

Тема 106

ПЕРЕРАБОТКА РАСТИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ СИЛОСОВАНИЕМ И КОМПОСТИРОВАНИЕМ

План лекции

Получение силоса

Стадии силосования растительной массы

Факторы, от которых зависит качество силоса

Силосные добавки

Компостирование

Стадии компостирования

Организация процесса компостирования

Вопросы в экзаменационных билетах

- 1. Силосование. Биологические и технологические основы.**
- 2. Силосные добавки для повышения качества силоса.**
- 3. Компостирование. Биологические и технологические основы.**

Кн. 2, т.1, с. 368-387

Получение силоса - *анаэробный* процесс.
Компостирование – *аэробный* процесс.

ПОЛУЧЕНИЕ СИЛОСА

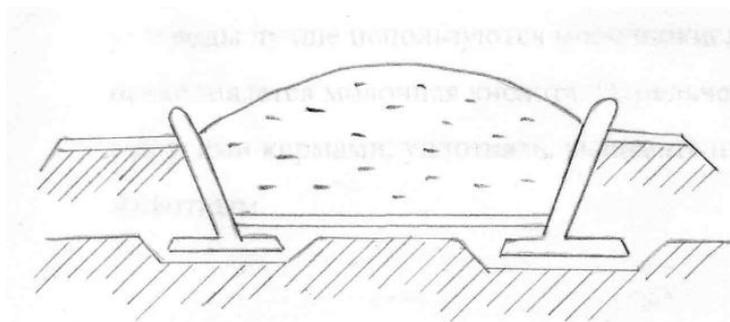
Силосование используется для повышения питательной ценности растительного корма и его консервации.

Силосованию подвергают траву.

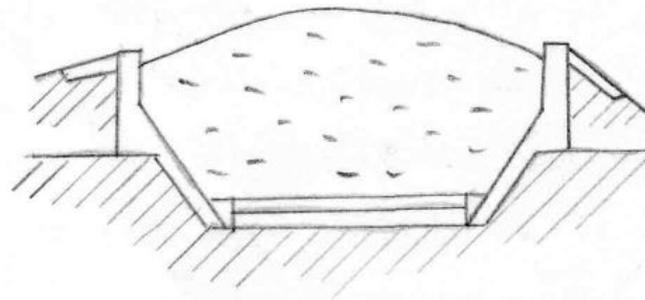
В состав травы входят **структурные углеводы** (гемицеллюлоза, целлюлоза) и **запасные углеводы** (ферментируемые сахара). В травах умеренного пояса волокна обычно составляют 30-40% от СВ, основные запасные углеводы, фруктаны или гемицеллюлозы - 5-7% от СВ, **истинные ферментируемые сахара** (фруктоза, глюкоза, сахароза) - около 10% от СВ. У бобовых основной запасной углевод - крахмал.

Траву закладывают для силосования в бурты. Сбор трав для закладки силосных буртов лучше проводить в относительно ранней стадии роста, когда высоко содержание ферментируемых сахаров, а содержание волокон - низкое. На силос закладывают массу с 25-30% сухого вещества. Если содержание СВ < 25%, - используются силосные добавки для достижения хорошей ферментируемости и уменьшения потерь силоса.

Силосование проводят в ямах, траншеях, буртах или силосных башнях.



А. Наземные траншеи



Б. Полузаглубленные траншеи

Схема траншей для силосования.

Траншеи устраивают по возможности на возвышенном месте.

Наземные траншеи сооружают на участках с ровным рельефом и высоким уровнем грунтовых вод. Они имеют высоту не более 3 м.

Заглубленные и полузаглубленные траншеи, глубиной не менее 3 м, устраивают на участках с низкопроницаемыми глинистыми, суглинистыми грунтами со сравнительно низким уровнем грунтовых вод.

Стены и днища траншей изготавливают из бетона, железобетона, кирпича, сборных железобетонных элементов.

Для стока атмосферных и дренажных вод около силосных сооружений устраивают канавы.

В результате силосования получают силос усредненного состава:

СВ	20-23%
аммонийный азот, % от общего	7-10%
сырой протеин	14-16%
перевариваемый сырой протеин	80-110 г/кг
pH	4,0-4,2

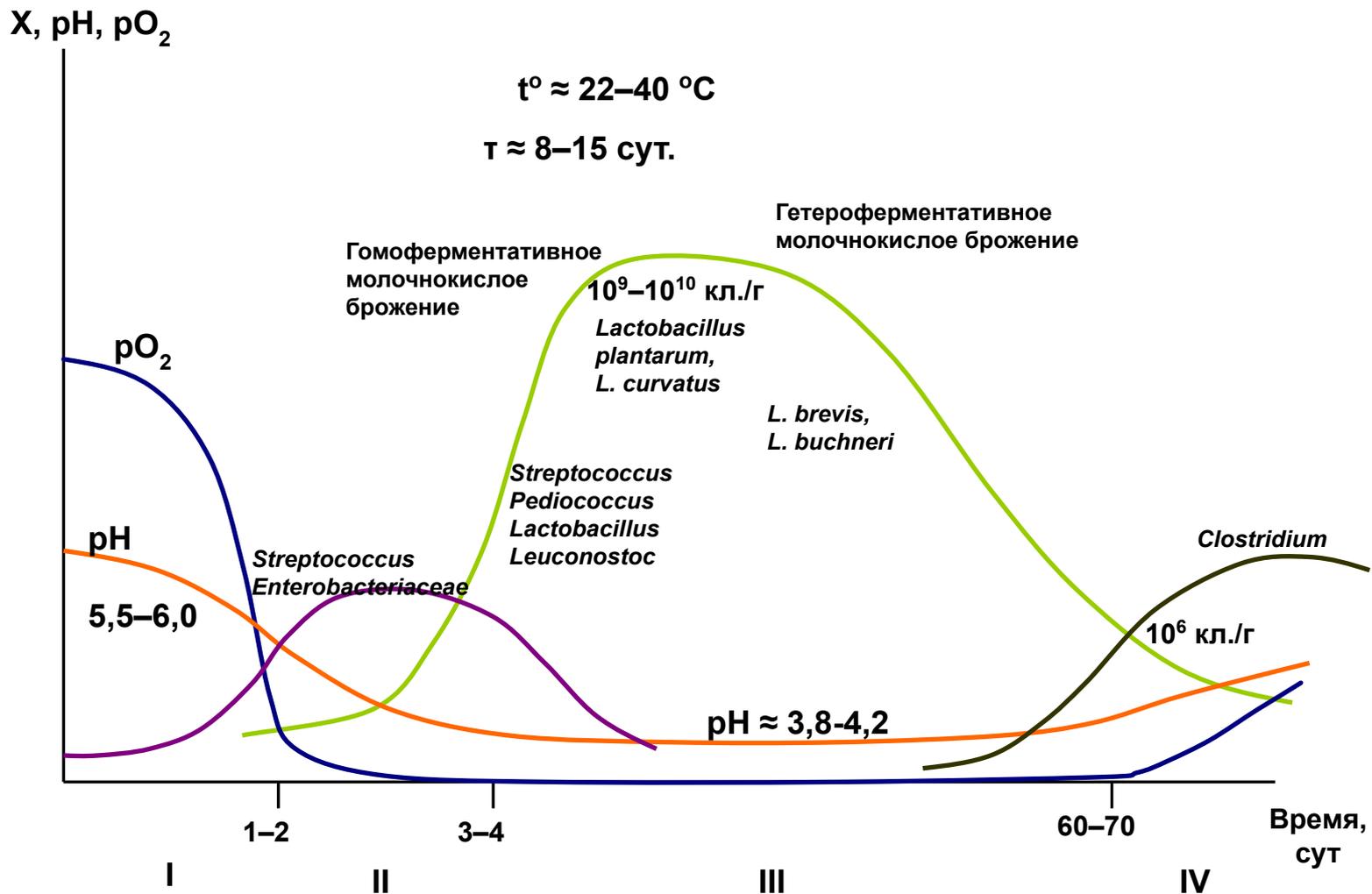
Стадии силосования растительной массы

I. Аэробная стадия.

На этой стадии наблюдается потребление захваченного атмосферного кислорода в сырье растительными ферментами в еще дышащих растениях и размножение аэробных бактерий, входящих в состав эпифитной (на поверхности листьев) микрофлоры силосуемых растений. Стадия непродолжительна.

II – IV. Анаэробные стадии.

II. Развитие молочнокислых стрептококков и представителей семейства *Enterobacteriaceae*. В растительной массе накапливаются молочная и уксусная кислоты. Стадия непродолжительна.



Развитие микробного сообщества при созревании и консервации силоса холодным способом

III. **Развитие лактобацилл.** Эта фаза наиболее продолжительна и является определяющей в созревании силоса. За силосование ответственны 4 рода молочнокислых бактерий (*Lactobacillus*, *Pedococcus*, *Streptococcus*, *Leuconostoc*). Со временем в силосной микрофлоре начинают доминировать семейство *Lactobacillaceae*.

В начале силосования размножаются гомоферментативные лактобациллы (*Lactobacillus plantarum* и *L. curvatus*), осуществляющие гомоферментативное брожение сахаров с образованием молочной и уксусной кислоты



В процессе этого брожения потерь сухих веществ нет, потери энергии незначительны.

К концу этой стадии начинают доминировать гетероферментативные виды (*L. buchneri*, *L. brevis*), сбраживающие сахара с образованием молочной кислоты и этанола и выдерживающие более высокие концентрации накапливающейся уксусной кислоты:



При гетероферментативном брожении наблюдаются потери сухого вещества – около 20%.

В естественной микрофлоре преобладают гетероферментативные молочнокислые бактерии.

В ходе силосования за счет образования молочной и уксусной кислоты pH постепенно понижается и стабилизируется на уровне 3,8-4,2. Концентрация молочнокислых бактерий достигает 10^9 - 10^{10} кл/г на 8-15 сутки силосования, температура повышается до 22-40 °С. Силос, содержащий достаточно молочной кислоты, чтобы активность микроорганизмов была в нем угнетена, оказывается законсервированным. За время консервации количество микроорганизмов постепенно снижается и падает до 10^6 кл/г за ~60 сут, pH за это время постепенно возрастает.

IV. Развитие бактерий р. *Clostridium*. Они начинают развиваться в силосе при pH > 5,0, используя оставшиеся углеводы, молочную кислоту и аминокислоты силоса, образуют масляную кислоту, которая слабее, чем молочная, и аммиак. В результате постепенно снижается кислотность и более интенсивно развиваются гнилостные микроорганизмы, что приводит к порче силоса.

Факторы, от которых зависит качество силоса

При закладке силосных буртов важно:

- создать **анаэробные условия**,
- обеспечить **доминирование молочнокислых бактерий** (их общее количество должно быть 10^5 - 10^6 бактерий/г силосной массы),
- растительное сырье должно содержать много СВ- сухих веществ и особенно **РВ- редуцирующих веществ** (сахаров).

В районах с умеренным климатом содержание сахаров в растительной массе более низкое, при таких условиях доминируют гетероферментативные молочнокислые бактерии.

Если **СВ и РВ мало**, силосные бурты плохо укрыты и обеспечивается **большой доступ кислорода**, то $\text{pH} > 4,0$ и в силосной массе развиваются энтеробактерии и клостридии, которые утилизируют молочную кислоту, белок, остаточные РВ, что приводит к утрате пищевой ценности силоса. Вместо молочной кислоты может накапливаться масляная, которая слабее, чем молочная.

Если в сырье **много бобовых**, то для достижения необходимого pH потребуется больше молочной кислоты из-за высокой буферной емкости белков бобовых.

Если в силосной массе мало молочнокислых бактерий, то при анаэробных условиях могут развиваться **дрожжи**, образуя этанол и CO_2 . Консервация не происходит.

Внесение **азотных удобрений** перед скосом травы может увеличить содержание аммонийного и нитратного азота. При содержании общего азота > 100 г/кг трудно достичь значений pH до ингибирующего активность клостридий уровня. Кроме того, за счет нитратредукции $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NH}_4^+$ происходит повышение pH .

Для улучшения процесса консервации силоса используют **силосные добавки**. Силосные добавки могут быть **ингибиторами** и **стимуляторами ферментации**. **Ингибиторы** - кислотные добавки (серная и муравьиная кислота) и консерванты (формальдегид, параформальдегид). **Стимуляторы** - источники углеводов - патока и барда, молочнокислые бактерии, ферменты.

Силос с $\text{pH} < 3,0$ неприятен для животных и вызывает ацидоз в рубце (оптимальное значение pH 3,6-4,0), поэтому использование **кислотных добавок** не очень эффективно.

Формальдегид используют в виде 40% раствора, которым опрыскивают силос. Через 100 дней остается только 20% от исходного содержания формальдегида, что приводит к порче силоса. Формальдегид к тому же ухудшает качество и перевариваемость белков. Свободный формальдегид может переноситься в молоко. Более оптимальным является использование смеси формальдегида и муравьиной или серной кислоты. **Параформальдегид** более устойчив и препятствует интенсивному разрушению белков, ингибируя преимущественно маслянокислое брожение, а не всю силосную микрофлору.

Добавки **патоки, барды** увеличивают СВ, содержание молочной кислоты и уменьшают вследствие этого pH . Добавки вносят в количестве ~50 г/кг силосной массы. Высокое содержание фруктозы в патоке способствует росту гетероферментативных бактерий, что уменьшает количество молочной кислоты в силосе и вызывает нестабильность молочнокислого брожения.

Более перспективны **биологические силосные добавки**: молочнокислые бактерии, ферменты. Большая часть биологических силосных добавок содержит те виды молочнокислых бактерий, которые способствуют молочнокислому брожению в силосе. Применение заквасок чистых культур молочнокислых бактерий особенно результативно при силосовании относительно трудносилосуемых растений. Для силосования используют штаммы, обладающие значительной ферментативной активностью. Используют, например, добавки *Lactobacillus plantarum* (активный рост при pH < 5,0) совместно с добавками *Pedicoccus* и *Streptococcus spp.* (активны при pH от 5,0 до 6,5 - т.е. на ранней стадии силосования) в соотношении 3 : 1. Такие добавки вызывают быстрое падение pH за 24 ч. Этим сохраняется энергетическая и белковая ценность силоса: ингибируется рост *Clostridium spp.* и ограничивается рост гетероферментативных бактерий.

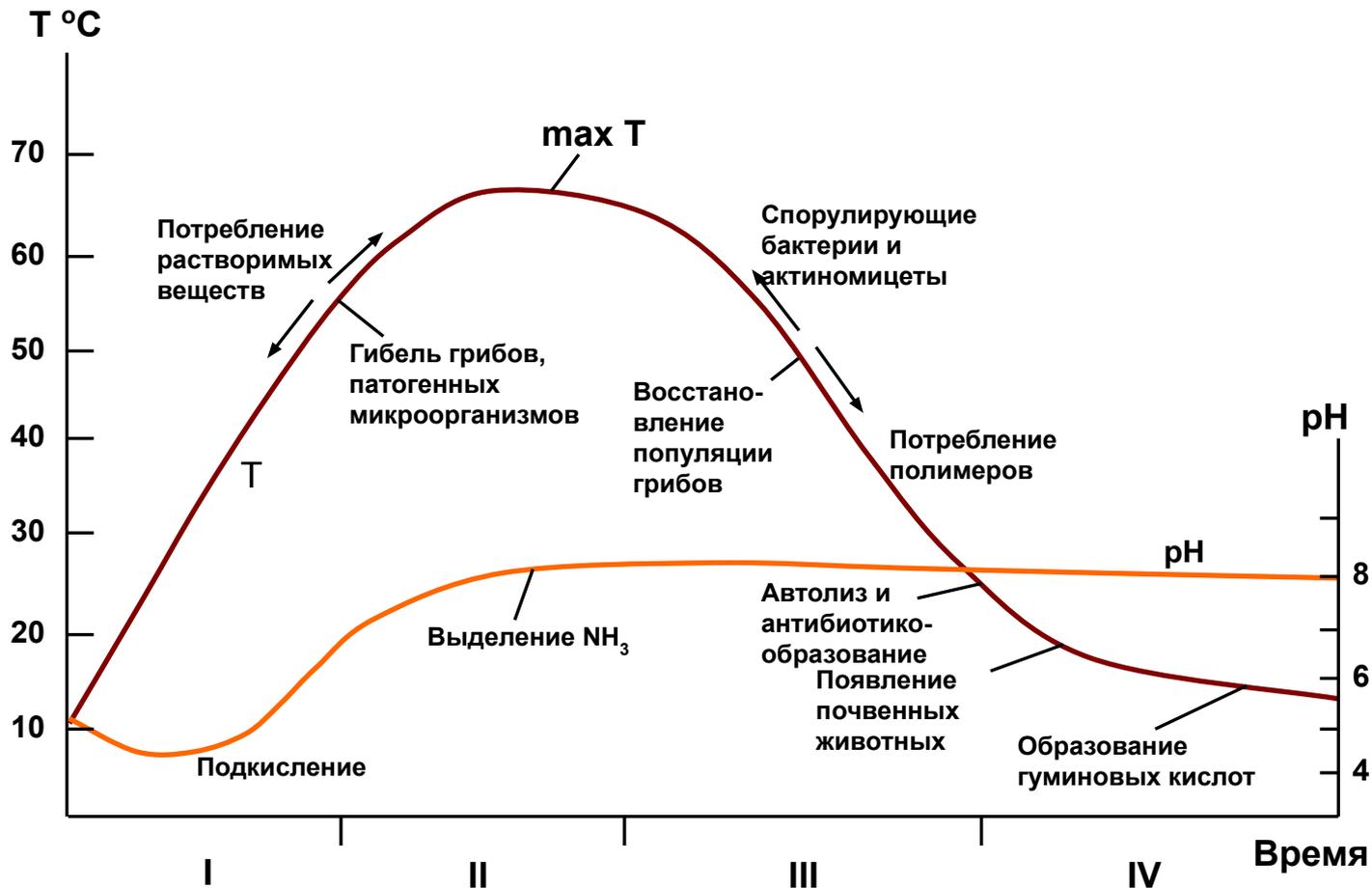
Биологические силосные добавки второго поколения включают кроме микроорганизмов ферменты гидролиза запасных полисахаридов до гексоз и пентоз. Однако такие добавки не гидролизуют лигнин и целлюлозу в условиях силосования. Новейшие биологические добавки содержат целлюлолитические и гемицеллюлолитические ферменты.

КОМПОСТИРОВАНИЕ

Компостирование - экзотермический процесс биологического окисления, в котором органический субстрат подвергается аэробной биодegradации смешанной популяцией микроорганизмов в условиях повышенной температуры и влажности. В процессе биодegradации окисляется до 40% органического вещества, а оставшийся органический субстрат претерпевает физические и химические превращения с образованием стабильного гумифицированного конечного продукта.

С помощью компостирования решаются 2 задачи:

- 1) переработка малотоксичных, но неприятных отходов в менее неприятные для окружающей среды;
- 2) получение ценного для сельского хозяйства продукта - органического удобрения и средства, улучшающего структуру почвы. Компосты могут, например, использоваться для выращивания грибов.



Стадии компостирования

I – мезофильная стадия, II – термофильная стадия, III – остывание, IV - созревание

Стадии I - III протекают в течение дней и недель.

Стадия IV – несколько месяцев.

Организация процесса компостирования

Так как стоимость компоста низка, сложные процессы компостирования не используются.

Для проведения и ускорения процесса компостирования перерабатываемый субстрат собирают в кучи, бурты, гряды, ямы.

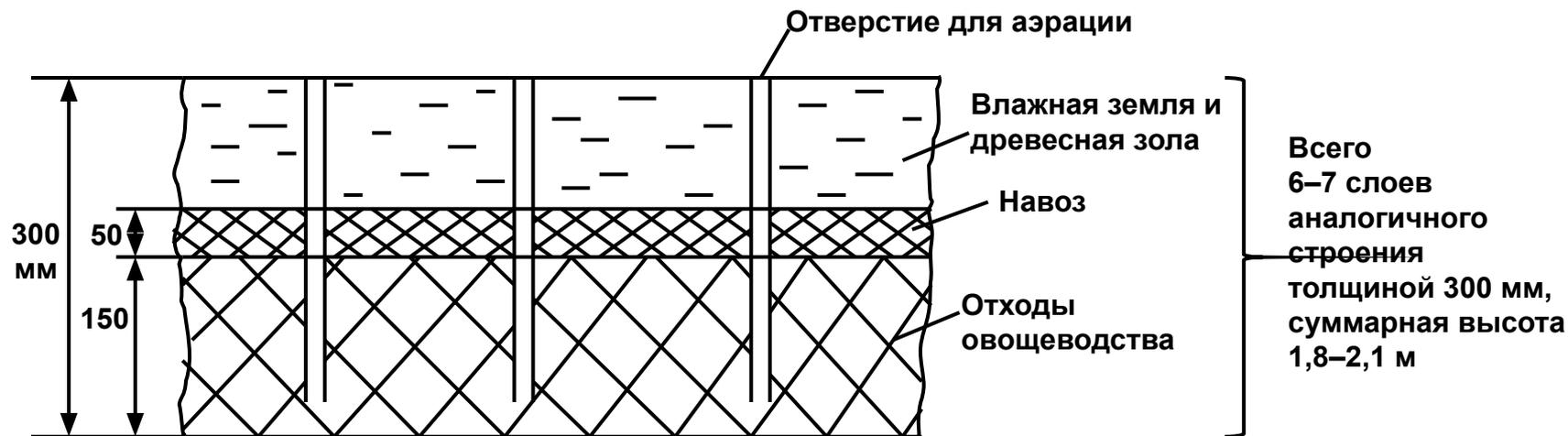


Схема компостной гряды

Устраивают также **компостные ряды, бурты, штабели с принудительной аэрацией** – с помощью каналов или труб, расположенных под компостируемым материалом. Аэрация кучи обеспечивается откачиванием воздуха или вдуванием воздуха в каналы.

Штабели и бурты с принудительной аэрацией формируются высотой до 4–5 м. Форма штабеля трапециевидная с шириной поверху 2–3 м. Расход воздуха составляет 0,4–0,9 м³ на 1 м² штабеля в час при скорости движения воздуха 0,2–0,4 м/с.

Используют также механизированную переработку: стадия биодegradации проводится в **колодцах, отсеках, силосах, сбразивателях, барабанах, биореакторах**. Задача этих процессов – реализовать набор оптимальных параметров в виде недорогих, но надежных систем для компостирования.



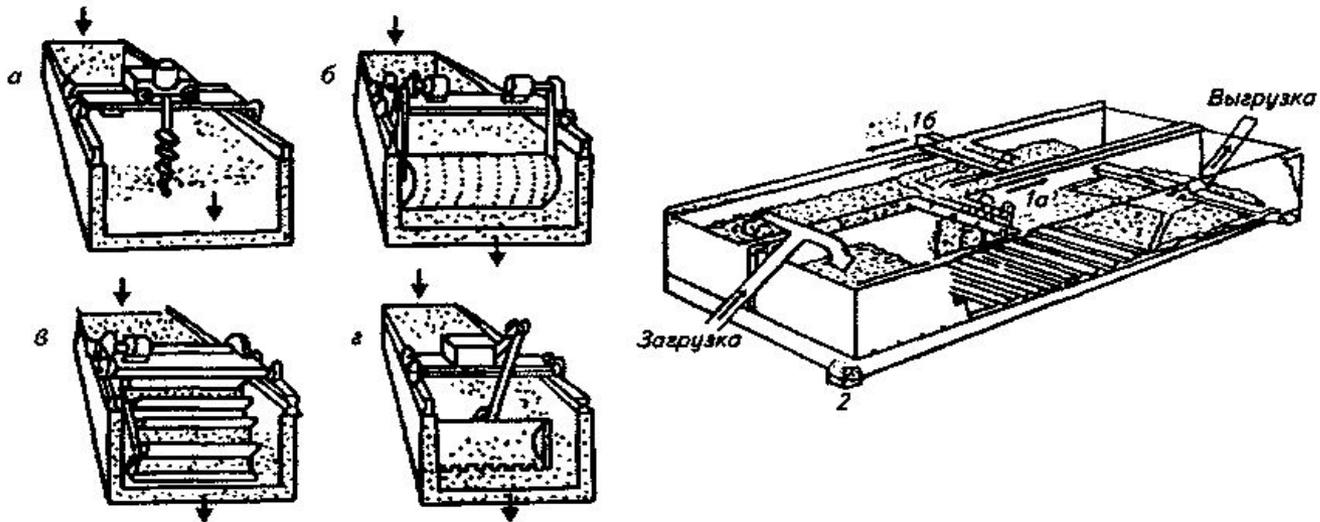
Компостные бурты при крупномасштабном полевом компостировании



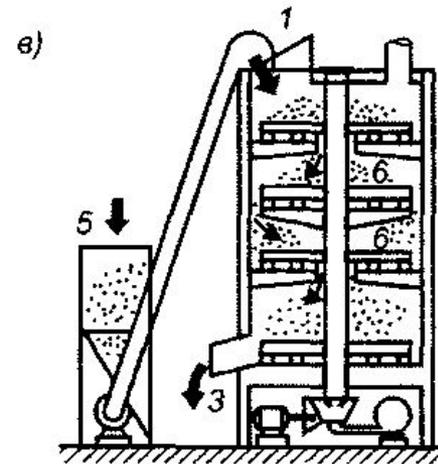
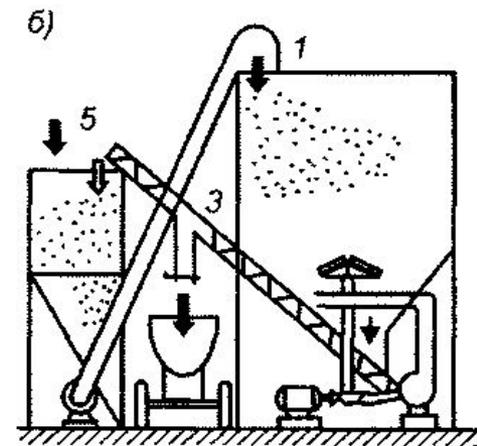
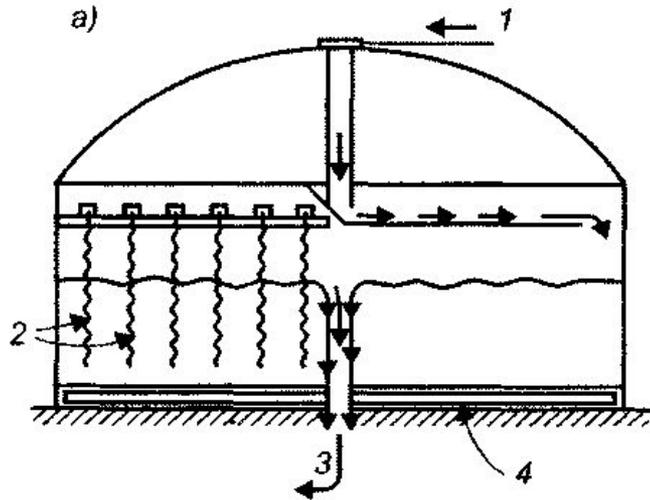
Механизированное рыхление компостной гряды в полевых условиях

Примеры механизированных систем компостирования

Механизированное компостирование проводится в два этапа: первый – **ускоренное разложение органического материала** в условиях контролируемых температуры, влажности, аэрации; второй – **дозревание** полученной компостной массы в течение 3–4 недель в буртах или штабелях на площадках или в реакторах, где она стабилизируется, обеззараживается и высушивается.



Варианты перемешивающих устройств с перемещающимся валом, используемые при компостировании в механизированных траншейных системах



Устройство вертикальных биореакторов для компостирования:
 а) с перемешиванием внутри реактора; б) с одноступенчатым циклом; в) с многоступенчатым многоэтажным циклом;
 1 – подача компостной смеси; 2 – смесительные устройства; 3 – выгрузка компоста; 4 – система аэрации воздухом; 5 – смеситель; 6 – поды.

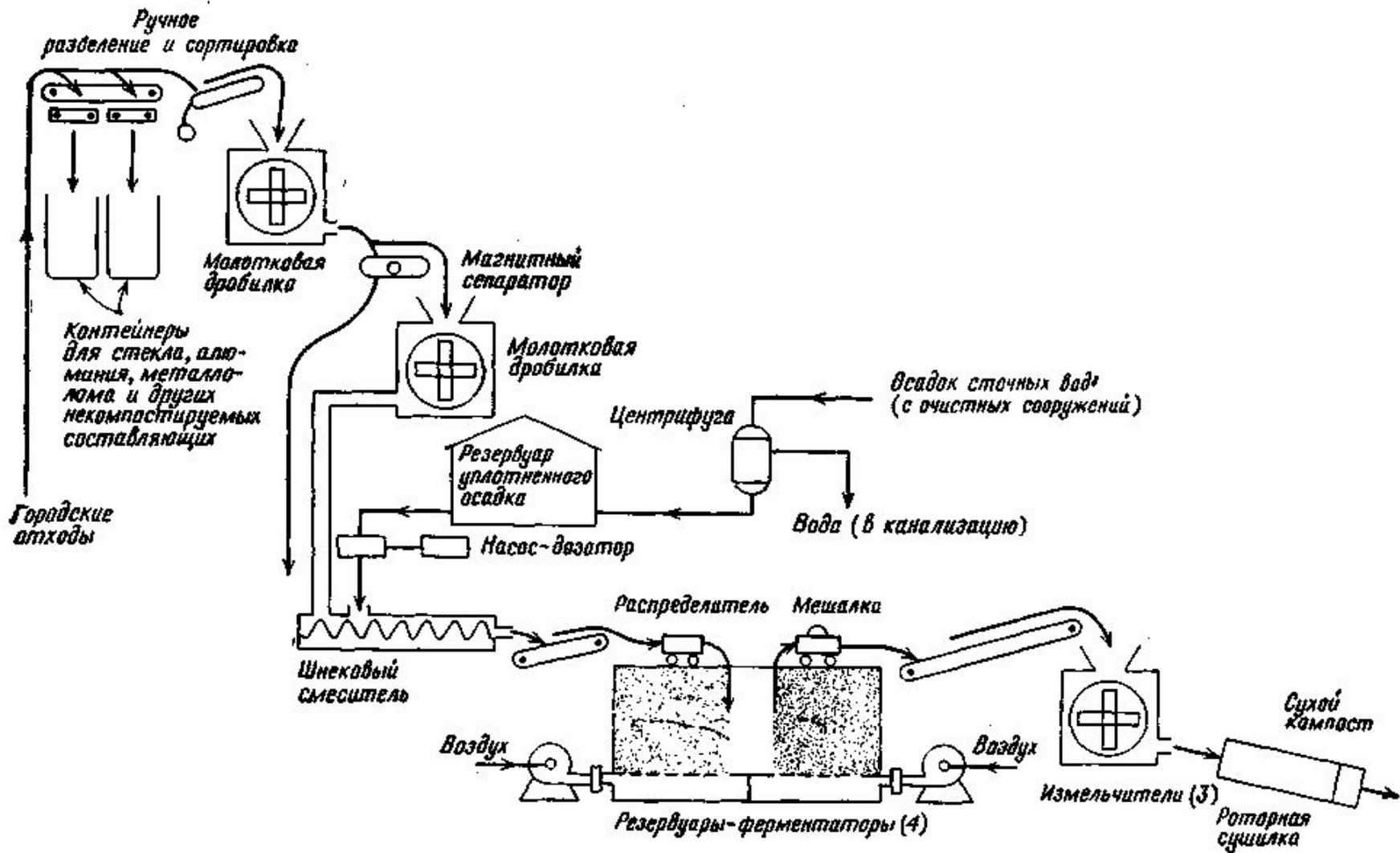


Схема системы компостирования твердых городских отходов и осадка сточных вод

Недостатки промышленных механизированных технологий компостирования:

- высокая стоимость сооружений, в 5–10 раз превышающая стоимость сооружений для компостирования осадка в штабелях,**
- сложность эксплуатации;**
- затраты энергии на приготовление 1 т продукта составляют 20–200 кВт.ч; цена высококачественного компоста – 30–50 долл. США за 1 т сухой массы.**
- компостирование можно проводить в течение всего года, но так как наибольшим спросом компост пользуется весной и осенью, то необходимы площадки и емкости для его хранения.**

Для окисления белкового материала в соответствии с уравнением:



расходуется около 1,5 кг O₂/кг органического субстрата с **выделением тепла** около 14,2 МДж/кг O₂ (около 21 МДж/кг органического вещества) при скорости тепловыделения 20–30 Вт/кг СВ. Тепла, выделяемого при окислении 1 кг органического вещества, хватает для испарения 5 кг влаги. Часть влаги из осадка удаляется за счет естественного испарения.

В больших кучах температура может достигать 80–90 °С. Для поддержания оптимальной температуры организуют **испарительное охлаждение** с помощью принудительной аэрации.

Предварительное **измельчение** увеличивает поверхность субстрата и скорость компостирования, однако требует энергетических затрат. Энергетические затраты на измельчение составляют: при измельчении до 50 мм – около 8 Вт.ч/кг; до 12,5 мм – около 20 Вт.ч/кг.

Перемешивание используется для уменьшения анаэробных зон, диспергирования крупных фрагментов субстрата, что увеличивает удельную поверхность, обеспечивает переработку большей части сырья в термофильных условиях и ускоряет созревание компоста. Смесь в буртах перемешивают на протяжении 30–45 сут. несколько раз (через 6–8 сут.). Однако чрезмерное перемешивание вызывает охлаждение и высыхание компостируемой массы, разрывы в мицелии актиномицетов и грибов или разрушение структуры сырья и превращение его во влажную гомогенную массу.

Для компостирования важно **оптимальное соотношение углерода, азота и фосфора** в закладываемой массе. Соотношение углерода к азоту должно находиться в пределах **20 : 1 – 30 : 1**. Содержание фосфора должно составлять 0,5–1,0% от СВ компоста. Поэтому для компостирования смешивают различные компоненты.

Примерные соотношения С : N в компостируемых органических отходах:

мочевина	0,43	трава, сорняки	20
высушенная кровь	3	твердые отбросы	35
нечистоты, фекалии	8	листья	60
сырой активный ил	8	пшеничная солома	80
костная мука	8	рисовая солома	100
навоз	14	сырые древесные опилки	500
отходы пивоварения	15	бумага	>1000
водяной гиацинт	16		

Материалы с большим содержанием **влаги** необходимо смешивать с твердым материалом, сорбирующим влагу, который обеспечит смесь дополнительным углеродом и создаст нужную для аэрации **структуру смеси**.

Оптимальные значения параметров при компостировании в кучах, грядах, штабелях, буртах:

Соотношение С : N	20 : 1 – 30 : 1
Содержание сухих веществ	30–50%;
Содержание органического вещества в компостируемой массе	не менее 50% от СВ
Влажность	50–70% (бóльшие значения возможны при использовании наполнителей).
Свободный объем	~30%.
Аэрация	0,6–1,8 м ³ воздуха/сут.кг летучей части твердых веществ, поддержание концентрации кислорода в газовой фазе в пределах 7–18%
Температура	55–65 °С
pH среды	6,0–8,0
Размер частиц систем с перемешиванием и принудительной аэрацией;	10–60 мм, оптимальный 12–13 мм для систем с перемешиванием и принудительной аэрацией;
Перемешивание	50 мм для компостных гряд в случае естественной аэрации.
рыхлении 1–3 раза в неделю в течение трех недель в простых системах;	Без перемешивания, при периодическом рыхлении 1–3 раза в неделю в течение трех недель в простых системах;
короткие периоды энергичного перемешивания в механизированных системах.	короткие периоды энергичного перемешивания в механизированных системах.
Размеры гряд	любая длина, высота 1,5–3,0 м и ширина 2,0–7,0 м для гряд, буртов и компостных куч с естественной аэрацией; в случае принудительной аэрации размеры должны препятствовать перегреву.

Типичный состав компоста (% по сухой массе):

органические вещества	25–80
С	8–50
N	0,4–3,5
P	0,1–1,6
K	0,4–1,6
Ca (в виде CaO)	0,7–1,5
pH компоста	6,5–7,5.

Необходимо контролировать **уровень тяжелых металлов** в компосте.

Компост можно вносить в почву в качестве удобрений каждые 3–4 года (если содержание тяжелых металлов в нем не превышает норму). Типичные нормы внесения компоста – 5–10 т/га по сухому веществу.