфитные щелока. В этих случаях к углеводной среде прибавляют необходимый для роста дрожжей источник азота

В хлебопекарной промышленности дрожжи используются для подъема и разрыхления теста образующейся при брожении углекислотой.

Маслянокислое брожение. Маслянокислые бактерии представляют собой подвижные палочки величиной от 3 до 12 мкм, способные образовывать споры. В цитоплазме их клеток имеются включения гранулы - безазотистого крахмалоподобного запасного вещества, окрашиваемого иодом в синий цвет. Маслянокислые бактерии - облигатные анаэробы, относящиеся к роду *Clostridium*. Типичный представитель маслянокислых бактерий - *Clostridium butyricum*. Они чрезвычайно широко распространены в природе: до 90% образцов почвы содержат представителей этой группы бактерий.

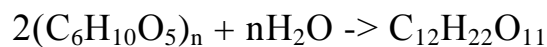
В качестве источника питания маслянокислые бактерии используют углеводы, сахара, а также крахмал, маннит, глицерин, декстрин, пектиновые вещества, клетчатку. Потребность в азоте удовлетворяется различными органическими и неорганическими соединениями азота, некоторые же виды могут фиксировать атмосферный азот.

Основное направление маслянокислого брожения ведет к образованию масляной кислоты, углекислого газа и водорода:



Кроме масляной кислоты, в качестве побочных продуктов образуются уксусная кислота, ацетон и бутиловый спирт.

Анаэробное разложение клетчатки. Анаэробное разложение клетчатки вызывается целлюлозными бактериями *Clostridium omelianskii*. Эти бактерии представляют собой длинные тонкие спороносные палочки. Бактерии строго специфичны, моно- и дисахариды расщепляют плохо. Химизм их действия аналогичен маслянокислому брожению. Под действием фермента целлюлазы происходит гидролиз клетчатки (целлюлозы) до целлобиозы:



Далее целлобиоза под действием фермента целлобиазы гидролизуется с образованием глюкозы:

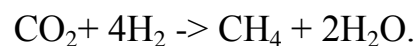


Глюкоза сбраживается с образованием масляной и уксусной кислот и газов. Установлено, что при участии в брожении целлюлозы бактерии *Bac. cellulosaе metanicus* среди газообразных продуктов преобладает метан, а для другого возбудителя этого брожения - *Bac. cellulosaе hydrogencus* - характерно образования водорода. Оба эти микроорганизма имеют температурный оптимум 30 - 35°C. Таким образом, водородное и метановое брожения клетчатки осуществляются по схемам:



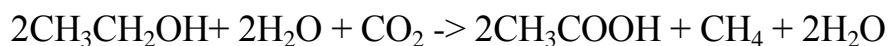
Деятельность этих микроорганизмов используется на биологических очистных сооружениях для анаэробного разложения осадков сточных вод.

Образование метана на дне илистых водоемов может происходить не только при брожении клетчатки. Метан могут образовывать микроорганизмы восстановлением углекислого газа молекулярным водородом:



Поэтому при анаэробном разложении растительных остатков, сопровождаемом выделением углекислого газа и молекулярного водорода, создаются благоприятные условия для образования метана.

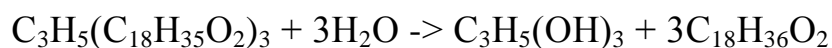
Метан может образовываться микроорганизмами при анаэробном разложении спиртов в присутствии углекислоты:



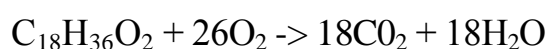
Процессы окисления. Аэробные процессы окисления отличаются от анаэробных брожений тем, что водород окисляемого субстрата передается молекулярному кислороду и сжигается до воды. В процессе же брожения водород передается какой-нибудь органической молекуле промежуточного продукта и восстанавливает ее до конечного продукта брожения. К наиболее известным, применяемым на практике окислительным процессам относится окисление этилового спирта в уксусную кислоту в присутствии *Bac. acetii* и окисление углеводов в лимонную и щавелевую кислоты.

Окислительные процессы под действием микроорганизмов чрезвычайно широко распространены в природе. В почве непрерывно происходят процессы окисления углеводов: метана, пропана, гексана, углеводов нефти, различных парафинов. Окислению могут подвергаться также высокомолекулярные жирные кислоты, входящие в состав различных жиров, которые вместе с животными и растительными остатками попадают в почву и водоемы.

Сначала происходит гидролиз жира под действием фермента липазы, содержащегося в бактериальных клетках. При этом образуются глицерин и жирные кислоты, которые окисляются микроорганизмами до  $\text{CO}_2$  и воды:



глицерин    стеариновая кислота



Окисление клетчатки занимает наиболее важное место в ряду окислительных процессов безазотистых органических соединений. К

основным возбудителям окисления клетчатки относятся роды бактерий *Cytophaga* и *Cellvibrio*.

Роль микроорганизмов в круговороте углерода в природе. Первичный синтез органических веществ в биосфере выполняется зелеными растениями, использующими солнечную энергию. Этот процесс называется фотосинтезом. Исходным материалом для фотосинтеза служит углекислый газ атмосферы. Образованные растениями органические вещества служат источником энергии и для самих растений и для животных, для которых растения являются пищей. При этом происходит разложение органических веществ, осуществляемое в процессах дыхания путем окисления молекулярным кислородом. Конечным продуктом дыхания является углекислый газ.

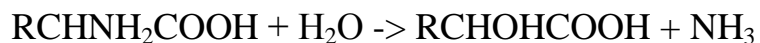
Однако при наличии в биосфере только растений и животных неизбежно наступил бы момент, когда углекислый газ атмосферы перешел бы в состав органических соединений. В растениях процессы синтеза преобладают над процессами распада, и, кроме того, не все растительные органические вещества используются животными - клетчатка и лигнин не пригодны для их питания. Поэтому в природе шло бы накопление органических веществ. Благодаря деятельности микроорганизмов происходит разложение самых разнообразных органических соединений, в том числе и клетчатки, и углерод вновь возвращается в атмосферу в форме углекислого газа.

### 2.3.2. Круговорот азота

*Аммонификация.* В растительных и животных остатках, попадающих в почву и водоемы, всегда содержится большое количество азотсодержащих веществ. В основном - это белок и мочевина. Под действием микроорганизмов происходит минерализация этих веществ, сопровождающаяся накоплением аммиака. Разложение белка связано с развитием гнилостных микроорганизмов. Это сложный процесс, начинающийся с расщепления белка на пептоны под действием микробных ферментов протеиназ. Далее пептоны расщепляются до аминокислот при

участии ферментов пептиназ. Образующиеся аминокислоты подвергаются дальнейшему разложению.

Сначала происходит дезаминирование аминокислот с образованием аммиака и разнообразных органических соединений:



В зависимости от строения радикалов аминокислот среди продуктов разложения могут присутствовать различные органические кислоты и спирты. Если идет разложение аминокислот ароматического ряда, то образуются фенол, скатол, индол. При разложении аминокислот жирного ряда образуются муравьиная, уксусная, пропионовая, масляная кислоты и пропиловый, амиловый, бутиловый спирты. При распаде аминокислот, содержащих серу, образуются сероводород и меркаптаны. В аэробных условиях все эти соединения подвергаются дальнейшему окислению и могут быть полностью минерализованы до углекислого газа и воды.

В анаэробных условиях не происходит полного окисления продуктов распада аминокислот. Их превращение идет по типу брожения, и, кроме углекислого газа и воды, накапливаются различные органические вещества. Но и в том и в другом случае образуется аммиак (вследствие чего процесс разложения белков и называют аммонификацией). Возбудителями аммонификации белков, наиболее часто встречающихся в почве и водоемах, являются аэробные споровые палочки *Bact. subtilis*, *Bact. mesentericus*, *Bac. megaterium*, *Bac. mycoides*.

Аммонификация мочевины, попадающей в почву и водоемы, осуществляется особой группой аэробных бактерий - уробактериями. Они разлагают мочевину с образованием углекислого газа и аммиака:

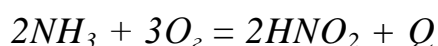


мочевина

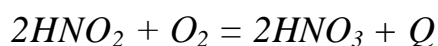
Этот процесс является необходимым звеном в природном круговороте азотсодержащих соединений, так как растения не могут усваивать азот мочевины. Кроме того, им недоступен азот атмосферы.

*Нитрификация.* Образующийся при разложении белков и мочевины аммиак в виде аммонийных солей усваивается растениями или же претерпевает дальнейшие микробиологические превращения.

В результате действия особой группы бактерий аммонийные соли окисляются в соли азотной кислоты. Этот процесс называется нитрификацией, а возбудители его - нитрифицирующими бактериями. Процесс нитрификации идет в две стадии. Сначала нитрозные бактерии *Nitrosomonas* окисляют аммиак до солей азотистой кислоты (нитритов):



Затем нитратные бактерии *Nitrobacter* окисляют соли азотистой кислоты до солей азотной кислоты (нитратов):



Эти бактерии являются типичными автотрофами. За счет энергии, получаемой при окислении азота, они ассимилируют из воздуха углекислоту, которая является для них источником углеродного питания.

*Денитрификация.* Денитрификацией называется микробиологическое восстановление нитратов с образованием свободного азота, поступающего в атмосферу. Этот процесс осуществляется группой бактерий, называемых денитрифицирующими. Денитрифицирующие бактерии, отнимая кислород от нитратов, окисляют углеродсодержащие органические вещества и получают при этом необходимую жизненную энергию.



В качестве источников углерода денитрифицирующие бактерии используют сахара, соли различных органических кислот и некоторые спирты. Одним из наиболее энергичных денитрификаторов является *Bact. denitrificans*. Эта неспоровая палочка - факультативный анаэроб - широко распространена в почве, навозе, воде водоемов.

*Фиксация атмосферного азота.* Ни одно зеленое растение не может питаться непосредственно азотом атмосферы. Так как в результате деятельности денитрифицирующих бактерий в природе непрерывно идет

уменьшение запасов связанного азота и перевод его в атмосферный азот, то жизни на Земле грозила бы неминуемая гибель из-за азотного голода. Однако существуют азотфиксирующие бактерии, способные связывать атмосферный азот, делая его доступным для растений. Они разделяются на клубеньковые бактерии, развивающиеся на корнях бобовых растений, и на свободноживущие в почве.

Клубеньковые бактерии поселяются в почве, размножаются и через отверстия в корневых волосках бобовых растений проникают в корневые клетки. В результате этого на корнях растений образуются клубеньки азотсодержащих органических соединений (белков). Растение использует этот связанный азот и, в свою очередь, доставляет клубеньковым бактериям необходимые им углеродсодержащие вещества - различные сахара и спирты. Осенью растение гибнет. Клубеньковые бактерии вновь попадают в почву, одновременно происходит обогащение почвы азотом. Большинство клубеньковых бактерий относятся к роду *Bact. radicum* (*Rhizobium*).

Свободноживущие азотфиксирующие бактерии бывают аэробные и анаэробные. Из анаэробов азотфиксирующей способностью обладает *Clostridium pasteurianum*. Это маслянокислые микроорганизмы, сбраживающие углеводы с образованием масляной и уксусной кислот, углекислого газа и водорода. Потребность в азоте удовлетворяется связыванием атмосферного азота.

Представителем аэробных азотфиксаторов является *Azotobacter chroococcum*. Характерная особенность их - образование слизистой капсулы, окружающей овальные клетки, соединенные попарно. В качестве источника углерода эти микробы могут использовать углеводы, спирты и органические кислоты. Важное значение для восстановления плодородия почвы имеет способность *Azotobacter* расти на кислотах жирного ряда (уксусной, масляной), поступающих в почву при микробиологическом разложении клетчатки.



Роль микроорганизмов в круговороте азота в природе. В природе имеются значительные запасы азота. Во-первых, большие количества азота входят в состав населяющих биосферу организмов, при отмирании которых азот попадает в почву и водоемы и подвергается воздействию микроорганизмов. Сначала аммонифицирующие микроорганизмы превращают органический азот в минеральный, доступный растениям. Далее нитрифицирующие бактерии окисляют аммиак до нитратов, переводя азот в еще более доступную для растений форму. Параллельно происходит процесс восстановления нитратов до молекулярного азота. Этот процесс осуществляется денитрифицирующими бактериями и ведет к переходу азота в атмосферу и обеднению почвы. Фиксация атмосферного азота клубеньковыми и свободноживущими азотфиксирующими бактериями вновь обогащает почву связанным азотом.

### **РАЗДЕЛ 3. ПАТОГЕННЫЕ МИКРООРГАНИЗМЫ. ВРЕДНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ МИКРОБОВ**

#### **3.1. Основные пути распространения инфекции**

Инфекцией называется взаимодействие патогенных микробов с макроорганизмом в определенных условиях внешней среды, в результате которого может возникнуть инфекционная болезнь. (Патогенность — это потенциальная способность некоторых видов микроорганизмов вызывать инфекционный процесс.) Патогенные микробы характеризуются специфичностью, т. е. каждый микроб способен вызвать определенный инфекционный процесс. Однако возможность возникновения и характер развития процесса, его тяжесть, продолжительность, исход в значительной мере зависят не столько от микроба, сколько от степени реактивности и сопротивляемости организма человека или животного. Патогенные микробы могут находиться в организме здорового человека, не вызывая развития заболевания. Доказано, что недоедание, действие холода, алкоголя,

физическое переутомление и т.д. способствует возникновению инфекционного заболевания.

Многие патогенные микроорганизмы вырабатывают ферменты, способные разрушать ткани и клетки организма. В результате этого увеличивается проницаемость микроорганизмов в атакуемый организм.

Важнейшей особенностью патогенных микробов является их токсичность. Различают экзотоксины и эндотоксины. Экзотоксины – яды, которые легко диффундируют в окружающую среду. Эндотоксины прочно связаны с телом микробной клетки и освобождаются только после ее отмирания. Действие экзотоксинов специфично, т. е. они поражают определенные органы тканей. Так, например, столбнячный экзотоксин вызывает поражение нервной системы, вследствие чего у больного наступает спазм мускулатуры, дифтерийный – поражение сердечно-сосудистой системы, надпочечников и т. д. Если микробные экзотоксины, являясь очень сильными ядами, губительно действуют на организм уже в очень малых дозах, то эндотоксины менее токсичны, не обладают строгой специфичностью, вызывают в организме общие признаки отравления: головную боль, слабость, одышку и т. д. Эндотоксины состоят из полисахаридов и липопротеидов, а экзотоксины имеют белковую природу.

Эпидемия (массовое заболевание людей) возникает при наличии эпидемической цепи, состоящей из трех звеньев: источника инфекции, путей передачи инфекции и восприимчивости населения к данному заболеванию. Источником инфекции может быть больной человек или животное и бациллоносители. Бациллоносителем является здоровый организм, которому микробы не причиняют вреда, но, развиваясь в нем, выделяются во внешнюю среду. Следовательно, бациллоноситель – это постоянный источник распространения инфекции.

Инфекционное заболевание передается через:

-воду (при питье, купании, мытье посуды, мытье овощей, фруктов и т. п.); пищевые продукты (колбаса, рыба, пирожные и др.), в которых микробы развиваются, усиливая свою токсичность;

-при контакте здорового человека с больным (прямой контакт – непосредственное соприкосновение с больным и непрямой контакт – через одежду, посуду, книги и т. д.);

-воздух;

-насекомых (вши, мухи, комары, клещи и т. д.).

Развитие эпидемии зависит от восприимчивости населения и животных к данному виду заболеваний. Условия жизни людей, их аккуратность, выполнение профилактических мер, выявление бациллоносителей – все это ограничивает возможности распространения заболеваний.

Источники водоснабжения заражаются патогенными микроорганизмами, как правило, в результате попадания в них бытовых сточных вод. Причиной этого заражения могут быть неисправность канализационных сооружений, расположенных вблизи источников водоснабжения.

Реки и озера заражаются бытовыми сточными водами при непосредственном их спуске или при просачивании через почву вместе с грунтовыми водами.

Колодезная вода может заражаться через поверхностные стоки при обильных осадках.

Возникновение эпидемий необходимо предупреждать очисткой и обеззараживанием воды.

В борьбе с инфекциями большое значение имеет личная гигиена человека, особенно чистота рук, санитарное состояние жилищ, дворов и окружающей обстановки. Организм человека обладает рядом защитных свойств от попадания в него патогенных микробов. Например, кожа не только механически задерживает микробы, но и вырабатывает ряд секретов, которые убивают находящиеся на ней микробы. На чистой, хорошо вымытой

коже рук в течение короткого времени погибают палочки брюшного тифа и другие патогенные бактерии. Надежной защитой служат слизистые оболочки полости рта, носа, глаз, верхних дыхательных путей и других органов. Они выделяют секреты, многие из которых действуют губительно на микробы. Бактерицидным действием обладает слюна человека. Некоторые микробные токсины разрушаются желудочным или кишечным соками, а также желчью.

Но естественные защитные приспособления оказываются недостаточными. Токсины многих микробов вызывают омертвление клеток данного участка кожи или слизистой оболочки, после чего микробы распространяются по всему организму, вызывая инфекционный процесс.

Если данный организм обладает иммунитетом к данному заболеванию, то болезнь в нем не развивается. В иммунном организме обнаруживаются особые защитные приспособления, способные нейтрализовать действие микробных токсинов или убивать и уничтожать патогенные микробы. Большое значение имеет дезинфекция выделений больного, вещей, помещений и уничтожение грызунов. Эффективным методом борьбы с возбудителями инфекций, находящихся в воде, являются хорошо работающие очистные сооружения.

### **3.2. Индикаторная роль бактерий группы кишечной палочки**

О загрязнении воды патогенными (болезнетворными) микробами судят по наличию в ней бактерий группы кишечной палочки (*Escherichia coli*), обитающих в кишечнике человека и животных.

Эти бактерии безвредны для человека, но присутствие их в воде указывает на загрязнение воды выделениями человека и животных и сигнализирует о возможной опасности распространения через воду дизентерии, брюшного тифа, холеры и других тяжелых заболеваний.

Ввиду сложности выделения при бактериологическом анализе собственно болезнетворных бактерий практикуют выделение группы бактерий кишечной палочки и по их количеству судят о загрязнении

водоема. Содержание этих организмов в воде открытых водоемов в течение года изменяется. Резкое увеличение их происходит в паводки и после сильных дождей. В зависимости от содержания бактерий групп кишечной палочки различают следующие степени загрязненности воды:

сильно загрязненная – свыше 10 000 бактерий в 1 л,

загрязненная – 1000 бактерий в 1 л,

слабо загрязненная – 100 бактерий в 1 л,

удовлетворительная – 10 бактерий в 1 л,

хорошая питьевая – 3 бактерии в 1 л и меньше.

Показателями загрязненности служат коли-титр и коли-индекс. Коли-титр – это наименьший объем воды в мл, содержащий одну кишечную палочку. Коли-индекс – количество кишечных палочек в 1000 мл воды. По ГОСТу на питьевую воду допускается коли-индекс не более 3, коли-титр не менее 300.

Фекальное загрязнение воды устанавливается по наличию в ней бактерий группы кишечной палочки с входящими в нее подгруппами *Bacterium paracoli* и *Bacterium aerogenes*. Показательные для фекального загрязнения организмы характеризуются следующими признаками: это аэробные, слабо подвижные, грамотрицательные, неспороносные палочки, не разжижающие желатину, образующие индол, свертывающие молоко, сбраживающие с образованием газов ( $H_2$  и  $CO_2$ ) глюкозу, лактозу, мальтозу, левулозу, арабинозу и маннит и не сбраживающие сахарозу. На среде Эндо эти бактерии образуют красные с золотистым металлическим блеском колонии, темно-красные и розовые с темным центром.

В настоящее время санитарно-показательными бактериями свежего фекального загрязнения считаются все разновидности кишечных палочек, способные ферментировать с кислотой и сбраживать жидкую среду, содержащую глюкозу или маннит, с выделением газов при  $t = 43^\circ C$  в течение

18-24 ч. Обязательному учету подлежат *E. paracoli* ввиду того, что они обнаруживаются обычно в испражнениях людей с кишечными инфекциями. Индикаторным микробом за рубежом принят энтерококк *Streptococcus faecalis* (один из видов зеленеющих стрептококков фекальной группы). Энтерококки – группа микроорганизмов с характерными легко устанавливаемыми признаками. При анализе сравнительных исследований индикаторной роли *E. coli* и *Str. faecalis* на различных сточных водах Г. П. Калина отмечает определенную взаимосвязь между индексом энтерококков и частотой обнаруживания патогенных энтеробактерий. Подобная взаимосвязь не наблюдалась при сопоставлении частоты обнаружения патогенных энтеробактерий и бактерий группы кишечных палочек.

Адекватность поведения в сточных водах энтерококков и патогенных энтеробактерий подчеркивает преимущество энтерококков как индикаторных микробов.

### **3.3. Группировка водоемов по экологическим признакам**

Экология – наука о взаимном отношении организма (животного или растительного) и окружающей среды.

В любом водоеме имеются весьма сложные биологические сообщества микроорганизмов. Каждой степени загрязненности воды органическими веществами соответствует определенная микрофлора и микрофауна. Отсюда возникает возможность для каждой степени загрязнения водоема (или зоны сапробности) установить показательные организмы, наличие которых в водоеме свидетельствует об определенном качестве воды, или по количеству микроорганизмов в водоеме можно установить степень загрязненности воды.

1. Зона сильнейшего загрязнения (полисапробная). В этой зоне протекают гнилостные процессы анаэробного типа, так как здесь вода богата остатками погибших растений и животных — белками, жирами, клетчаткой и продуктами их разложения. Здесь развиваются организмы, стойкие к

повышенным дозам органического вещества, сероводорода, углекислоты и метана. Число бактерий – до миллиона в 1 мл.

2. Зона средней загрязненности (мезосапробная). В этой зоне наблюдается минерализация органического вещества с преобладанием окислительных процессов. Азот аммонийных солей переводится микробами в нитриты, сероводород – в соли серной кислоты. В этой зоне органическое вещество минерализуется до  $\text{CO}_2$ .

Мезосапробная зона делится на  $\alpha$ - и  $\beta$ -мезосапробные зоны. Они отличаются интенсивностью окисления. Наиболее интенсивно процессы минерализации протекают в  $\beta$ -мезосапробной зоне, где полностью заканчивается минерализация органического вещества. Число бактерий в этой зоне до 100 тыс. в 1 мл.

3. Зона чистой воды (олигосапробная). В этой зоне отсутствуют органические вещества. Здесь заканчиваются процессы окисления нитритов в нитраты. В воде этой зоны содержится от 1000 до 10 000 бактерий в 1 мл.

Типичными представителями этой зоны являются железобактерии, которые окисляют закисное железо в окисное.

### **3.4. Основные приемы технического воздействия на микробное население воды**

В загрязненных водах содержатся разнообразные органические вещества, находящиеся на различной стадии минерализации. При использовании микроорганизмов для уничтожения этих веществ в технике прибегают к созданию условий, благоприятствующих жизнедеятельности того комплекса организмов, который в данном случае является полезным. Воздействуя на направление биохимического процесса в желательную сторону, санитарная техника использует биологические особенности соответствующих групп организмов.

С практической точки зрения микроорганизмы расцениваются как полезные или вредные.

К группе полезных микроорганизмов относят большое количество сапрофитов и их спутников, в аэробных условиях, разлагающих органические вещества до конечных продуктов,— двуокиси углерода и воды, а в анаэробных — до более простых органических соединений — спиртов, летучих жирных кислот, метана и двуокиси углерода.

К группе вредных относятся патогенные микроорганизмы и избыток полезных микробов, которые оказывают вредное действие на технологический процесс очистки воды; при этих условиях их можно назвать технически вредными.

Санитарно-техническое воздействие на развитие полезных микробов и интенсификацию вызываемого ими биологического процесса сводится к следующему:

Регулирование температуры. Установлено, что при нагревании на  $10^{\circ}$  скорость биологического процесса увеличивается в 2-3 раза. Снижение температуры вызывает обратный процесс. При работе метантенков осадок искусственно подогревается до  $35-55^{\circ}\text{C}$ .

Снабжение кислородом. В аэротенках количеством подаваемого воздуха (а следовательно, и кислорода) регулируется напряженность процесса. В сооружениях, рассчитанных на анаэробные процессы (септик-тенк, метантенк, двухъярусный отстойник), наоборот, особыми приемами предупреждают появление кислорода.

Снабжение необходимыми элементами питания. Все микроорганизмы требуют для своей жизнедеятельности присутствия в среде веществ, содержащих органические элементы (С, Н, N, P, S).

Если в данной воде какой-нибудь из этих элементов отсутствует, то искусственно добавляют его. Богаты этими веществами бытовые сточные воды, поэтому их часто добавляют, например, к воде красильно-отбельных фабрик.

Поддержание оптимальной активной реакции среды (рН). Многие микроорганизмы очень чувствительны к концентрации водородных ионов,



поэтому при закислении процесса прибегают к нейтрализации жидкости введением сточных вод щелочного состава или подщелачиванием известью.

Устранение вредно действующих веществ. Содержание ядовитых, отравляющих, дезинфицирующих веществ требуется снижать до концентраций, не опасных для микроорганизмов. Нельзя допускать воду на очистные сооружения, если она содержит мышьяк, (ртуть, медь, а также щелочные и кислые воды. Особенно вредны хлориды следующих металлов: Hg, Pb, Cu, Fe и Zn. Замечено, что малые концентрации сулемы (0,000005%) стимулируют развитие микробов, а концентрация 0,007% приводит к их мгновенной гибели.

Известно, что возбудители многих инфекционных заболеваний передаются человеку и животным через воду, в которой могут находиться возбудители брюшного тифа, паратифов А и В, дизентерии, холеры, инфекционной желтухи, чумы, яйца гельминтов и т. д.

Эти микроорганизмы могут длительное время сохраняться в воде, а, попав в живой организм, адаптироваться (приспосабливаться к окружающей среде) и вызывать соответствующее заболевание.

В технике водоснабжения устраиваются искусственные водохранилища, искусственные озера, в которых возникает обилие флоры и фауны, заселяющих всю толщу воды. В процессе жизнедеятельности эти организмы истощают питательные вещества, а вследствие антагонистических отношений происходит частичное уничтожение микрофлоры водной фауной, и с помощью бактериофагов завершается борьба с вредными бактериями.

В борьбе против распространения инфекционных заболеваний современная эпидемиология широко использует санитарно-технические приемы обеззараживания воды. Эти методы основаны на применении химических и физических способов стерилизации и дезинфекции, а также на создании неблагоприятных условий для размножения патогенных микробов.

### **3.5. Жизнедеятельность микроорганизмов на водопроводных очистных сооружениях**

При очистке питьевой воды микроорганизмы задерживаются в процессе длительного отстаивания при фильтровании через мелкопористые фильтры и участвуют в обрастании труб.

На практике было отмечено, что общее число бактерий значительно снижается в процессе отстаивания воды. Чем более загрязнена вода, тем быстрее погибают в ней патогенные микроорганизмы. Это парадоксальное явление объясняется антагонизмом микроорганизмов. Снижение количества микроорганизмов наблюдается при отстаивании в течение первых двух дней; а затем в отстойниках вырастают водоросли, которые при отмирании разлагаются гнилостными микроорганизмами. В результате ухудшаются органолептические показатели воды, исчезает растворенный кислород, падает окислительный потенциал.

В отстойниках и в водоприемных колодцах протекают микробиологические процессы, связанные с разложением органического вещества в анаэробных условиях.

Часто на поверхности осадка в отстойниках развивается фито-бентос. Биоценоз бентоса состоит из сине-зеленых водорослей. При разрастании их вода, проходящая над ними, приобретает гнилостный запах.

При фильтровании природной воды через медленные фильтры на поверхности песка образуется биологическая пленка, биоценоз которой представлен микроорганизмами (нитрификаторами, серобактериями), бентосными формами (зоо- и фитобентос, т.е. животное и растительное сообщества). Глубина зарастания этой пленки обычно не превышает нескольких сантиметров.

В теплое время года развивается микрофлора и на быстродействующих фильтрах. При фильтровании воды в летнее время наблюдается уменьшение азота аммонийных солей и нарастание нитритов и нитратов.

Микробиологические обрастания в трубах на очистных сооружениях. Микроорганизмы, разрастаясь внутри водопроводных труб, вызывают резкое сужение их внутреннего диаметра, разъедают каучук, дерево, материал труб и т. д.

Этот процесс осуществляется бактериями и водорослями. Общим для всех этих организмов является то, что почти все они аэробы.

Нитчатые серобактерии окисляют  $H_2S$  до  $S$ . По внешнему виду они напоминают пучки седых волос и, попадая в трубы, забивают их.

Некоторые актиномицеты (микроорганизмы, образующие очень тонкую ветвящуюся грибницу) и плесневые грибы поселяются на резине и используют углерод естественного или искусственного каучука для построения своего организма, поэтому они быстро разрушают его. Из живых организмов в механической закупорке труб принимают участие железобактерии, моллюски и некоторые водоросли. Жизнедеятельность моллюсков ведет к выпадению из воды  $CaCO_3$ . Водопроводная сеть обрастает микробами и при отмирании их вода приобретает неприятный привкус и запах.

Для борьбы с обрастаниями необходимо проведение следующих мероприятий:

1. Охрана водоемов и водотоков от попадания в них бытовых и производственных сточных вод.

2. Удаление из воды  $H_2S$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$  и других элементов, которые благоприятствуют развитию микроорганизмов, обуславливающих обрастание.

3. Механическая очистка дна и берегов водоема от водной растительности.

## РАЗДЕЛ 4. РОЛЬ МИКРООРГАНИЗМОВ В ПРОЦЕССАХ ОЧИСТКИ ПРИРОДНЫХ И СТОЧНЫХ ВОД

### 4.1. Почвенные методы очистки сточных вод

К почвенным методам очистки относятся поля орошения и фильтрации. Полями орошения называются почвенные очистные сооружения, используемые в качестве сельскохозяйственных угодий. Поля фильтрации рассчитаны только на очистку сточных вод. Поля орошения или фильтрации располагаются на расстоянии не менее 250 м от жилых помещений. Для устройства полей пригодны открытые незаболоченные и незатопляемые места. Размер полей определяется количеством сточных вод и концентрацией содержащихся в них загрязнений, а также гидрологическими и климатическими условиями. При расчете полей фильтрации принимаются следующие нормы нагрузки сточной жидкости в сутки на 1 га площади:

- песчаные почвы - до 100 м<sup>3</sup>,
- суглинистые почвы - до 50 м<sup>3</sup>,
- глинистые почвы - до 25 м<sup>3</sup>.

Для полей орошения указанные нормы понижаются в зависимости от вида сельскохозяйственных культур. Распределение сточной жидкости по поверхности полей фильтрации производится с помощью земляных борозд. Для задержания крупных примесей на магистральных каналах устанавливаются решетки. Понижение уровня грунтовых вод на орошаемых площадях достигается системой подземного дренажа. В зимнее время производятся подледное орошение или намораживание сточной жидкости. Сточная жидкость, поступавшая на поля орошения и фильтрации, освобождается от твердой фазы в первичных отстойниках, в некоторых случаях - направляется на поля без отделения твердой фазы.

Биохимическое окисление органического вещества сточных вод на полях орошения или фильтрации происходит только при помощи разнообразного мира живых существ. Мир живых существ, населяющих почву, называется биоценозом почвы. Он представлен бактериями, грибами,

водорослями и животными (простейшими и беспозвоночными). В наибольшем количестве в почве развиваются бактерии. Все эти организмы осуществляют весьма сложный процесс самоочищения почвы после полива ее сточной жидкостью.

Основные процессы биохимического окисления органических веществ сточных вод происходят в верхнем слое почвы толщиной 40 см. В этом слое располагается "биологическая пленка", т.е. биоценоз почвы. Здесь же происходит и задержка основного количества микробов, поступающих со сточной жидкостью. Адсорбирующая способность биологической пленки исключительно велика. Под 1 м<sup>2</sup> орошаемой площади располагается пленка, имеющая поверхность 5 га, поэтому фильтрация жидкой фазы через биологическую пленку происходит очень медленно ~1 см/ч.

Бактерии орошаемой почвы. Бактериальное население почвы складывается из собственно почвенных микробов (коренного населения) и микробов сточных вод. Коренное население почвы составляют автотрофы и гетеротрофы. Эта группа приспособилась к температурным колебаниям в природных условиях и к усвоению самых разнообразных питательных веществ. Микробы, попадающие в почву со сточными водами, представлены главным образом гетеротрофами (паратрофы и гнилостная флора кишечника).

Количество микробов, поступающих со сточными водами, велико. За один сезон орошения суммарное бактериальное население сточных вод может вдвое превысить коренное население почвенного слоя. Между почвенными микробами и микробами - "пришельцами" возникают сложные взаимоотношения антагонистического и частично симбиотического характера. Через некоторое время часть микробов - "пришельцев" погибает, остальные приспособляются к новым условиям существования.

Микробы биологической пленки - исключительно активные потребители кислорода. Аэробный характер процесса обеспечивается присутствием в порах почвы кислорода воздуха. В процессе нитрификации

размножаются прототрофы, главным образом нитрификаторы. Количество их возрастает до 1 миллиона на 1 г почвы (в обычной окультуренной почве количество прототрофов составляет не более 10 000 на 1 г почвы). В результате жизнедеятельности такой массы нитрифицирующих бактерий в летнее время от каждого гектара полей фильтрации получается 70 кг нитратов в день, при этом затрачивается 260 кг кислорода. На бактериальное окисление органических веществ до углекислоты и воды затрачивается еще 160 кг кислорода в день.

Таким образом, микробы каждого гектара почвы полей фильтрации потребляют ежедневно более 400 кг кислорода. Вследствие такой потребности малейшее заиливание на поверхности почвы создает очаги аэриоза. Поэтому для интенсивной жизнедеятельности микробов необходимо на поверхности почвы создавать аэробные условия.

Грибы орошаемой почвы. Подавляющее большинство грибов орошаемой почвы представляет собой аэробы. Грибы развиваются в виде мицелия (длинные разветвленные нитевидные формы) или одноклеточных организмов. Источником углерода для них являются разнообразные органические вещества: крахмал, целлюлоза, жирные кислоты, парафин, многоатомные спирты и др. Источником азота служат соли аммония, а также пептоны и аминокислоты.

Водоросли орошаемой почвы. На полях могут развиваться водоросли, главным образом зеленые и сине-зеленые. Их количество составляет от 100 000 до 3 миллионов на 1 см почвы. Роль водорослей сводится к выделению ими кислорода в процессе фотосинтеза, что очень важно для полей орошения и фильтрации.

Животные орошаемой почвы. К животным полей относятся все простейшие и ряд беспозвоночных. Простейшие (протозоа) представлены корненожками, жгутиковыми, реснитчатыми и коловратками. Эти животные являются аэробами и живут в верхних слоях почвы. Количество их достигает до 500 000 на 1 г почвы. Главным источником питания простейших являются

бактерии. Это основная роль простейших в процессе очистки. К беспозвоночным относятся дождевые черви, клещи и личинки жуков. Их функция в очистке сточной жидкости заключается в том, что они разрыхляет верхний орошаемый слой почвы, препятствуя его заиливанию. Кроме того, в кишечном тракте беспозвоночных такие стойкие вещества как целлюлоза, хитин, кератин полностью разлагаются до воды, углекислоты и аммиака. Таким образом, микробы, живущие в кишечнике беспозвоночных, облегчают работу микробам, находящимся на поверхности орошаемых участков.

Ч. Дарвин отмечал, что весь поверхностный слой земли проходит через тело червей всего за несколько лет.

В тех случаях, когда сточные воды используются для агрикультурных целей, необходимо устройство первичных отстойников, которые задерживают до 97% всех поступающих яиц гельминтов. Осветленные сточные воды затем подвергаются хлорированию. Это гарантирует население от попадания на овощи и другие сельскохозяйственные культуры гельминтов и возбудителей инфекционных заболеваний.

#### **4.2. Принцип работы биологического фильтра**

На биологических фильтрах протекают процессы, подобные происходящим при фильтрации сточной жидкости через почву. На биофильтры поступают лишь осветленные сточные воды, т.е. их жидкая фаза.

Биофильтр представляет собой наземное сооружение, загруженное кусками кокса, шлака, щебня или других материалов. Высота слоя загрузки составляет 1-4 м. В верхнюю часть биофильтра поступают сточные воды. Орошение биофильтра сточными водами производится с помощью насадки, расположенной над орошаемой поверхностью. В нижнюю часть биофильтра подается воздух.

Подобно почвенным методам, очистка сточных вод происходит не сразу, а через некоторое время, после того как частицы загрузки биофильтра

обрастут биологической пленкой (в результате адсорбции бактерий из сточной жидкости). Флора и фауна биофильтра идентична почвенной. Однако в результате более благоприятных условий аэробно-биологического разложения, численность всех групп живых существ, составляющих биоценоз (бактерий, грибов, водорослей, простейших и беспозвоночных) во много раз превышает почвенный.

Жизнь биоценозов на поверхности и в толще биофильтра протекает очень сложно. В верхнем слое (до 10 см) на орошаемых участках загрузки развиваются главным образом инфузории, в меньшем количестве - жгутиковые, колероватки, личинки насекомых и грибы. В том же слое, но на неорошаемых участках загрузки разрастаются различные водоросли (зеленые, сине-зеленые и диатомовые). Несколько глубже (от 10 до 15 см) начинается зона червей. Ниже 50 см заселенность биофильтра резко падает. Бактерии (автотрофы и гетеротрофы) заселяют всю массу биологической пленки.

Все представители микробного, животного и растительного мира принимают деятельное участие в очистке жидкой фазы сточных вод. Так бактерии окисляют растворенные органические вещества до минеральных соединений. Простейшие питаются главным образом живыми бактериями. Водоросли выделяют кислород и фитонциды. Черви, роясь между частицами загрузки, разрыхляют биологическую пленку. Кроме того, они, заглатывая различные органические вещества, переваривают и разлагают ряд стойких соединений (кератин, хитин, клетчатка). В результате сложной и взаимосвязанной жизнедеятельности всех организмов биофильтра степень очистки сточных вод весьма велика. БПК<sub>20</sub> очищенной жидкости снижается на 85-90%.

Биоценоз биофильтра исключительно чувствителен к понижению температуры. Поэтому колебания температуры воздуха сказываются на работе биофильтра даже в теплое время года. Осенью и весной окисление органических веществ происходит в замедленном темпе, зимой



биофильтр необходимо утеплять. Для элективной работы биофильтров требуется постоянно поддерживать аэробные условия.

В очищенной после биофильтра жидкости остаются микроорганизмы, поэтому ее необходимо хлорировать.

#### **4.3. Биохимическое окисление жидкой фазы сточных вод в аэротенках**

Аэротенк представляет собой проточный бассейн, в котором осуществляется биологическая очистка жидкой фазы сточных вод, имитирующая самоочищение в водоемах. Снизу на дно бассейна подается сжатый воздух, вдуваемый в виде пузырьков. Роль биологической пленки в аэротенке выполняет активный ил - свободно плавающий биоценоз. Биоценоз, называемый активным илом, представлен главным образом микробами и простейшими. Микробное население состоит из прототрофов, метатрофов и паратрофов.

В наибольшем количестве развиваются прототрофы - нитрификаторы и сульфификаторы. Огромное количество простейших, главным образом, инфузорий, живет за счет многочисленного микробного населения.

Активный ил, являясь живым многоклеточным организмом, обладает исключительной адсорбционной способностью. В 1 мл жидкости с активным илом, взятой из аэротенка, находится  $10^8$  бактерий (в  $1 \text{ м}^3$  -  $10^{14}$  бактерий соответственно). Диаметр одной шаровидной бактерии в среднем равен 2 мкм, следовательно, их суммарная поверхность в  $1 \text{ м}^3$  жидкости составляет  $1200 \text{ м}^2$ . Активный ил обладает способностью регенерировать свою сорбционную емкость. Биологический и химический состав активного ила зависит от состава жидкой фазы сточных вод, количества проходящей через сооружение жидкой фазы и массы подаваемого при аэрации воздуха. Биохимические процессы в аэротенке протекают в три этапа. В течение 1-го этапа происходит адсорбция суспензированных, коллоидных и растворенных веществ. 2-й этап заключается в окислении всех адсорбированных веществ, после чего происходит процесс нитрификации. 3-й этап характеризуется

окончанием процессов окисления, энергичной нитрификацией аммонийных солей, уменьшением БПК<sub>5</sub> и последующей регенерацией активного ила. Аэротенки, при работе которых осуществляются все три этапа, называются работающими на полную очистку. При этом жидкая фаза сточных вод полностью очищается. Жидкость, выходящая из аэротенка, смешана с хлопьями активного ила, поэтому ее направляют во вторичный отстойник, не верхней части которого вытекает очищенная вода.

Количество кишечных палочек в очищенной воде уменьшается на 95-99%, следовательно, ее необходимо обеззараживать. Активный ил возвращается в начало аэротенка. Поскольку активный ил за время циркуляции все время увеличивается в объеме (живой агент), то часть его удаляют. Он используется в других биологических сооружениях или для получения ценных продуктов: витамина В<sub>12</sub>, пластмасс, удобрений. Работа аэротенков практически не зависит от температуры, однако при снижении температуры интенсивность процессов уменьшается.

При работе аэротенка на неполную очистку осуществляется только первый этап и неполное окисление адсорбированных активных илом взвешенных, коллоидных и растворенных веществ.

#### **4.4. Очистка сточных вод в биологических прудах**

Биологические пруды представляют собой водоемы глубиной 0,5-1 м, площадью 0,5-1,5 гектара, хорошо прогреваемые солнцем. Это создает условия для обильного развития водорослей, высшей водной растительности, простейших, беспозвоночных, автотрофных и гетеротрофных групп бактерий, а также бактериофагов.

Биологические пруды имитируют природные водоемы, причем в них создаются условия, способствующие усилению процессов самоочищения воды. Поэтому в биологических прудах развиваются рыбы, земноводные, поселяется водоплавающая птица. Биологические пруды занимают промежуточное положение между природными водоемами и

искусственными сооружениями для очистки сточных вод. Нагрузка на пруды для отстаивания сточных вод без разбавления составляет 250 м<sup>3</sup>/га.

Эффект работы прудов в летнее время очень высокий. Кишечная палочка отирает на 95,9-99,9%, патогенные бактерии кишечной группы отмирают полностью. Величина окисляемости снижается на 90%, а БПК<sub>5</sub> - на 98%. Биологические пруды могут работать не только в летнее, но и в зимнее время, даже тогда, когда их поверхность покрыта слоем льда. Через лед проходят солнечные лучи в количестве, достаточном для фотосинтеза, осуществляемого водной флорой. Необходимым условием работы биологических прудов в зимнее время является очистка их поверхности от слоя снега и подсвечивание, либо аэрирование. Но интенсивность окислительных процессов в зимнее время снижается вдвое по сравнению с летним периодом.

#### **4.5. Пусковой период биохимических очистных сооружений**

До пуска сооружения по очистке жидкой фазы сточных вод необходимо создать соответствующий комплекс микроорганизмов. Для заселения сооружений микрофлорой, т.е. получения активного ила, используемого в аэротенках, применяются различные способы:

- аэрация сточной жидкости до образования хлопьев активного ила (2-3 суток);
- использование поверхностного ила донных отложений малозагрязненного водоема;
- отмучивание от огородной земли, содержащей большое количество разнообразной микрофлоры, тонких иловых частиц;
- использование активного ила, работающих на полную очистку аэротенков.

Активный ил применяется в биофильтрах для получения биологической пленки. С этой целью поверхность биофильтра орошается в течение 1-2 суток небольшой порцией ила до прикрепления его к

загрузочному материалу. В отсутствие активного ила через биофильтр фильтруется сточная жидкость при следующей нагрузке: 1 объем сточной жидкости на 1 объем загрузочного материала. Это вызывает постепенное образование биопленки.

#### **4.6. Биохимические процессы, протекающие при анаэробном разложении твердой фазы сточных вод**

Твердая фаза не богата органическими веществами, но высокий процент воды и достаточное количество элементов золы создают благоприятные условия для жизнедеятельности бактерий. Высыхает твердая фаза чрезвычайно медленно. Переработка твердой фазы в очистных сооружениях ведется в таком направлении, чтобы сократить ее объем и превратить в легко подсыхающее вещество, которое можно использовать в качестве удобрения. Это достигается путем анаэробного брожения в специальных очистных сооружениях: септиках, двухъярусных отстойниках и метантенках.

Специфика биологических процессов в анаэробных условиях заключается в следующем. Экзотермический эффект, получаемый бактериями в условиях анаэробно-брожения, чрезвычайно мал. Потребность же бактериальной клетки в необходимой для ее жизни энергии такая же, как для аэробных организмов. Поэтому микробам-анаэробам приходится перерабатывать во много раз больше вещества по сравнению с бактериями-аэробами. Это приводит к тому, что все процессы разложения твердой фазы сточных вод происходят исключительно медленно.

Общее направление микробиологических процессов при анаэробном разложении твердой фазы следующее. Органические вещества распадаются с образованием жирных кислот. Жирные кислоты затем окисляются до метана, углекислоты, воды, спиртов и окиси углерода. Если в состав органических соединений входит азот, то происходит расщепление с образованием аммиака и свободного азота. Если органические вещества содержат серу, то

процесс разложения протекает с выделением сероводорода. Следовательно, в брожении твердой фазы принимают участие различные группы бактерий, образующие биоценозы в условиях аэробно-анаэробного брожения: 1) аммонифицирующие, 2) сбраживающие углеводы; 3) разрушающие клетчатку, 4) разлагающие жирные кислоты до углекислого газа, метана и водорода; 5) разрушающие стойкие углеводороды.

С повышением температуры скорость биохимических реакций резко возрастает.

#### **4.7. Биохимические процессы, происходящие в септике**

Септик (септик-тенк) представляет собой бассейн, через который медленно проходит сточная жидкость (0,15 - 1 мм/с) и на дно оседает твердая фаза. В септике происходят процессы осаждения и сбраживания твердой фазы. Осадок на дне септика хранится до 12 месяцев, а сточная жидкость находится в нем не менее 34 часов. Осевшая на дно твердая фаза начинает разлагаться. Пузырьки выделяющихся газов, поднимаясь на поверхность, захватывают частицы осадка. Дойдя до поверхности, пузырек лопается, газ выходит в атмосферу, а частицы осадка слипаются с новыми такими же частицами. В результате этого на поверхности септика образуется пленка, которая в дальнейшем утолщается и превращается в толстую корку. На этой корке часто поселяются различные грибы, которые пронизывают ее своими нитями, сообщая ей большую прочность. Пленка покрывает бродящую массу и не дает теплу сточной жидкости уйти в атмосферу, что очень важно для интенсификации биохимических процессов.

Жидкость, выходящая из септика, насыщена гнилостными и горючими газами, образующимися в результате разложения осадка ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_3$ ), поэтому при направлении ее на аэробные сооружения требуется значительное количество кислорода для окисления этих веществ.

Вследствие непрерывного поступления новых порций свежего осадка в септик, распад органического вещества иногда происходит лишь до образования жирных кислот (кислотное брожение), но их накопление

вызывает торможение процессов брожения. После брожения в септике объем твердой фазы уменьшается на 50%. В сброженном осадке остаются жизнеспособные патогенные микробы и яйца гельминтов, поэтому осадок нельзя использовать в качестве удобрения без предварительного обеззараживания.

Септики широко применяются в сельской канализации и при устройстве малой канализации в городах. Для отвода неприятно пахнущих и горючих газов пространство над перекрытием септиков должно соединяться с вентиляционной вытяжной трубой.

#### **4.8. Биохимические процессы разложения твердой фазы в двухъярусном отстойнике**

Особенность устройства двухъярусного отстойника (эмшера) заключается в следующем. Сточная жидкость проходит в отстойнике по осадочным желобам, один край которых заходит за другой. Твердая фаза, проваливаясь в щели, попадает в нижнюю септическую часть и накапливается в ней слоем до 7 м. Благодаря этому ни один пузырек газа анаэробного распада не поступает обратно в сточную жидкость, протекающую по желобам. Поэтому жидкость, выходящая из двухъярусного отстойника, не содержит газов анаэробного брожения. Газы выходят в атмосферу через "газовые пазухи". Выпуск перегнившего септического ила производится через иловую трубу под влиянием гидростатического напора подаваемой сточной жидкости.

Разложение органических веществ в двухъярусном отстойнике может идти по типу щелочного или кислотного брожения. При щелочном брожении процесс протекает по схеме:

**органические вещества + микробы = жирные кислоты + микробы ==метан, углекислота, водород, спирты, окись углерода.**

**вещества**

**1-й фазы**

**2-й фазы**

Сброженный осадок имеет черный цвет и запах каучука. После выгрузки на иловые площадки он быстро подсыхает.

При кислотном брожении микробы 2-й фазы не успевают за работой микробов 1-й фазы. В результате накапливаются жирные кислоты. Осадок становится грязно-желтым, появляется запах сероводорода, так как в кислотной среде сероводород практически не вступает в реакцию с ионами железа, содержащимися в сточных водах. Если кислотное брожение не удастся приостановить, то вся бродящая масса поднимается со дна и выливается на окружающую территорию. Основными причинами кислотного брожения являются передозировка подаваемого ежедневно свежего осадка или же примесь промышленных кислотных сточных вод, снижающих рН среды.

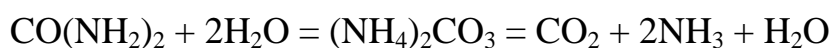
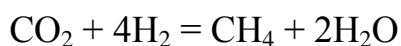
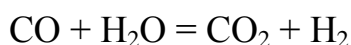
Процесс сбраживания осадка в двухъярусном отстойнике длится от 1 до 6 месяцев. Сброженный осадок сохраняет яйца гельминтов и патогенные микробы. Однако объем твердой фазы значительно уменьшается, и осадок быстро подсыхает. По сравнению с септиком разложение органических веществ в двухъярусном отстойнике происходит гораздо глубже, в нем значительно большая часть органических веществ переходит в газ. Перемешивание бродящей массы при частичном удалении донного осадка также способствует интенсификации разложения твердой фазы. При низких температурах процесс сбраживания практически невозможно осуществить, поэтому в северных районах эмшеры применять нецелесообразно.

#### **4.9. Биохимические процессы, протекающие в метантенке**

Метантенки представляют собой железобетонные бродильные камеры цилиндрической формы. В метантенки поступает твердая фаза сточных вод после отделения жидкой фазы в первичном отстойнике. Брожение твердой фазы в метантенке происходит при искусственном подогреве. Подогрев производится либо паром, циркулирующим по змеевику, погруженному в бродящий осадок, либо горячей водой, подаваемой в метантенк в количестве

5% от его объема. При повышении температуры на 10-20°C интенсивность процесса брожения увеличивается в 2-3 раза, поэтому анаэробное разложение твердой фазы сточных вод в метантенках протекает исключительно глубоко. Габариты метантенков зависят от суточного объема осадка, подвергающегося сбраживанию. Брожение твердой Фазы в метантенках осуществляется при 2-х температурах: мезофильной (30-35°C) и термофильной (50-55°C). При термофильном брожении интенсивность разложения выше, чем при мезофильном. Перемешивание бродящей массы производится механическими мешалками и частично выделяющимся газом.

Из 1 м<sup>3</sup> твердой фазы сточной жидкости в метантенках образуется от 10 до 18 м<sup>3</sup> газа, состоящего из метана (~70%) и углекислого газа (~30%). Метан используется в качестве топлива, а из углекислого газа возможно получение сухого льда. Образование метана происходит в процессе брожения из жирных кислот, окиси углерода и различных спиртов:



Состав выделяемых газов представлен в таблице 1.

Таблица 15.1

Состав газов, образующихся в метантенке

Газ	Мезофильное брожение. Количество, объемн. %	Термофильное брожение. Количество, объемн. %
CO <sub>2</sub>	28,5	33,5
CH <sub>4</sub>	65,0	62,0
N <sub>2</sub>	6,5	4,5
H <sub>2</sub>	0,001	0,003



Термофильные условия, в отличие от мезофильных, вызывают отмирание патогенных бактерий кишечной группы и яиц гельминтов в течение первых суток. Поэтому сброженный в этих условиях осадок можно применять в качестве удобрения без дополнительной обработки. В этом осадке содержатся значительные количества азота, фосфора и кальция в так называемой "подвижной форме", т.е. в форме, которая активно усваивается растениями и ускоряет их рост. При мезофильном брожении яйца гельминтов и патогенные микроорганизмы полностью сохраняют свою жизнеспособность.

Сброженный осадок может использоваться в виде топлива. Для этого его подсушивают на иловых площадках, а затем при помощи формовочной машины изготавливают топливные кирпичи.

С целью ускорения процесса распада органических веществ в метантенки добавляются концентраты бактериальных культур, в присутствии которых газообразование повышается на 70%.

## ЛИТЕРАТУРА

1. ЭБС Книгофонд: Куранова Н.Г. Микробиология ч.1: уч.- СПб:Прометей,2013
2. Сватовая Л.Б. Современная химия: уч. Пособие. М.:Маршрут,2013
3. ЭБС Книгофонд: Иванова Е.П.,Дроздова Т.Е.Основы микробиологии и биотехнологии.М:МГОУ,2010
4. Барановский А.В.,Никулин А.В. Химия воды и основы водоподготовки: уч.- Рязань,2013
5. Барановский А.В.,Никулин А.В. Физико-химические основы технологических процессов водополготовки: уч.- Рязань,2014
6. ЭЭЭ: Комплексный тренажер по эксплуатации технологических схем водоподготовки ТЭЦ
7. ЭЭЭ: Каталог трехмерных моделей оборудования водоподготовки электростанций
8. ЭЭЭ: Электронный учебник «Водоподготовка в энергетике»

Подписано в печать 10.03.14. Формат 84x108/32  
Гарнитура Таймс. Печать офсетная.  
Бумага мелованная. Усл. Печ. л. – 3,25.  
Тираж 50 экз.

Издательство НОУ ВПО СТИ  
390008, г. Рязань, ул. Новоселов, 35А.  
(4912) 300630, 30 08 30