



Уральский  
федеральный  
университет

имени первого Президента  
России Б.Н.Ельцина

Химико-  
технологический  
институт



# ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

## БИОЭНЕРГЕТИКА



Уральский  
федеральный  
университет

имени первого Президента  
России Б.Н.Ельцина

Химико-  
технологический  
институт

# Цель данного раздела -

познакомить студентов с основными направлениями развития биоэнергетики как в России, так и в других странах мира. Рассмотреть характеристики и технологии получения основных биотопливных продуктов, их перспективы с точки зрения получения и использования.



Уральский  
федеральный  
университет

имени первого Президента  
России Б.Н.Ельцина

Химико-  
технологический  
институт

# Содержание раздела

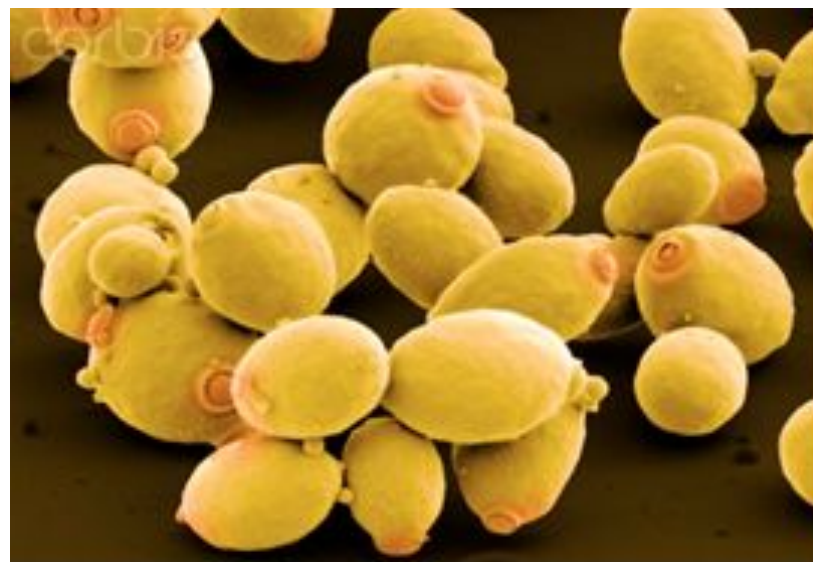
- Классификация биотоплива.
- Биоэтанол. Получение биоэтанола в промышленности. Перспективы развития технологии получения биоэтанола.
- Биодизель. Получение биодизеля.
- Другие виды биотоплива.

# Классификация биотоплива

- **Биотопливо** – это твердое, жидкое или газообразное топливо, получаемое из **биомассы** термохимическим или биологическим способом.
- Классифицируют по агрегатному состоянию:
  - твердые
    - дрова, пеллеты, топливные брикеты
  - жидкие
    - биоэтанол, биометанол, биодизель, биобутанол и др.
  - газообразные
    - биогаз (биоводород, биометан), диметиловый эфир.
- Классифицируют по поколениям:
  - 1 поколение
    - получаемые традиционными технологиями
  - 2 поколение
    - получаемые не из пищевого сырья (напр. целлюлоза, лигнин, отработанные масла)
  - 3 поколение
    - получаемые из водорослей

# Биоэтанол

- Этиловый спирт классифицируют на пищевой и технический спирт.
- Пищевой спирт производят из пищевого сырья.
- Сырьем для производства спирта может быть крахмалосодержащее и сахаросодержащее сырьё.
- В качестве продуцента в спиртовой промышленности используют дрожжи:
  - отдела *Ascomycetes*,
  - семейства *Saccaromycetaceae*,
  - рода *Saccaromyces*,
  - вида *Saccaromyces cerevisiae*.



- Мировое производство биоэтанола в 2005 году составило 36,3 млрд литров, из которых 45 % пришлось на Бразилию и 44,7 % – на США.
- Этанол в Бразилии производится преимущественно из сахарного тростника, а в США – из кукурузы.
- Биоэтанол уже находит широкое применение в качестве топлива:
  - **E5, E7, E10** — смеси с низким содержанием этанола (5, 7 и 10 весовых процентов, соответственно), наиболее распространённые в наши дни. В этих случаях добавка этанола не только экономит бензин путём его замещения, но и позволяет удалить вредную оксигенирующую добавку МТБЭ.
  - **E85** — смесь 85 % этанола и 15 % бензина. Стандартное топливо для т.н. «[Flex-Fuel](#)» машин, распространённых, в основном в Бразилии и США, и в меньшей степени — в других странах
  - **E95** — смесь 95 % этанола и 5 % топливной присадки. Компания [Scania](#) начала разрабатывать дизельный двигатель для автобуса, работающий на 95 % этаноле в середине 80-х годов.
  - **E100** — формально 100 % этанол, под E100 подразумевают стандартную азеотропную смесь этанола (96 %  $C_2H_5OH$  и 4 % воды, (по весу); 96,5 % и 3,5 % в объёмных процентах).

- **Биоэтанол** — обычный этанол, получаемый в процессе переработки растительного сырья для использования в качестве биотоплива.
- Для производства биоэтанола можно использовать любые продукты с высоким содержанием крахмала:
  - Кукуруза
  - Сахарный тростник
  - Маниок
  - Пшеница
- Целлюлоза. Считается наиболее перспективным видом сырья. Многие лаборатории мира проводят исследования с целью удешевления производства биоэтанола из целлюлозосодержащего сырья.

# СТАДИИ ПОЛУЧЕНИЯ ЭТАНОЛА В ПРОМЫШЛЕННОСТИ ИЗ КРАХМАЛОСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ

- Подготовка и измельчение крахмалистого сырья — зерна, картофеля, кукурузы и т. п.
- Ферментативное осахаривание крахмала с приготовлением сусла.
- Ферментация. Осуществляется под действием дрожжей.
- Ректификация. Осуществляется на разгонных колоннах.



Отходами бродильного производства являются барда и сивушные масла.

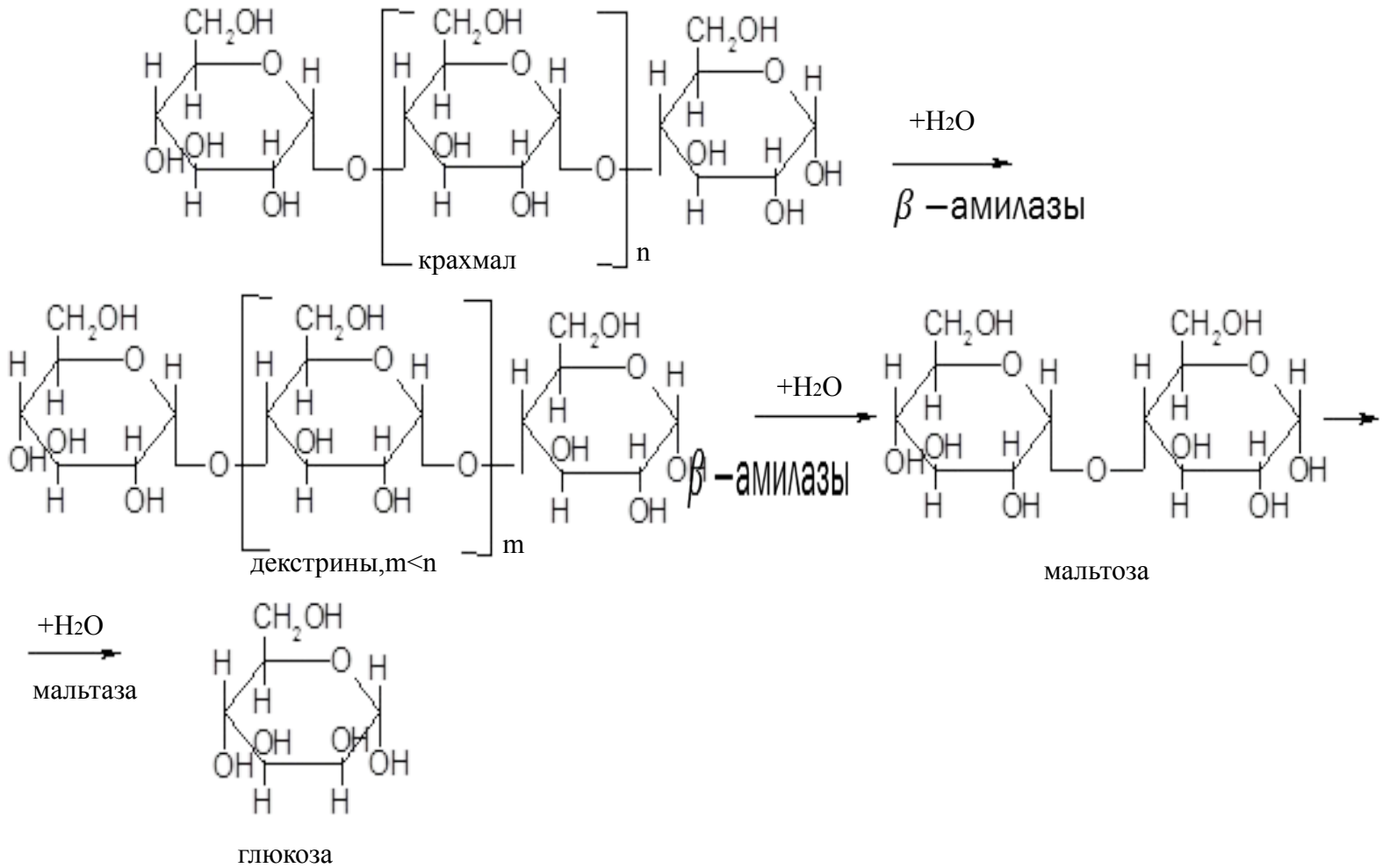
Барда используется для производства кормов.

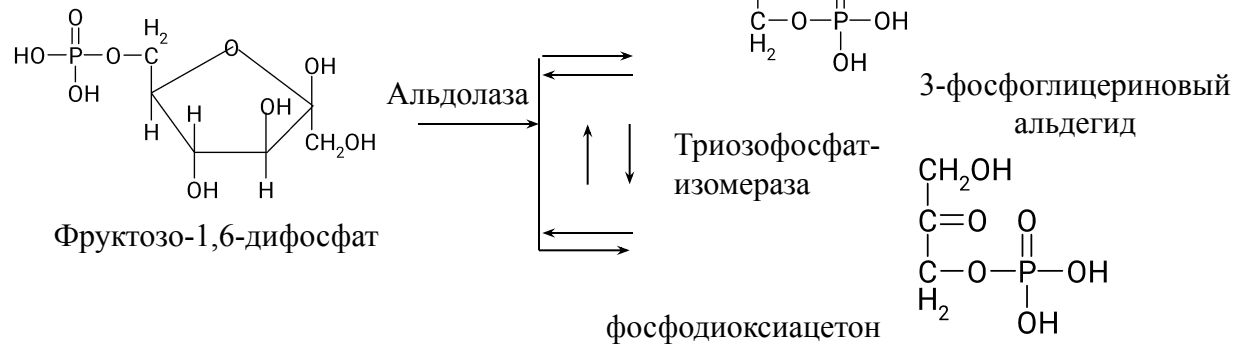
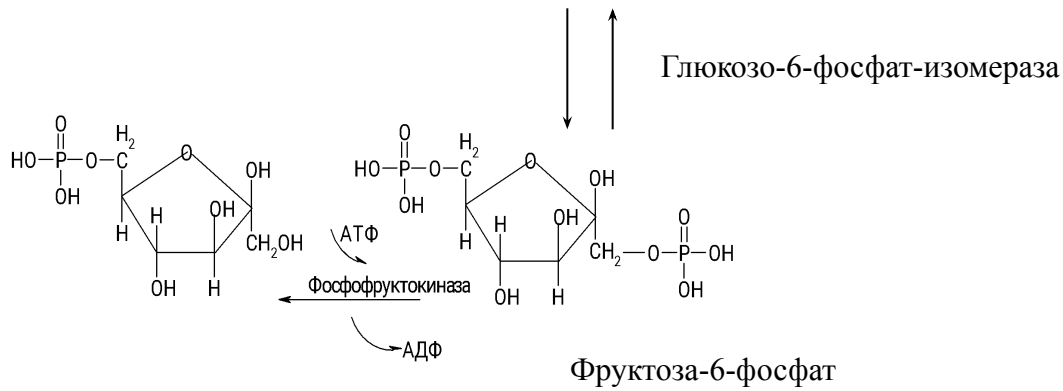
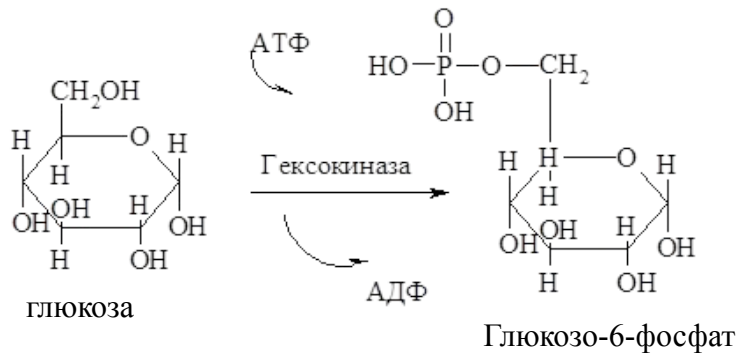


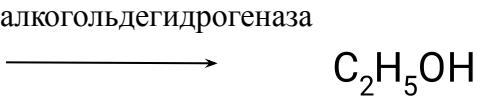
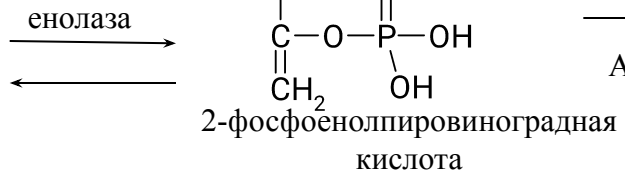
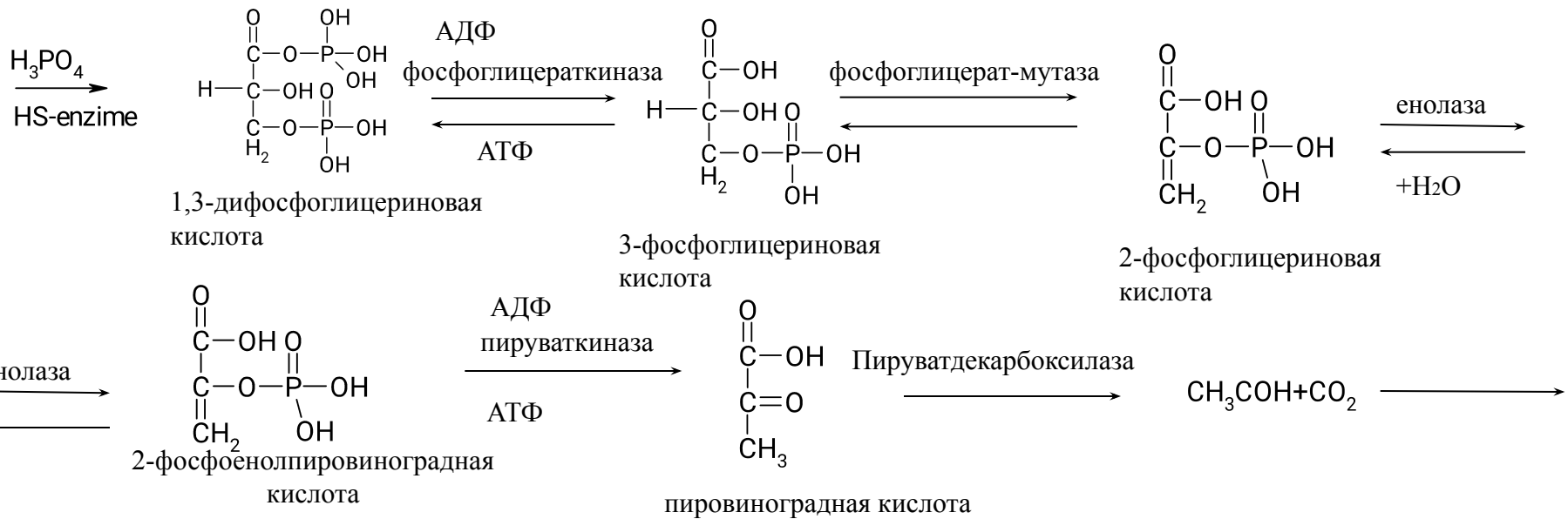
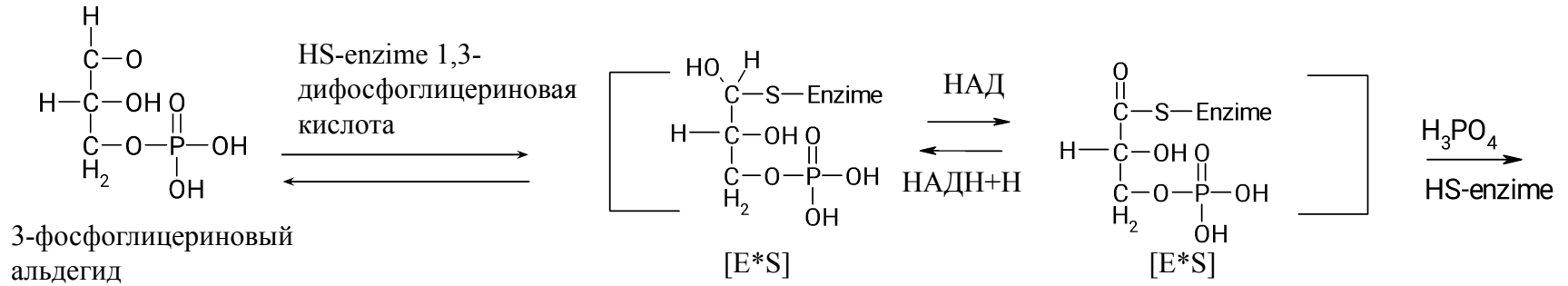
# Спиртовое брожение

Сбраживание полученных под воздействием ферментов углеводов дрожжами с образованием этанола идет гликолитическим путем.

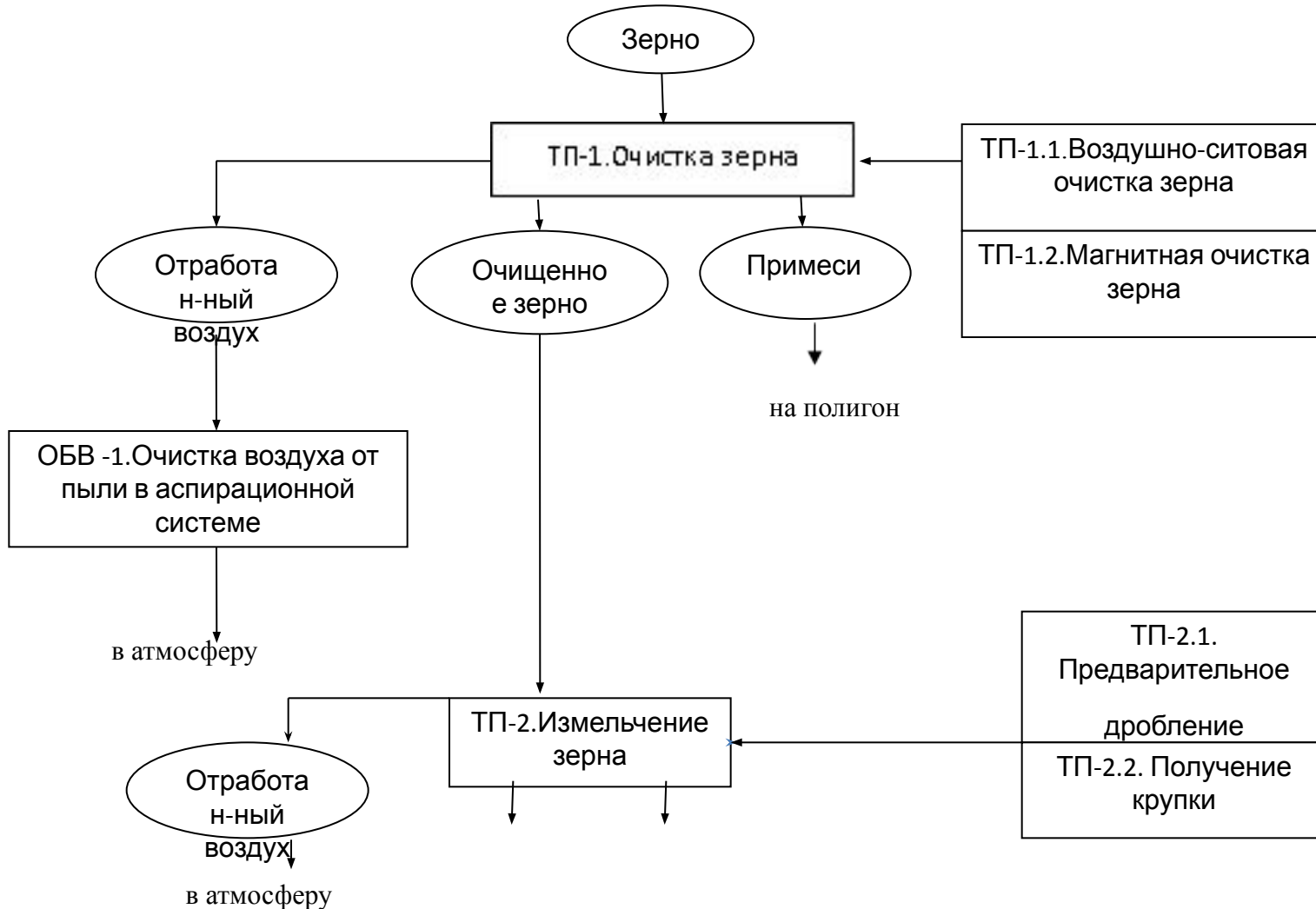
Образовавшийся в результате пируват под влиянием пируватдекарбоксилазы превращается в ацетальдегид, который затем присоединяет к себе водород, отщепляемый от НАДН, восстанавливается под действием алкогольдегидрогеназы до этанола.





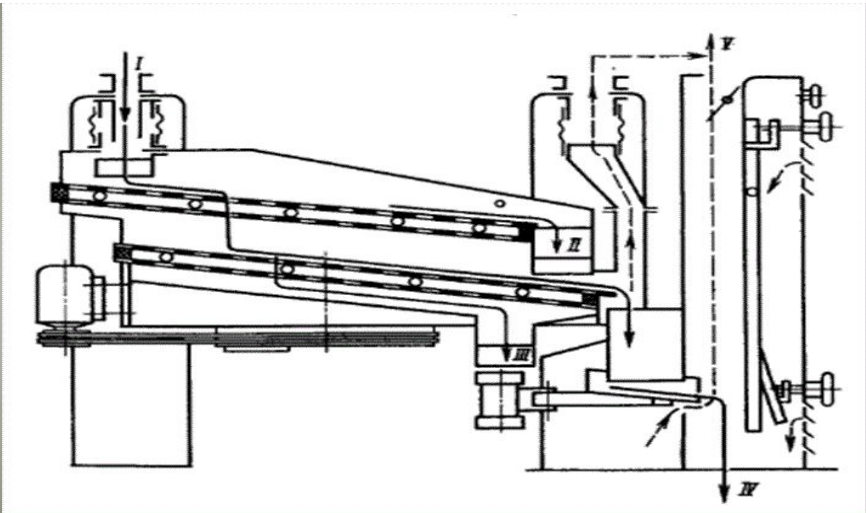


# Технологический процесс получения этилового спирта из крахмалосодержащего сырья (зерна пшеницы)



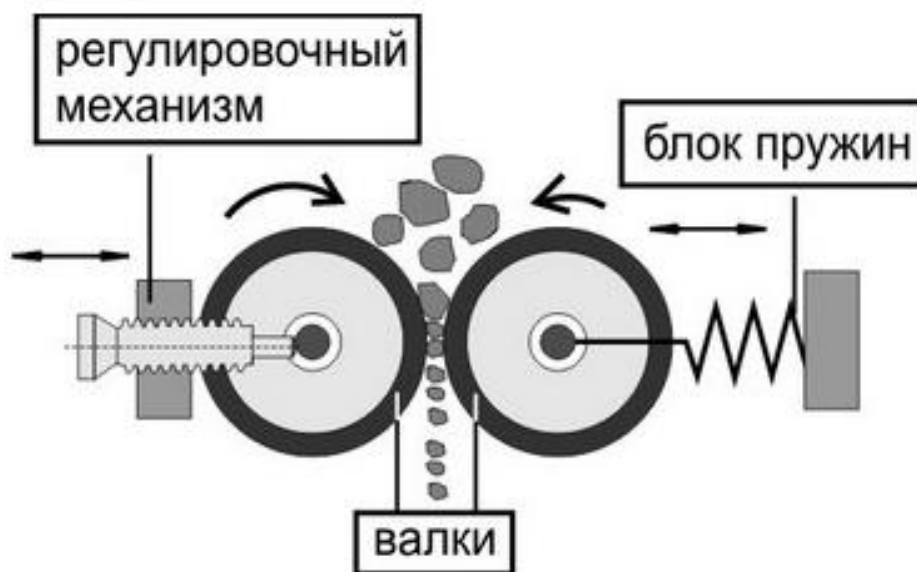
# Описание технологического процесса

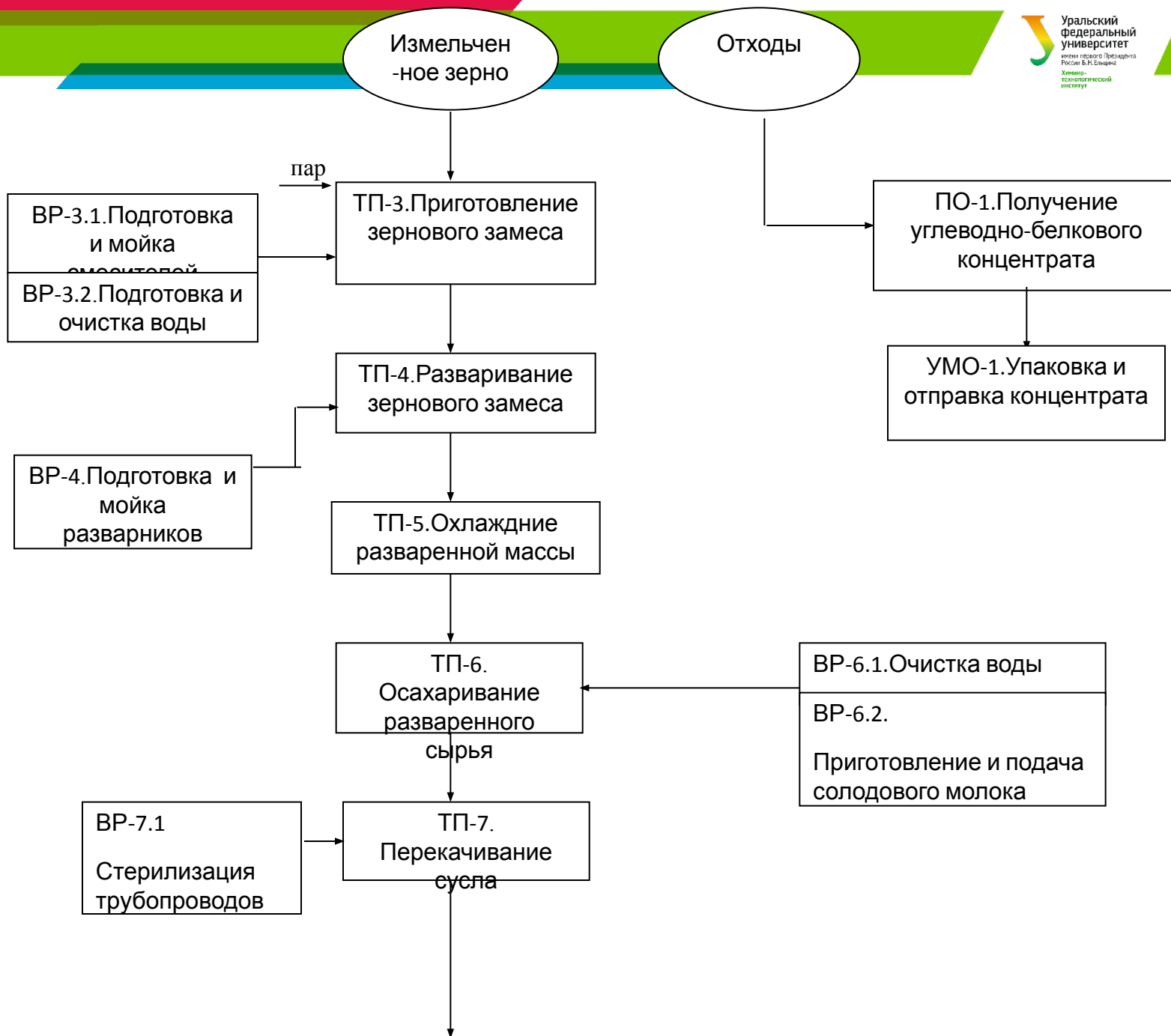
Очистка зерна проводится на воздушно - ситовых и магнитных сепараторах. Основным элементом воздушно - ситовых сепараторов является сито, колебание которого обеспечивает движение зерна. Основным элементом магнитных сепараторов - блок магнитов.



Измельчение зерна в целях увеличения гидролиза крахмала проводят на вальцевых дробилках.

Основным элементом вальцевых дробилок является два вращающихся на встречу друг другу валка, между которыми происходит раздавливание и истирание зерна.



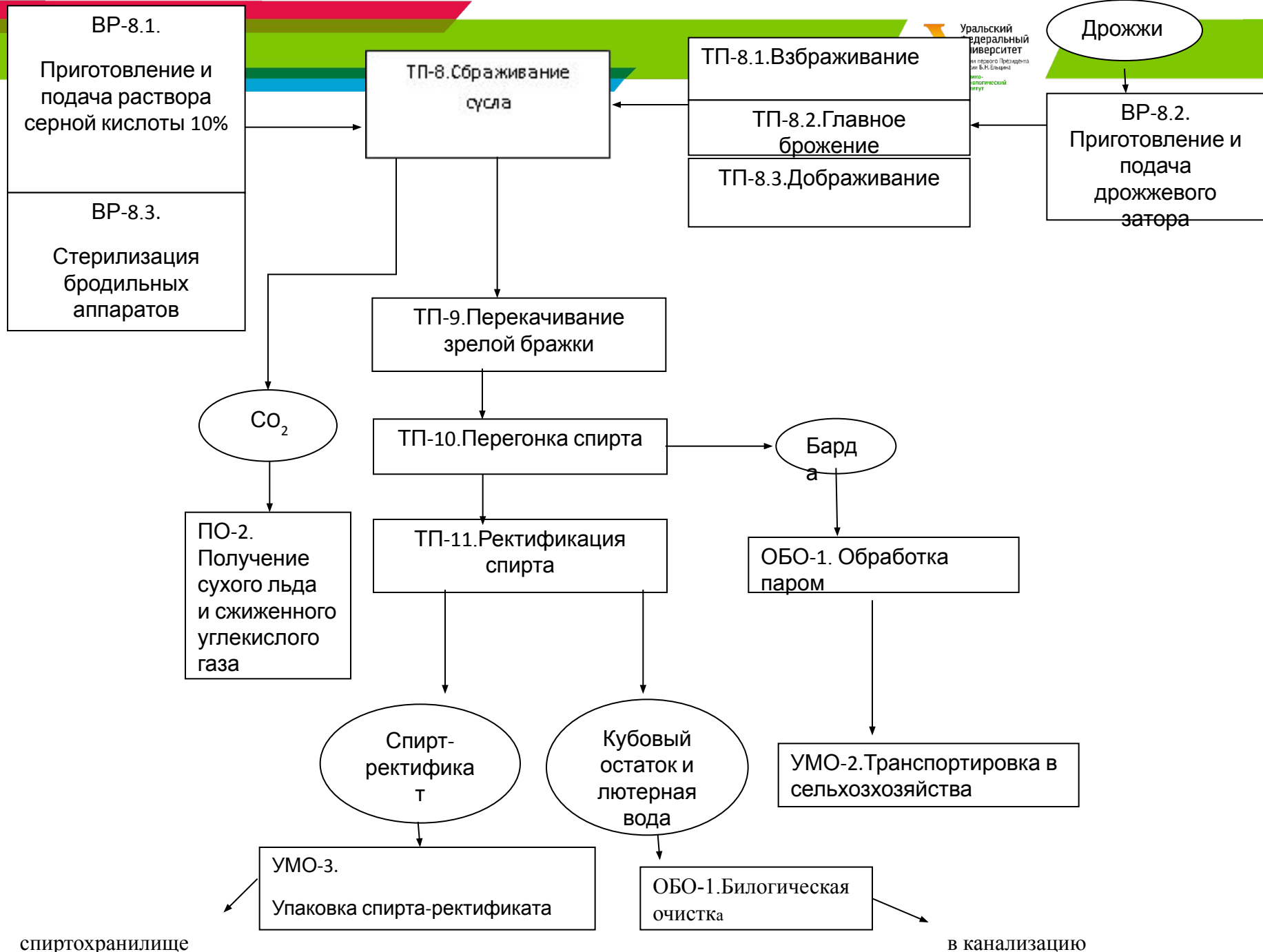




- Разваривание осуществляется паром для разрушения клеточных стенок, освобождения крахмала и перевод его в растворимую форму, в которой он легче осахаривается ферментами.
- Разваривание проводят в стальном цилиндрическом с коническим днищем аппарате, имеющим рубашку для охлаждения зерновой массы.
- Температура процесса  $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ , время 1,5-2 часа.

- Следующая стадия - осахаривание.
- Осуществляют солодовым молоком, полученным путём смешения воды и солода (проросшие зёрна пшеницы, обладающие высокой ферментативной активностью) или ферментативными препаратами микробного происхождения.
- Температура осахаривания 57-58 °С, оптимальная для амилолитических ферментов.
- Осахариватель - стальной цилиндрический аппарат с коническим днищем, имеющий рубашку и мешалку.
- В результате получаем сусло.





спиртохранилище

в канализацию

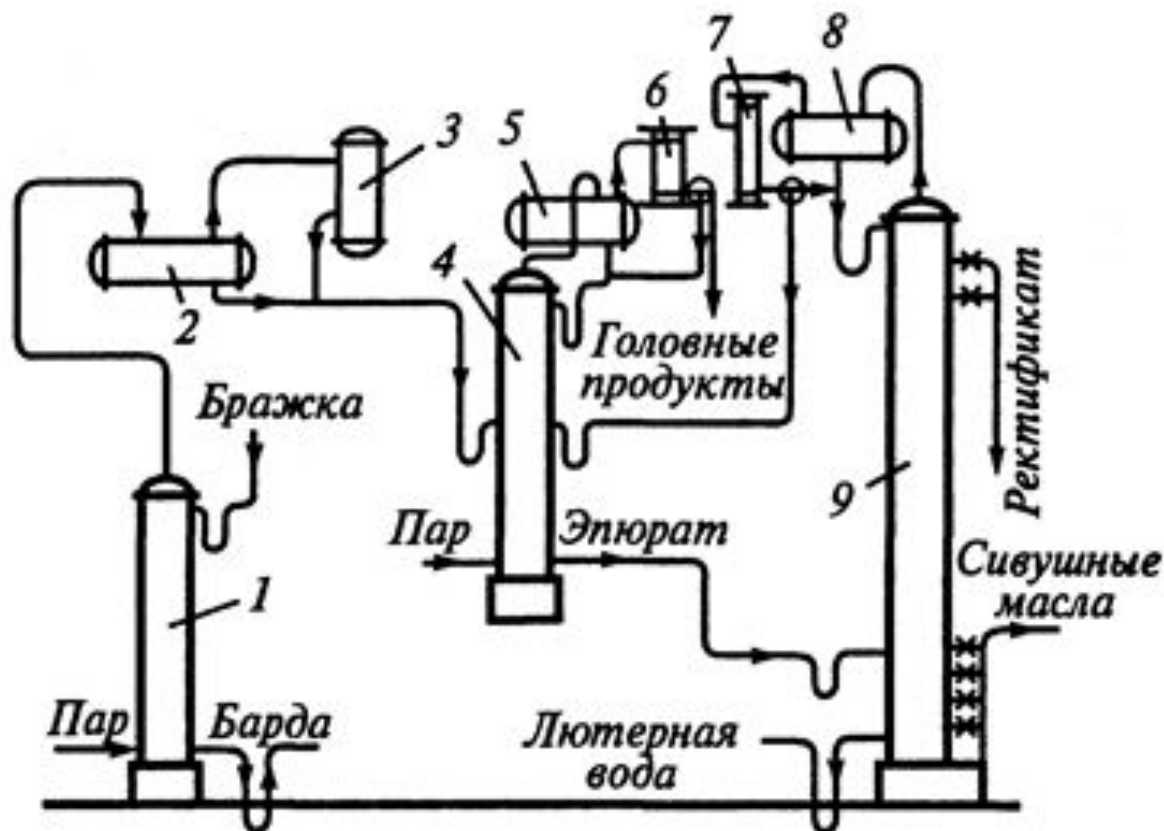
- Главная стадия - брожение.
- Оптимальная температура осахаривания 28-30 °С.
- В сусло вносят предварительно приготовленный дрожжевой затор в количестве 3-10 % от объёма сусла.
- Брожение осуществляют в бродильных аппаратах, представляющих собой цилиндрическую ёмкость с коническим дном, крышкой и змеевиком для отвода тепла.
- Брожение осуществляют дрожжи в свободном или иммобилизованном состоянии.
- В конце брожения получается бражка с содержанием спирта 10-12% и углекислый газ.



- В настоящее время используют иммобилизацию клеток дрожжей в криогеле, например криогеле поливинилового спирта (ПВС).
- Такой гель образуется в результате замораживания концентрированных растворов ПВС, их выдерживания в замороженном состоянии.
- Криогель играет роль носителя. На основе криогеля изготавливают гранулы.

- Целью спиртового производства является получение спирта хорошей очистки и крепостью не менее 86%.
- Для этого проводят перегонку и ректификацию спирта из бражки.
- В зависимости от температуры кипения все примеси можно разделить на две группы:
  - низкокипящие (головные) с температурой кипения ниже, чем у этилового спирта
  - высококипящие (хвостовые) - с температурой кипения выше 78,3°C.

# Перегонно - Ректификационное отделение



Перегонка спирта включает в себя следующие основные этапы:

- перекачивание бражки в бражную колонну;
- подогрев бражки до температуры кипения этилового спирта;
- конденсация образовавшегося пара;
- сбор полученного дистиллята и перекачивание в эспюрационную колонну;
- утилизация барды



Ректификация пищевого спирта состоит из основных этапов:

- отбор головных фракций;
- отбор фракции пищевого спирта;
- отбор хвостовых фракций



Ректификационная колонна с контактными элементами

- **Преимущества биоэтанола:**
- Этанол является менее «энергоплотным» источником энергии, чем бензин (это касается только смесей с высоким содержанием этанола) пробег машин работающих на E85 (смесь 85 % этанола и 15 % бензина; буква «E» от английского Ethanol) на единицу объёма топлива составляет примерно 75 % от пробега стандартных машин.
- Позволяет снизить выбросы диоксида углерода, являющегося парниковым газом.
- В 2006 году применение этанола в США позволило сократить выбросы около 8 млн тонн парниковых газов, что примерно равно годовым выхлопам 1,21 млн. автомобилей.

- **Недостатки биоэтанола:**

- Главной проблемой производства биоэтанола из товарной сельскохозяйственной продукции, в первую очередь из зерна, является сокращение доли земель, занятых под производство кормовых и пищевых культур и, как следствие, рост цен на продовольствие.
- Так, по оценкам бюджетного комитета Конгресса США, вклад роста использования зерна для производства этанола в повышении цен на продовольствие в 2008 г. составил 35 %.

# Получение гидролизного спирта из целлюлозосодержащего сырья

- Таким образом получают технический этиловый спирт.
- Этанол, получаемый дрожжевым брожением сахароподобных веществ, полученных гидролизом целлюлозы под действием серной кислоты.
- Самый экономный способ производства этилового спирта.
- На гидролизных заводах из 1 т древесины получают до 200 л этилового спирта, что позволяет заменить 1,5 т картофеля или 0,7 тонн зерна.



ОАО "Тулунский гидролизный завод"

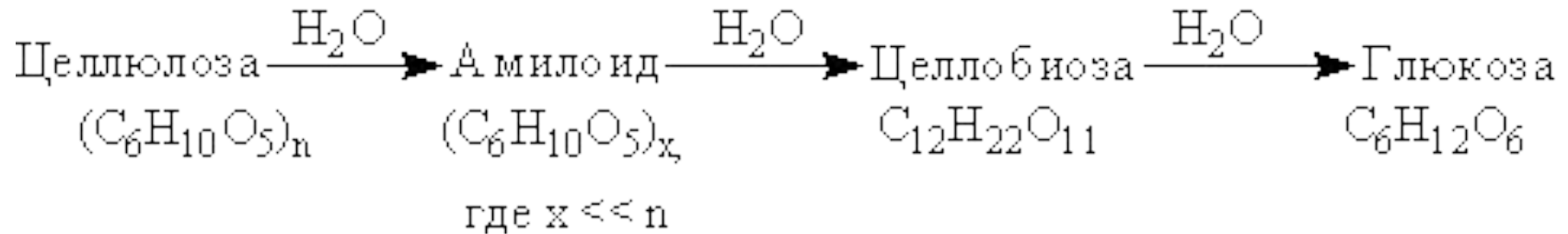
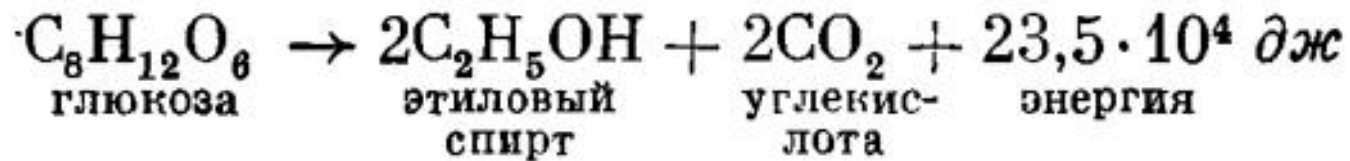
# Сырьё для производства гидролизного спирта

- отходы лесопильных и деревообрабатывающих предприятий, а также древесина в виде брёвен с лесозаготовок.

## Химический состав абсолютно сухой древесины различных

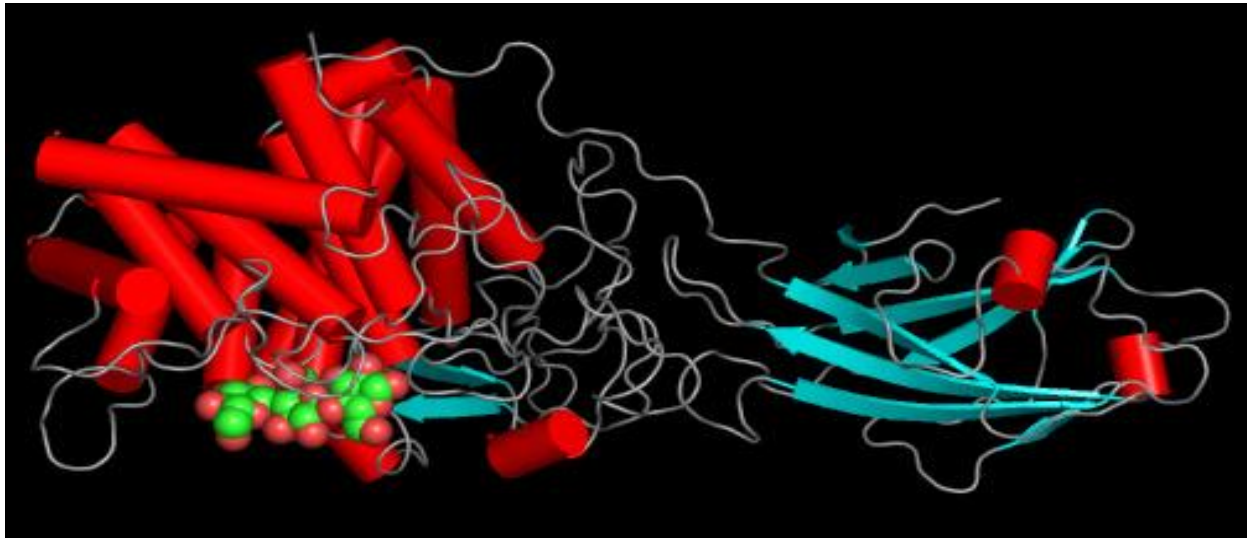
Компонент	Ель	древесных пород, %			Берёза бородавчатая	Осина
		Сосна обыкновенная	лиственница сибирская	Дуб сибирская		
Целлюлоза	46,10	44,10	41,20	35,70	35,38	41,77
Лигнин	28,07	24,68	29,87	24,61	19,74	21,81
Гексоназы (без целлюлозы)	12,65	15,24	11,30	15,33	4,92	3,61
Пентоназы (без уроновыхк-т)	8,95	7,60	7,02	7,13	24,57	18,56
Уроновые к-ты	4,15	4,00	3,60	3,45	5,71	7,96
Зольность	0,27	0,17	0,53	0,22	0,14	0,26

## Биохимия процесса

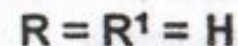
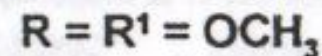
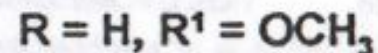
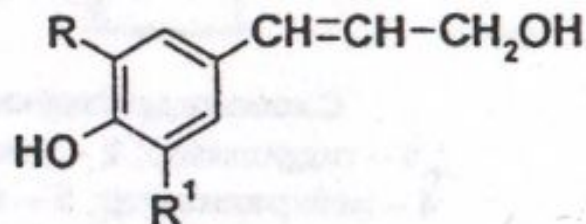


# Ферментативный гидролиз целлюлозы

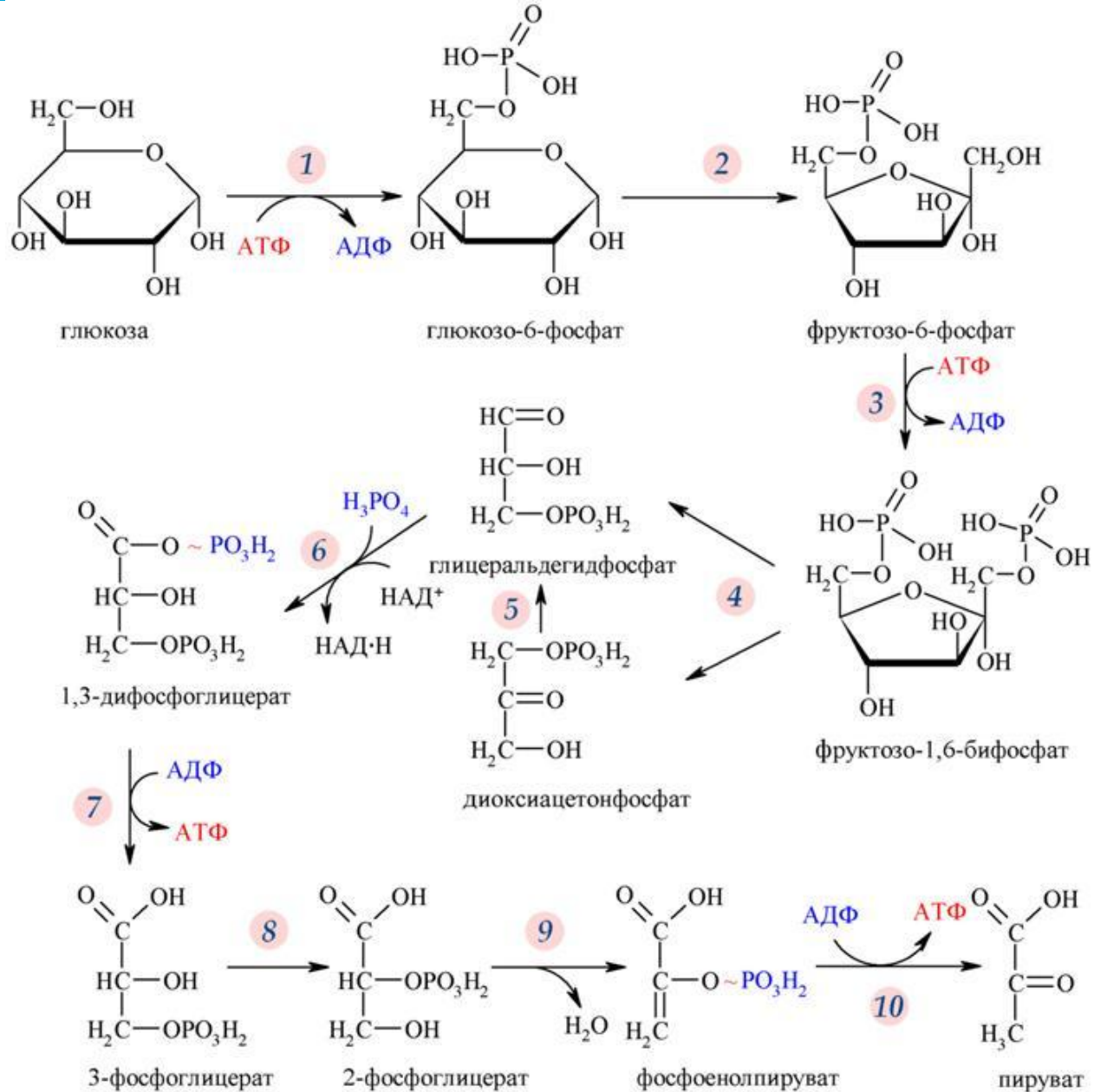
- 1) Использование целлюлазы
- 2) Иммуобилизация фермента



# Кислотный гидролиз целлюлозы







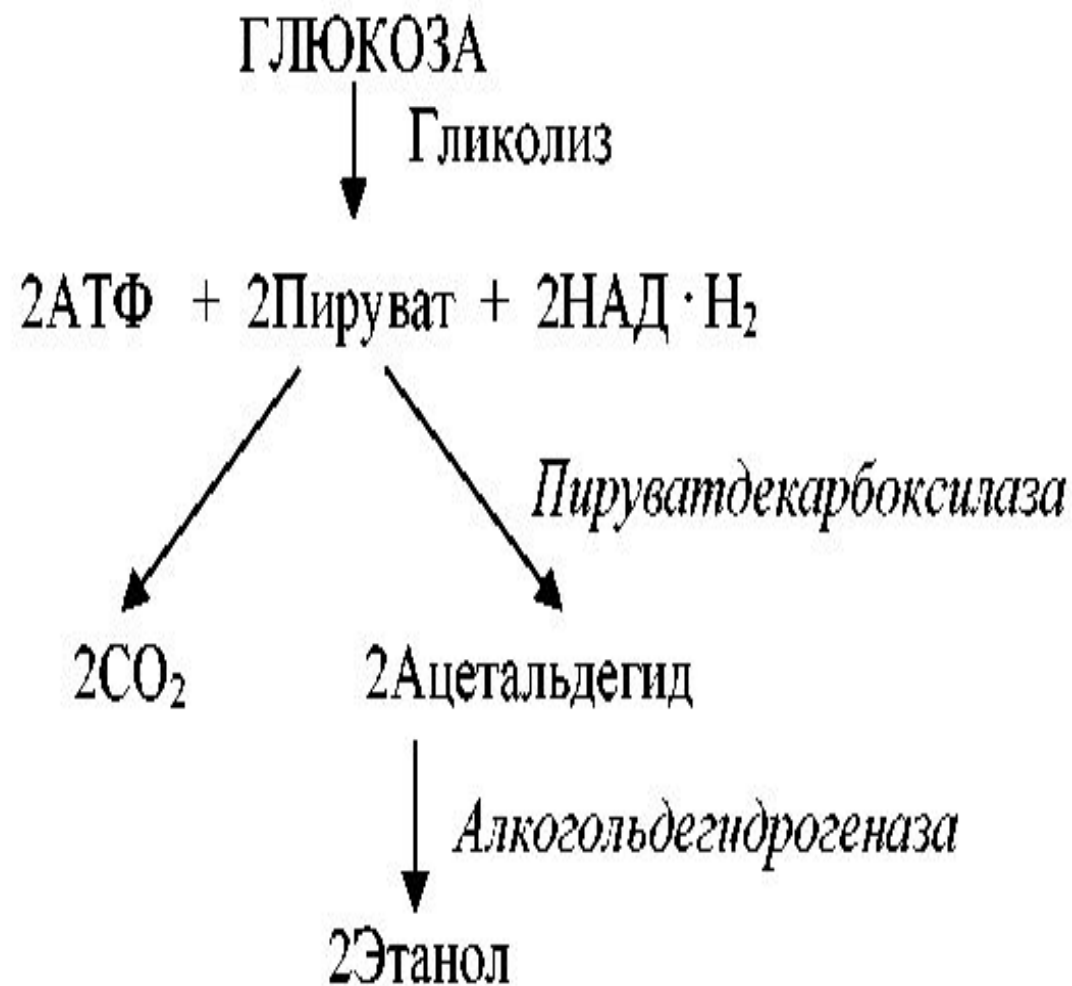
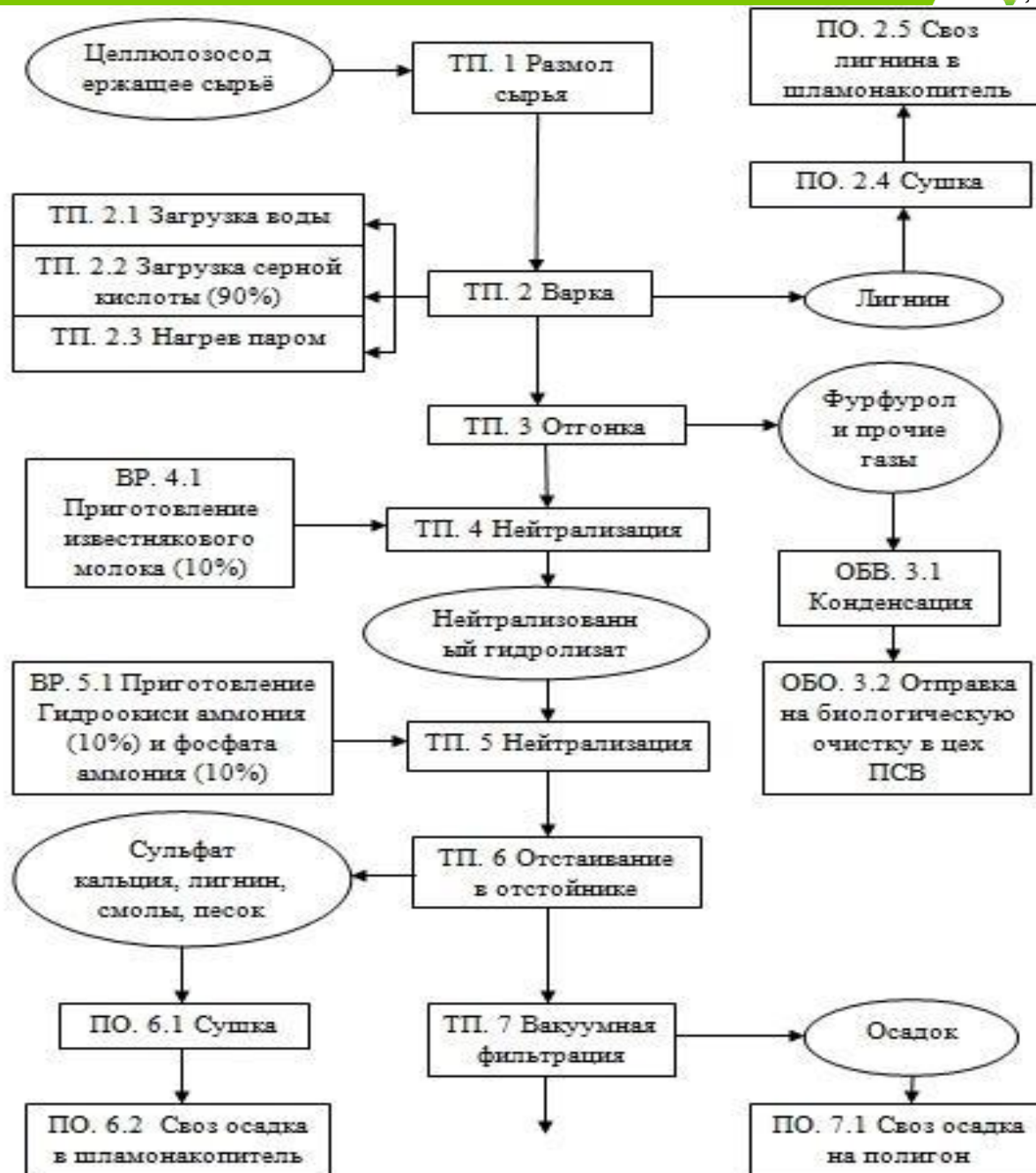
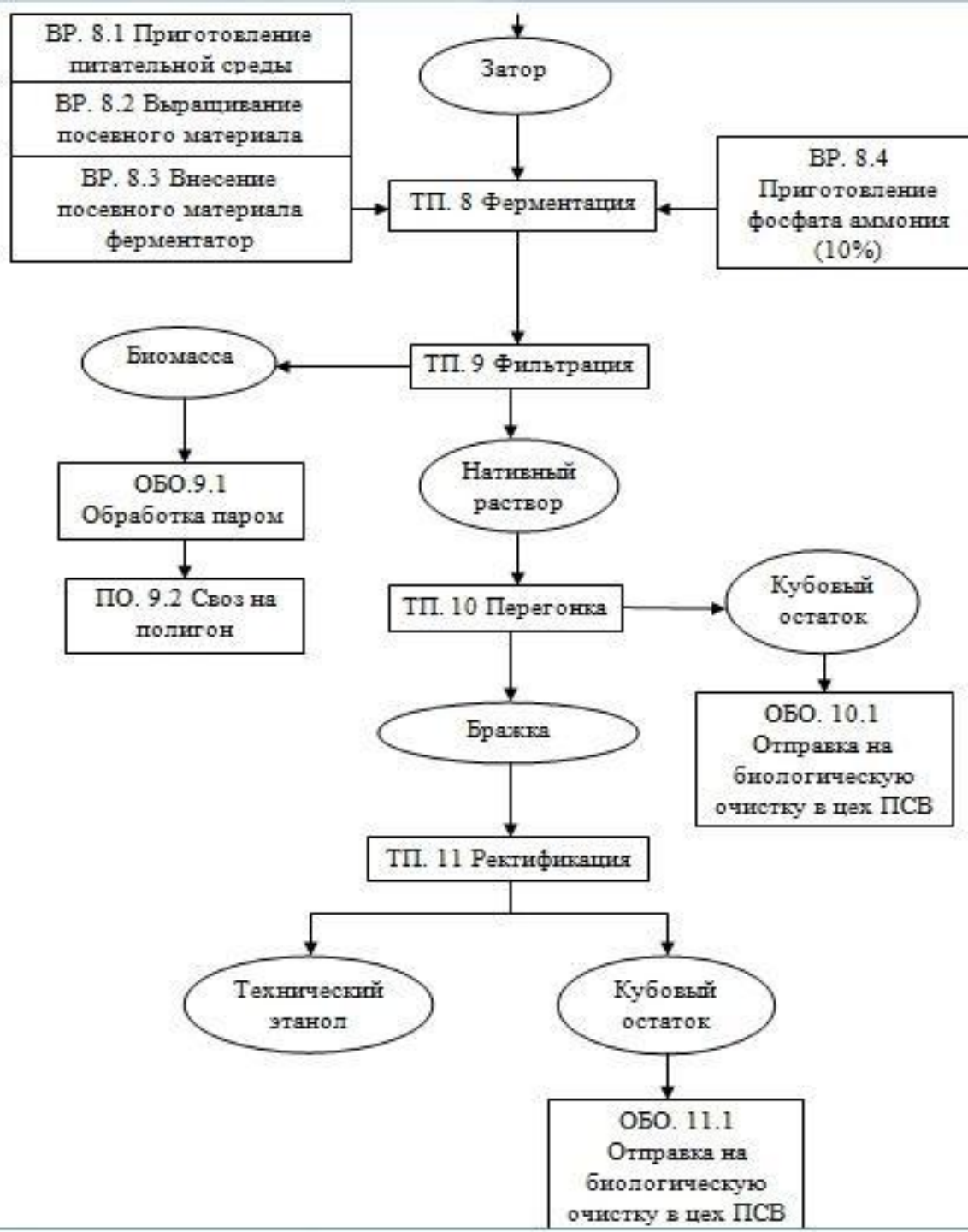
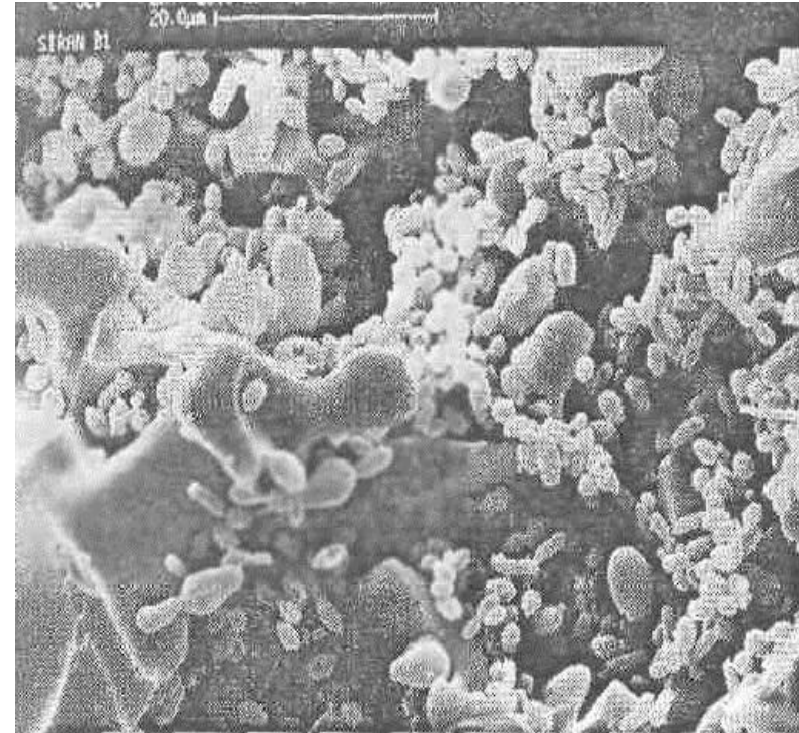
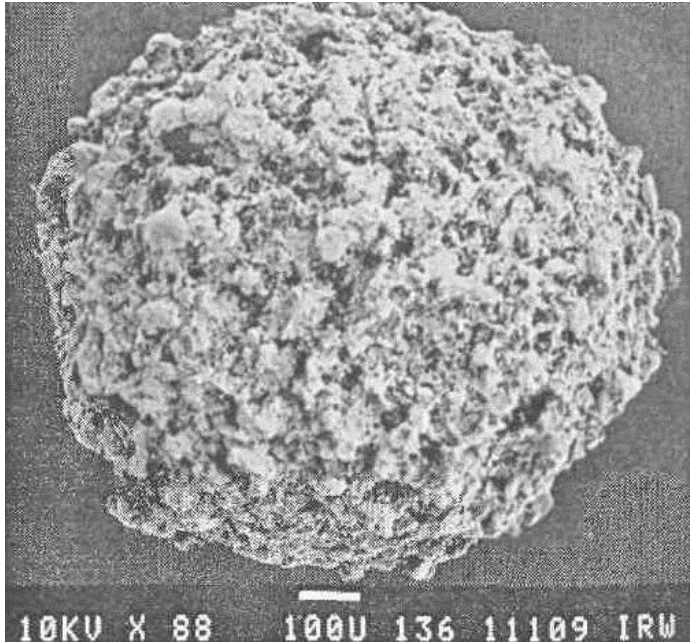


Рис. 44. Схема спиртового брожения

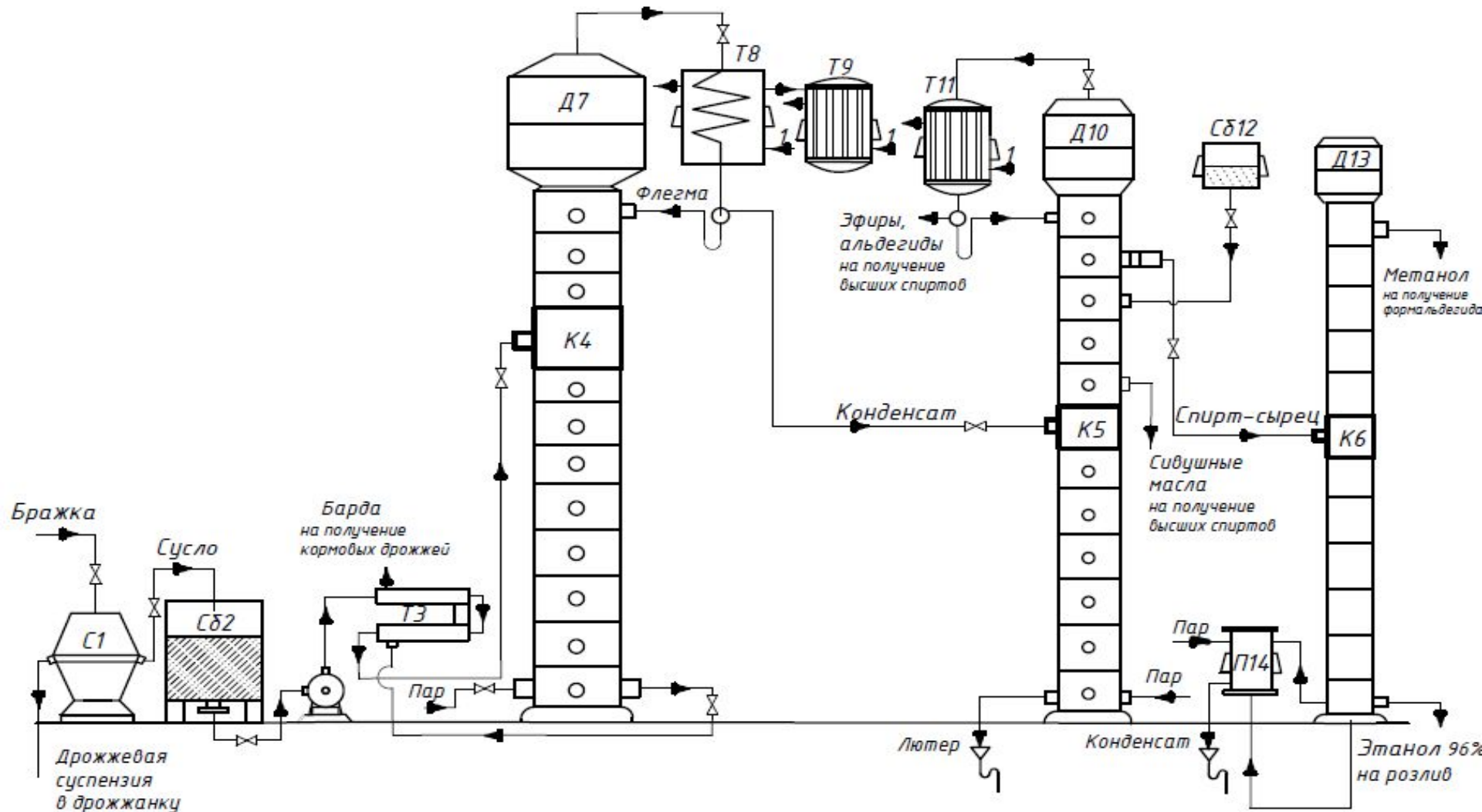
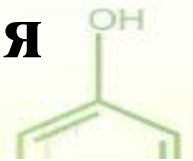




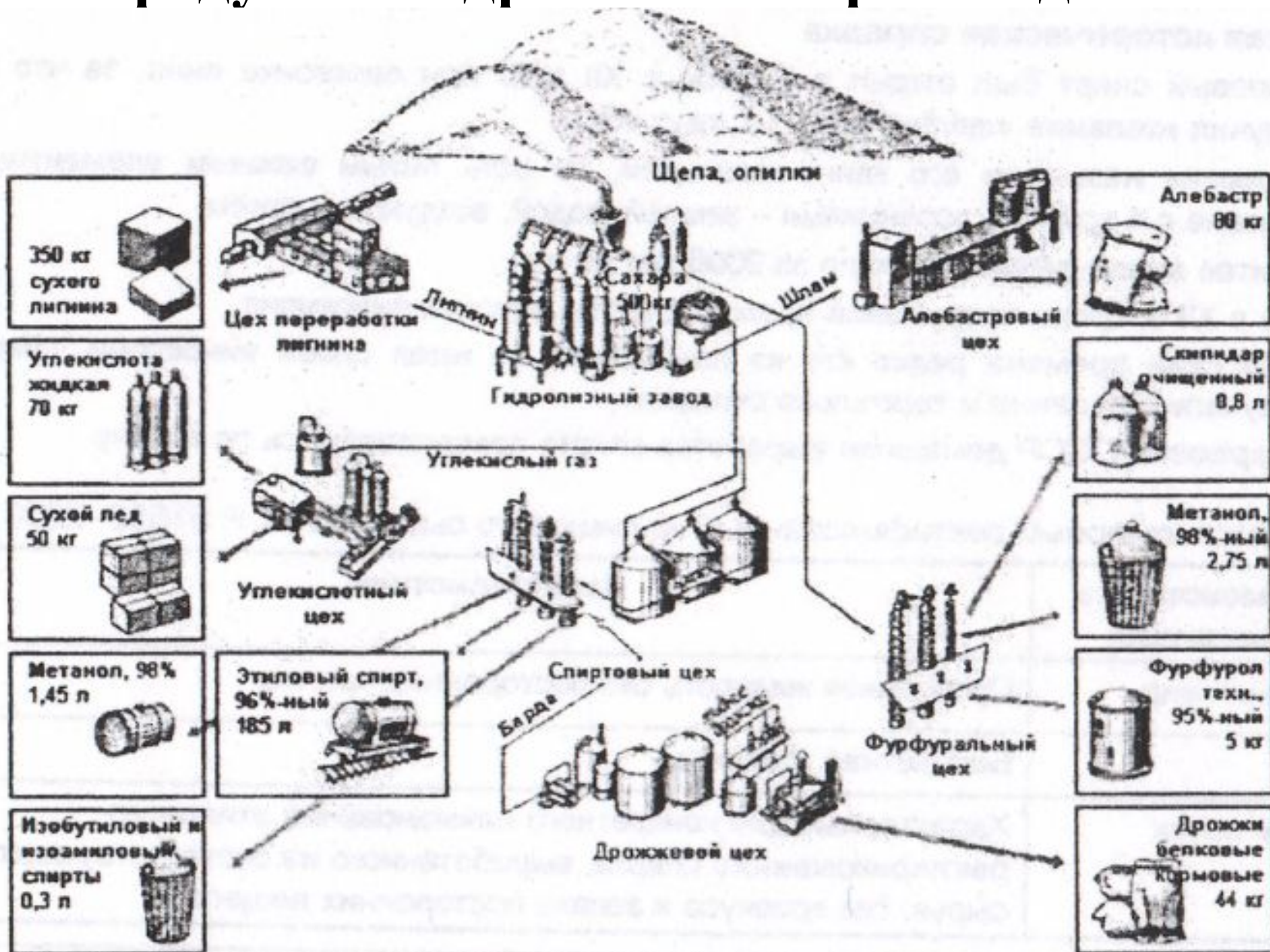


**Иммобилизованные дрожжевые клетки на зерне «Сиран»**

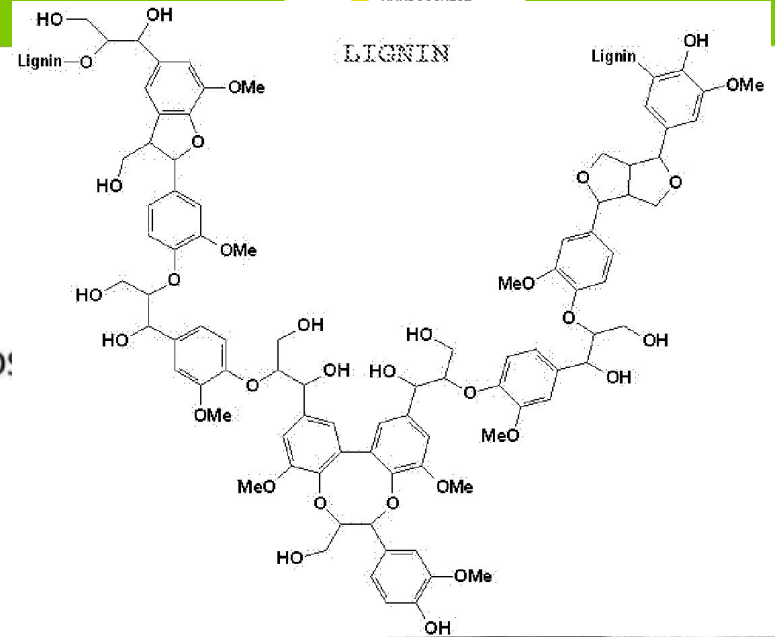
# Аппаратурная схема стадии выделения этилового спирта



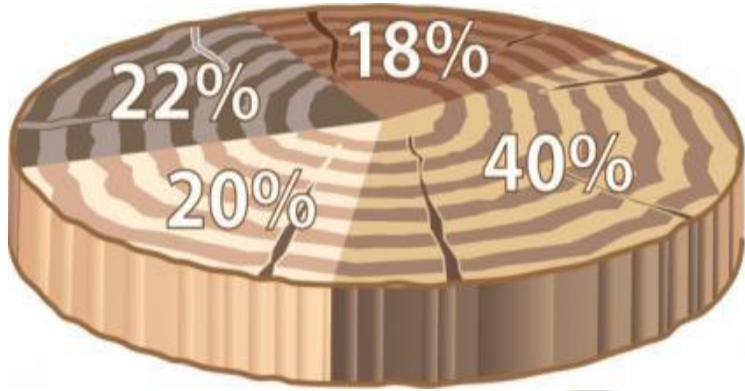
# Продукты гидролизного производства



# Переработка лигнина



- Cellulose
- Hemicellulose
- Lignin
- Other





# Биодизель

- Биотопливо на основе растительных или животных жиров (масел), а также продуктов их этерификации.
- Традиционно в качестве сырья для получения биодизеля используются масла:
  - рапсовое
  - соевое
  - подсолнечное
  - Кукурузное
  - оливковое
  - хлопчатника
  - огуречника,
  - микроводорослей и другие масла
  - различные отходы, такие как отработанные масла для жарки и жировой сток в пищевой индустрии, а также отходы рыболовства.



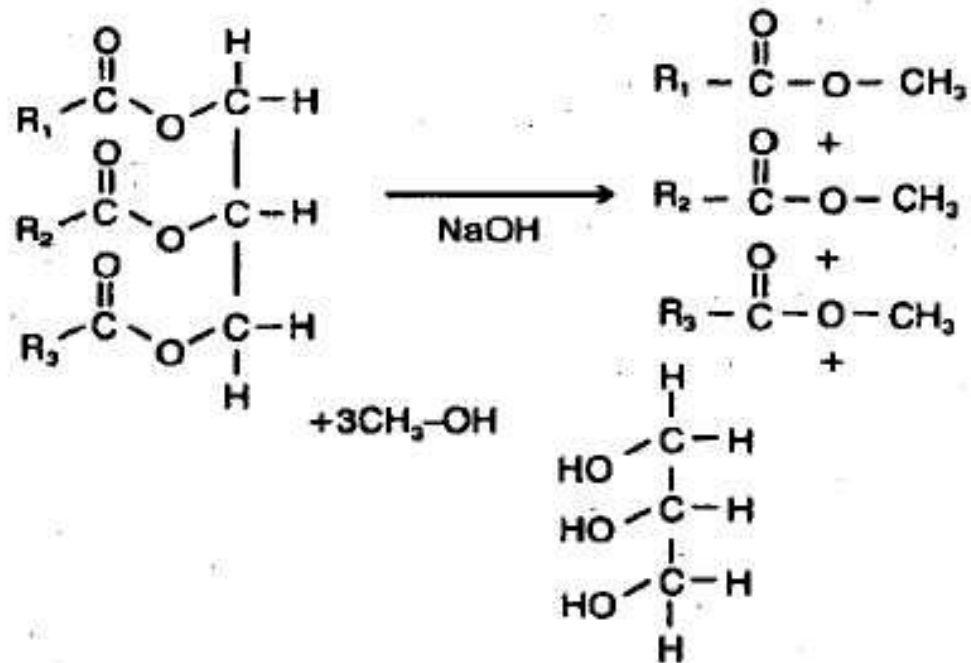
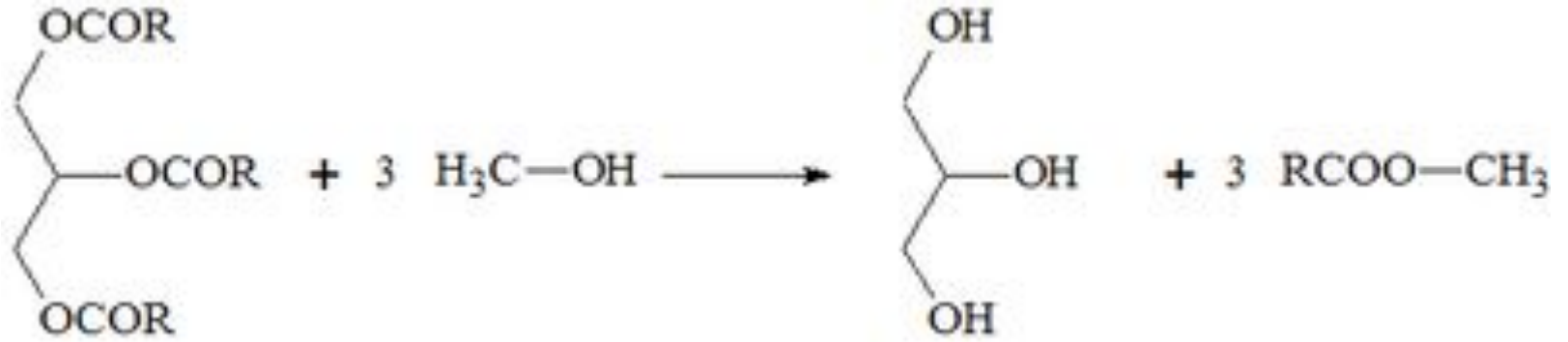
# Характеристика биодизеля

Показатели	Дизельное ТОПЛИВО	Биодизель
Плотность при 20 °С, кг/м <sup>3</sup>	820-850	<b>875-900</b>
Вязкость при 20 °С, мм <sup>2</sup> /с	3,5-6,0	<b>3,5-5,0</b>
Цетановое число	не ниже 45	<b>50-55</b>
Содержание серы, %	0,2-0,001	<b>&lt; 0,001</b>
Теплотворная способность, МДж/кг	42-43	<b>37-38</b>
Объемная теплопроизводительность, МДж/м <sup>3</sup>	3,4	<b>3,4</b>
Массовая теплопроизводительность, МДж/кг	2,8	<b>2,7</b>

# Технологий производства биодизеля несколько:

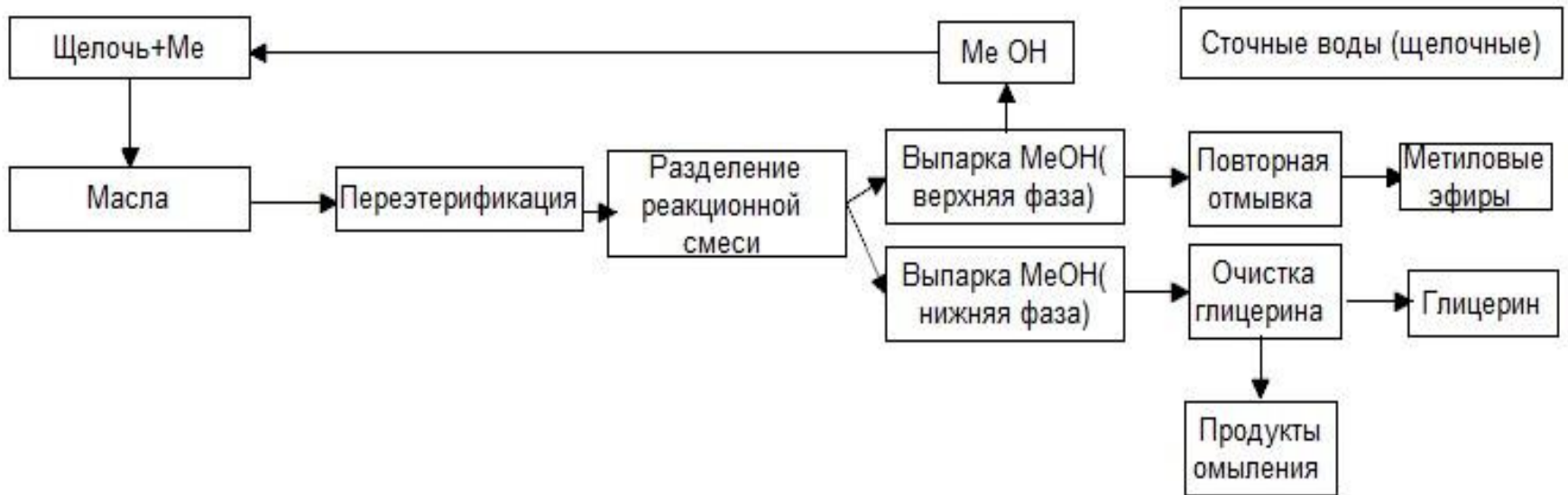
- **Первая** - это переработка сельскохозяйственных отходов в топливо.
- Сырьем, для этого процесса, могут служить и куски древесины, и солома, и навоз.
- После сушки отходы нагреваются до 400-500°C, выделившийся газ проходит ряд превращений в присутствии катализатора - и на выходе из реактора получается дизельное топливо без содержания серы и других вредных примесей.

- **Вторая** - получение биологического дизельного топлива из растительного сырья (соя, рапс, пальмовое, кокосовое масла, касторовое, рыбий жир, сало и другие источники).
- Семена растений проходят через маслобойку, в которой масло отделяется от шрота - отходов маслоэкстракционного производства.
- Затем масло смешивают с метанолом приблизительно в пропорции на 1 т масла 200 кг метанола (переэтерифицируется при температуре 60°C и нормальном давлении)
- Реже используют этанол или изопропиловый спирт.
- В качестве катализатора используется гидроксид натрия (калия) или липаза.
- Полученную смесь очищают.



показатель	процесс в присутствии щелочи 60-70°C	ферментативный процесс 30-40°C
Присутствие жирных кислот в сырье	Продукты омыления	Метилловые эфиры
Наличие воды в сырье	Включается в реакцию	Не влияет
Выход метиловых эфиров	Нормальный	Высокий
Восстановление глицерина	Затруднено	Легкое
Очистка метиловых эфиров	Многочисленное отмывание	Нет необходимости
Стоимость продукта катализа	Дешевая	Высокая

## Схема щелочного способа получения биодизельного топлива:



## Схема ферментативного способа получения биодизельного топлива:





## Преимущества липазного катализа:

1. Метод работает в мягких условиях (20-50°C)
2. Менее жесткие требования к чистоте сырья, возможность переработки свободных жирных кислот в биодизель
3. Благодаря иммобилизации липазы могут быть легко подвергнуты рециклизации
4. Более легкая очистка продуктов: не требуется промывок большими количествами воды
5. Возможность улучшения характеристик фермента методами генетической инженерии

## Недостатки липазного катализа:

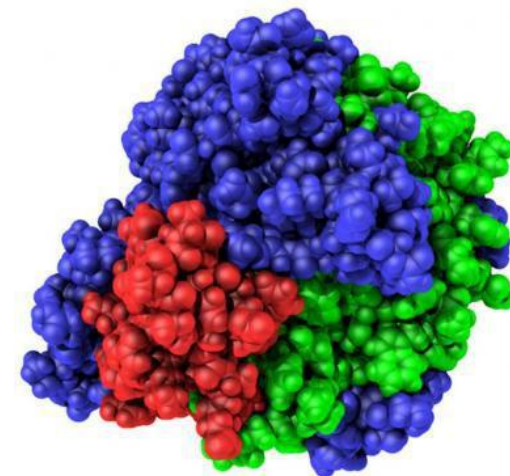
1. Высокая цена ферментов
2. Продолжительное время реакции
3. Риск инактивации липаз метанолом/этанолом и образующимся в ходе реакции глицерином

## ЛИПАЗЫ:

На сегодняшний день доступно множество коммерческих препаратов липаз.

Наиболее широко используются:

- Novozym 435 - липаза, получаемая из *Candida antarctica*, иммобилизованная на макропористом полиметилметакрилате;
- Lipozym RM IM - липаза, получаемая из *Rhizomucor miehei*, иммобилизованная на анионите.



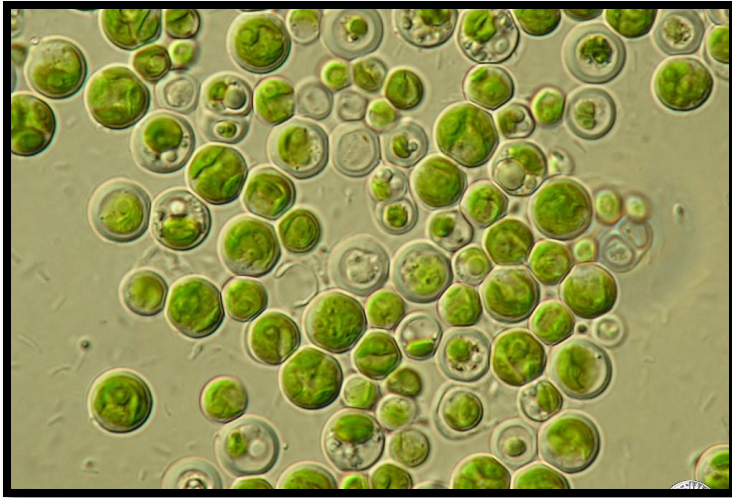
## Преимущества биодизеля:

- «Биодизель» практически не содержит серы и канцерогенного бензола.
- Увеличение срока службы двигателя. Смазка подвижных частей двигателя, достигается увеличение срока службы самого двигателя и топливного насоса в среднем на 60 %.
- Разложение этого топлива происходит в естественных условиях без вреда для природы, а в процессе сгорания в двигателе выбросы в атмосферу  $\text{CO}_2$  на 50-80% ниже, чем при работе на традиционном минеральном дизтопливе.
- Растительное топливо отличает хорошая воспламеняемость, зажечь биодизельное топливо легче, но, сгорает оно с меньшей теплоотдачей, чем обычное топливо.
- Высокая температура воспламенения. Точка воспламенения для биодизеля превышает  $150^\circ\text{C}$ , что делает его сравнительно безопасным веществом.
- Возобновляемое сырьё.
- В ходе переработки масла получают дополнительные продукты (глицерин, сульфат натрия).

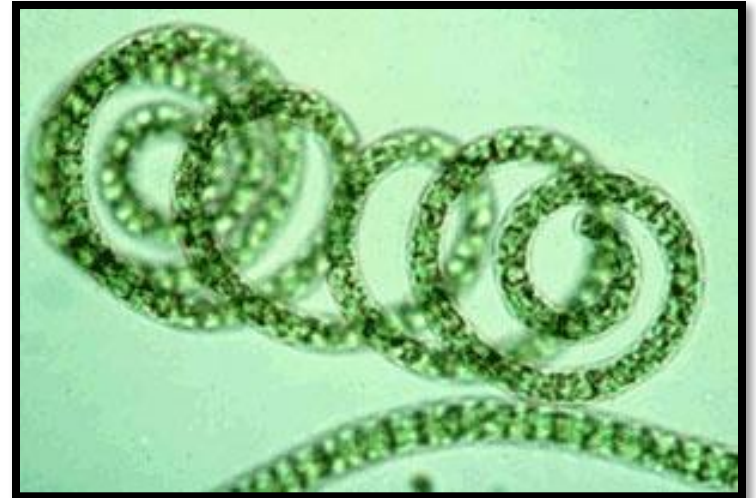
## Недостатки биодизеля:

- Себестоимость производства выше, чем бензина и дизтоплива.
- Требуются дополнительные площади сельскохозяйственных земель.
- Эфиры рапсового масла обладают значительной коррозионной активностью. Это чревато потерей стойкости резиновых прокладок и сальников, образованием твердых отложений в форсунках и жиклерах, забитыми топливными фильтрами и отказавшими насосами высокого давления.
- Высокое содержание в «растительном» выхлопе окиси азота  $\text{NO}_x$ . Содержание  $\text{NO}_x$  в выхлопе в сравнении с обычным дизельным топливом на 10% больше, а в ходе эксперимента инженеры Volvo доказали, что эта разница может достигать 40%.
- Борьба с токсичностью приводит и к потере мощности, а ее компенсирует большой расход топлива.
- В холодное время года необходимо подогревать топливо, идущее из топливного бака в топливный насос.
- Долго не хранится (около 3 месяцев).

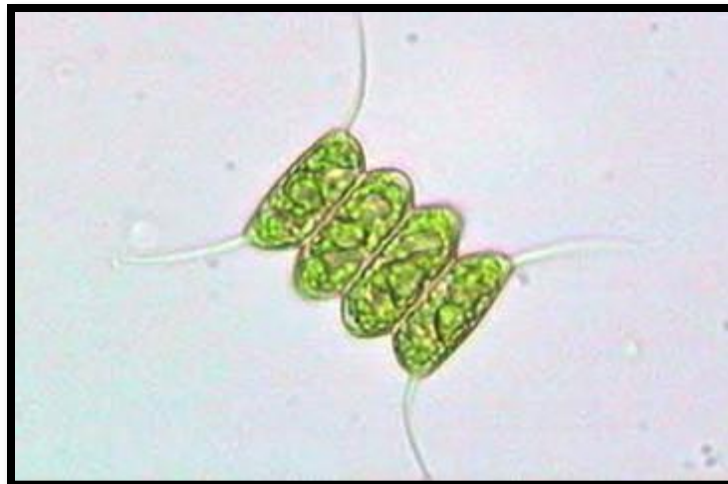
# Биотопливо третьего поколения на основе микроводорослей



Chlorella



Spirulin  
a

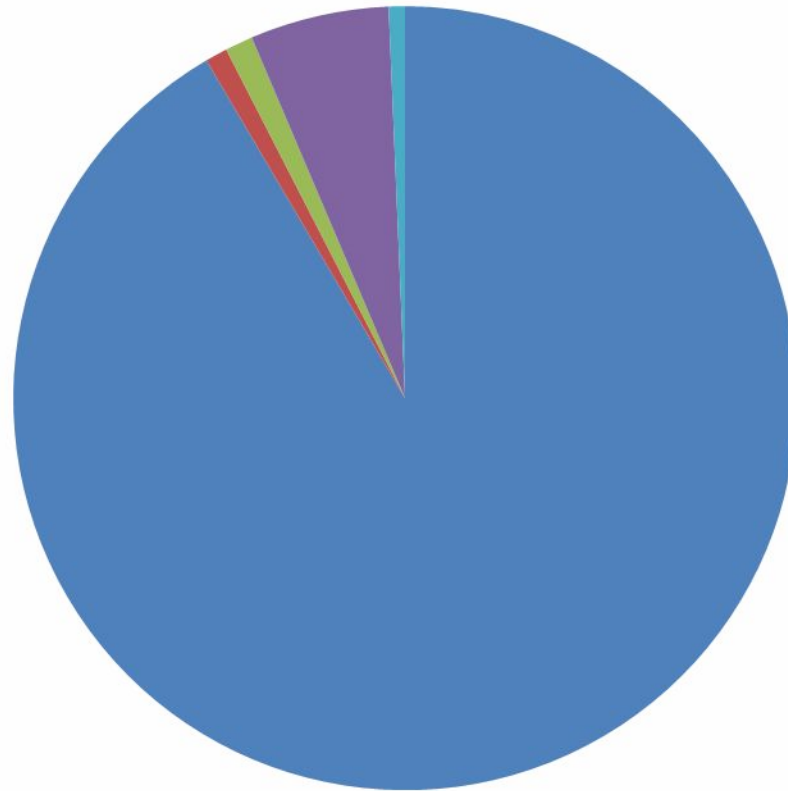


Scenedesmus

# Преимущества

- Высокая скорость роста;
- Высокая продуктивность по липидам;
- Возможность круглогодичного сбора урожая;
- Не требуют качественных сельскохозяйственных земель
- Производство биомассы микроводорослей не требует сложного оборудования.

- литров масла с га ; Подсолнечник ; 952; 1%
- литров масла с га ; Рапс ; 1190; 1%
- литров масла с га ; Кунжут ; 696; 1%
- литров масла с га ; Пальмовое масло; 5950; 6%



- микроводоросли
- Подсолнечник
- Рапс
- Пальмовое масло
- Кунжут
- литров масла с га ; микроводоросли ; 95000; 91%

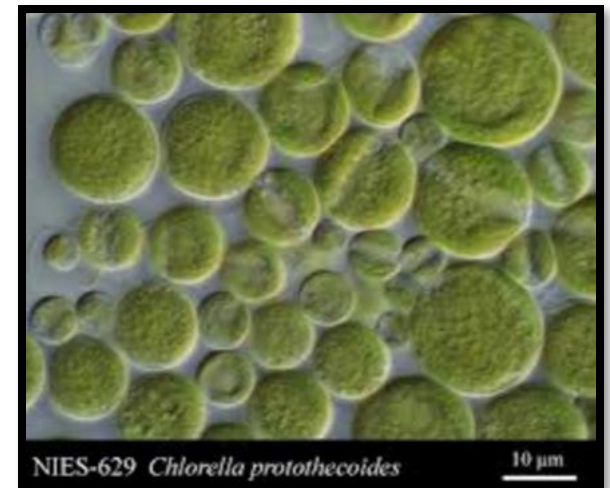
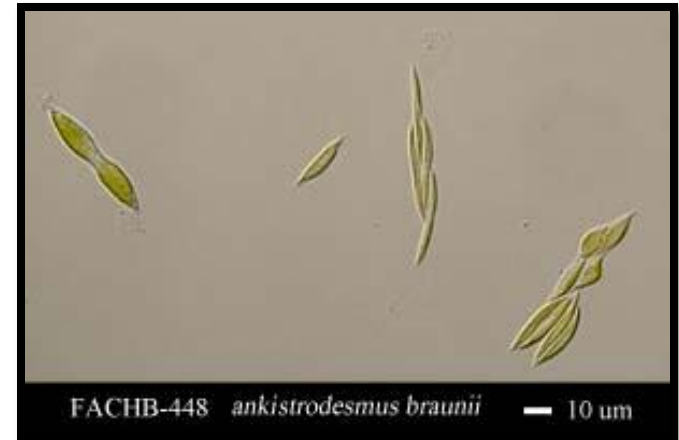
Культура	литров масла с га
Микроводоросли	95000
Подсолнечник	952
Рапс	1190

# Недостатки

1. Отсутствие свойств, необходимых для крупномасштабных производств.
2. Отсутствие оптимальной технологии культивирования.



Вид	Содержание липидов, % к сухой массе
Ankistrodesmus braunii	73
Chlorella protothecoides	58
Neochloris oleoabundans	54
Pleurochrysis carterae	50
Nannochloropsis spp.	41



Водоросли коллекции культур в Институте гидробиологии провинции Хубэй, Китай

# Культивирование

- Открытые пруды;
- Фотобиореакторы;
- Гибридные системы.



**Исследовательская станция,  
штат Техас**

**Программа AlgaePARC,  
Нидерланды**



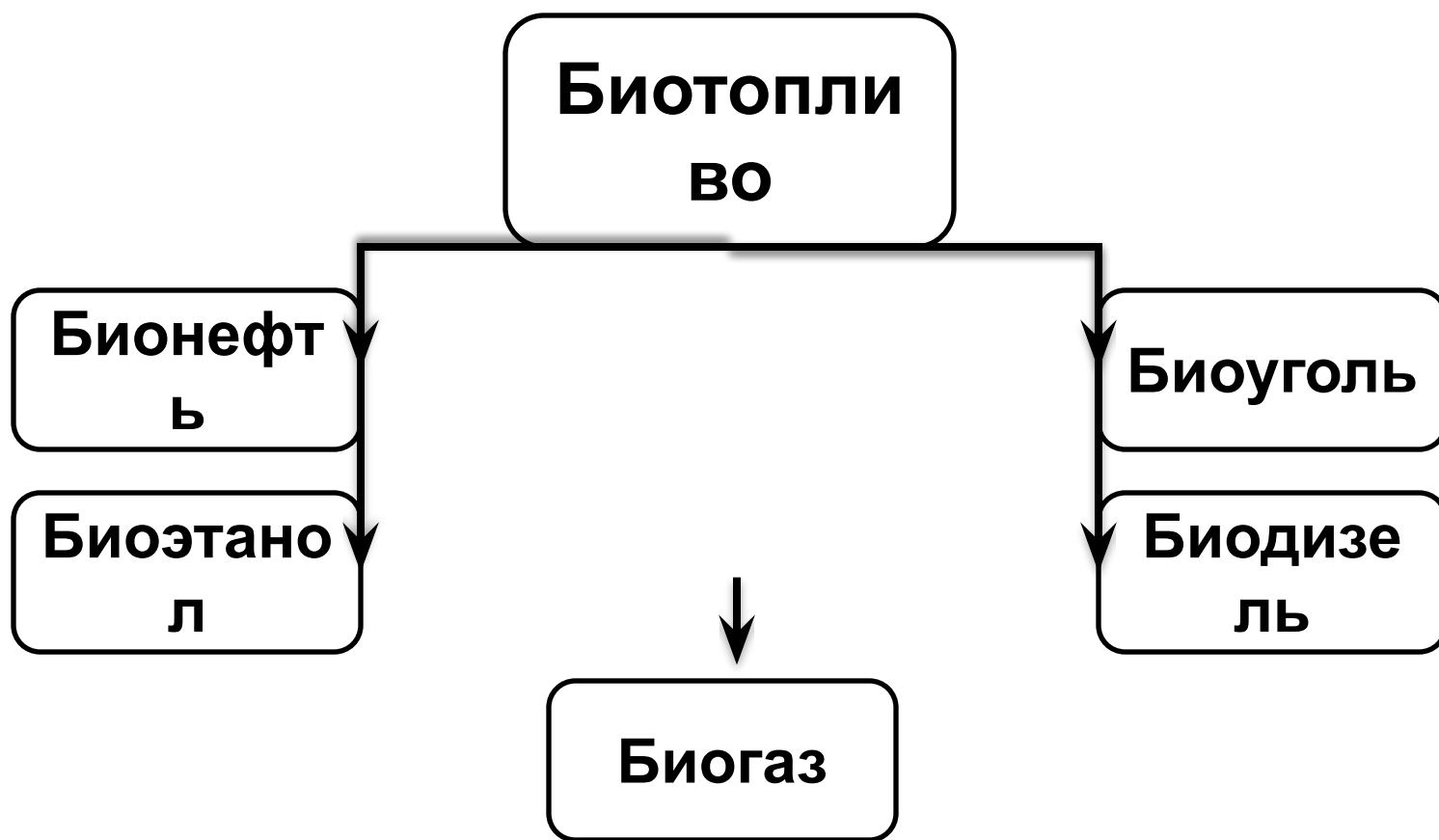
# Культивирование в России

- Исследования по культивированию микроводоросли *Chlorella vulgaris* Vin в открытых водоемах на территории Клинского рыбхоза Московской области. Были заселены два водоема общей площадью 40 га.

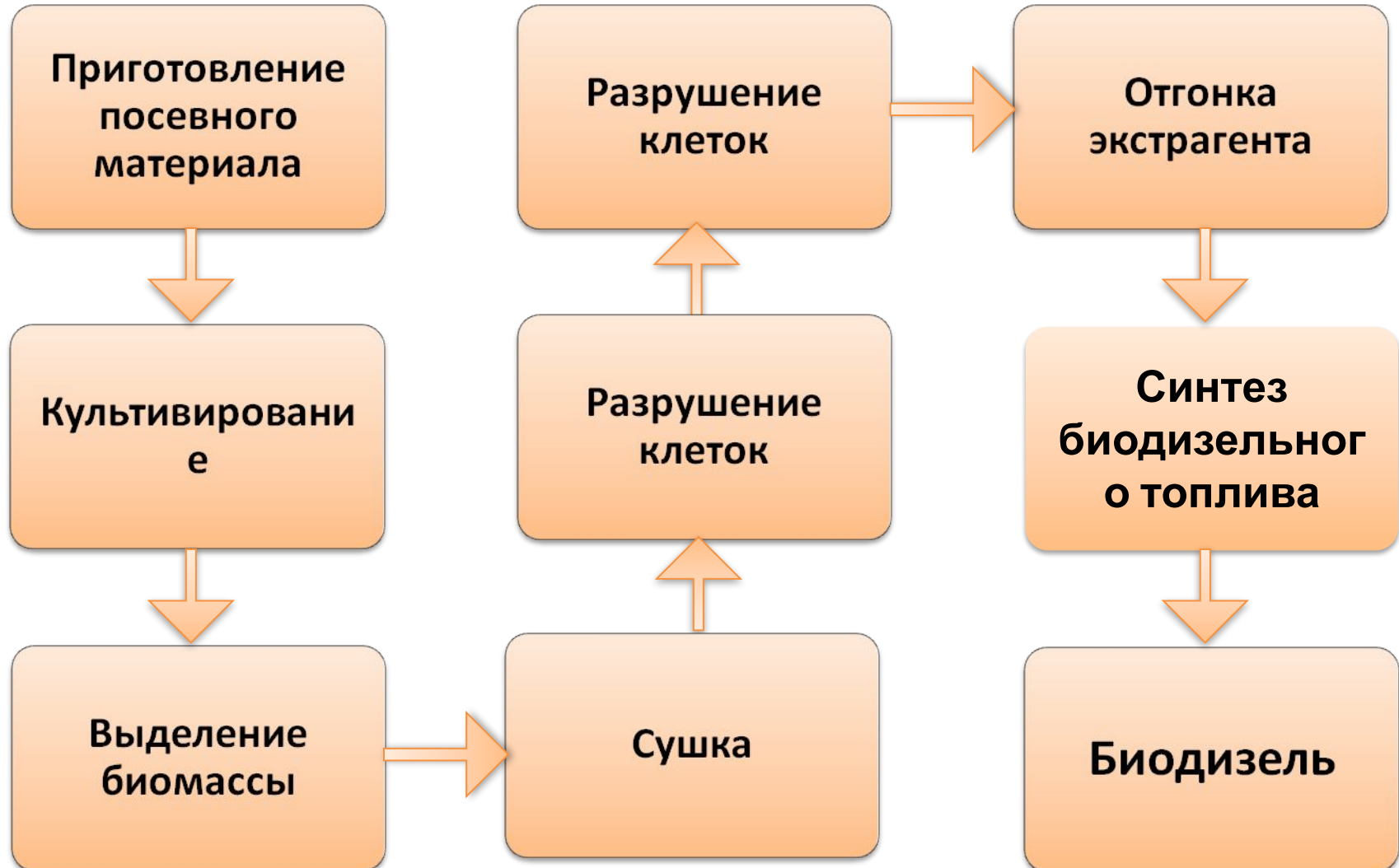


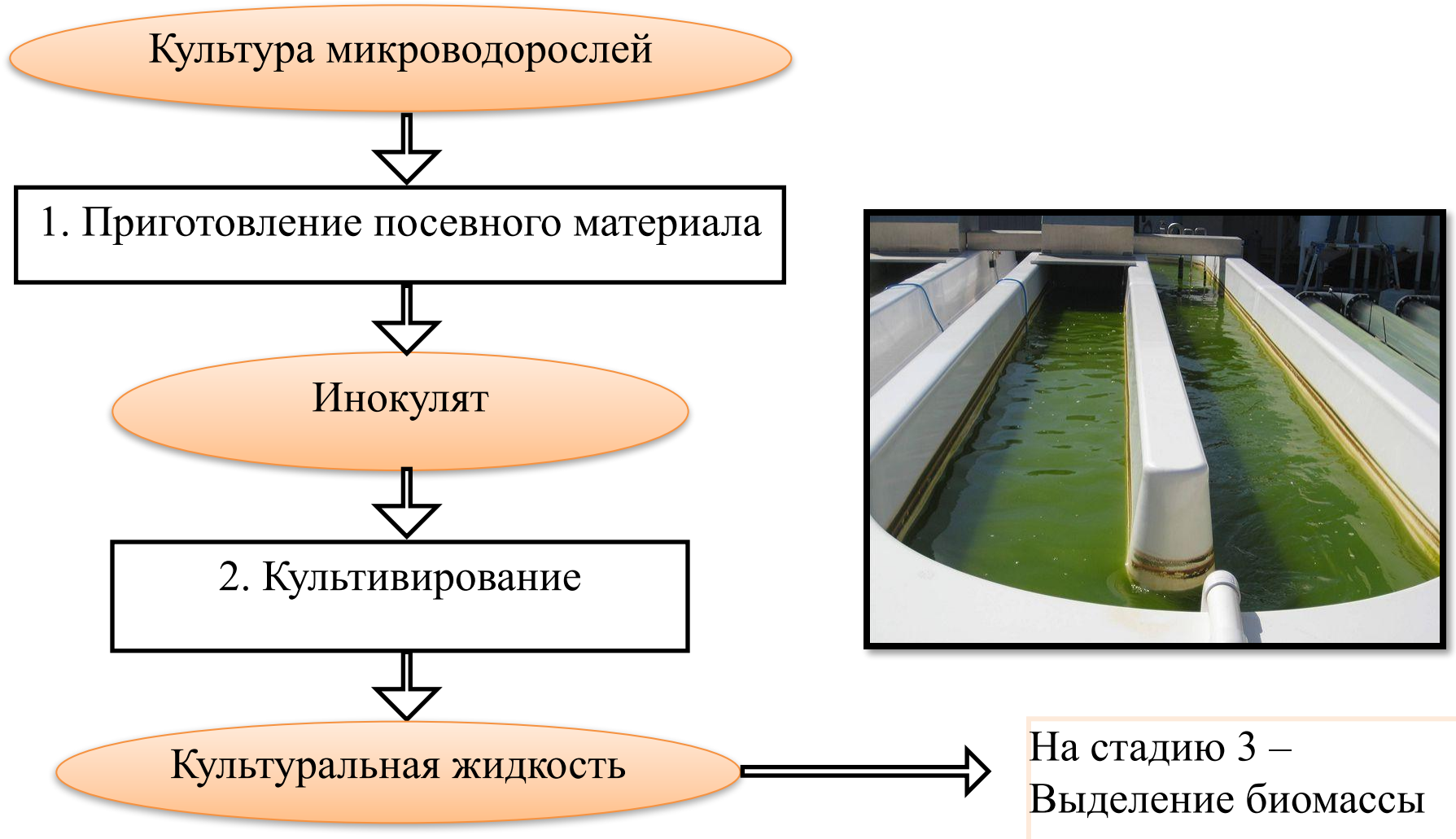
**Экспериментальные водоемы: слева – водоем с микроводорослями, справа – без микроводорослей**

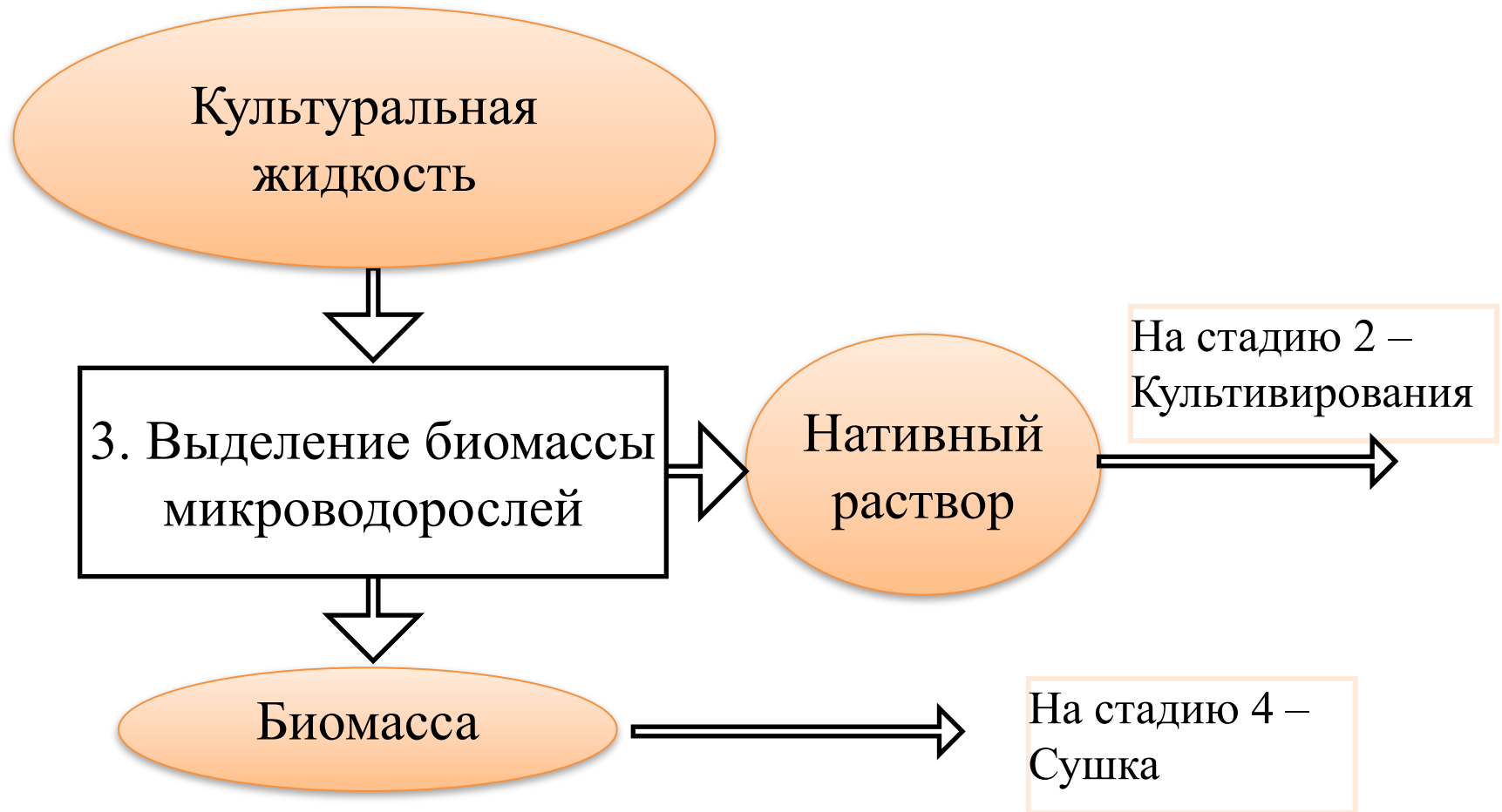
# Виды топлива из биомассы микроводорослей



# Схема производства биотоплива







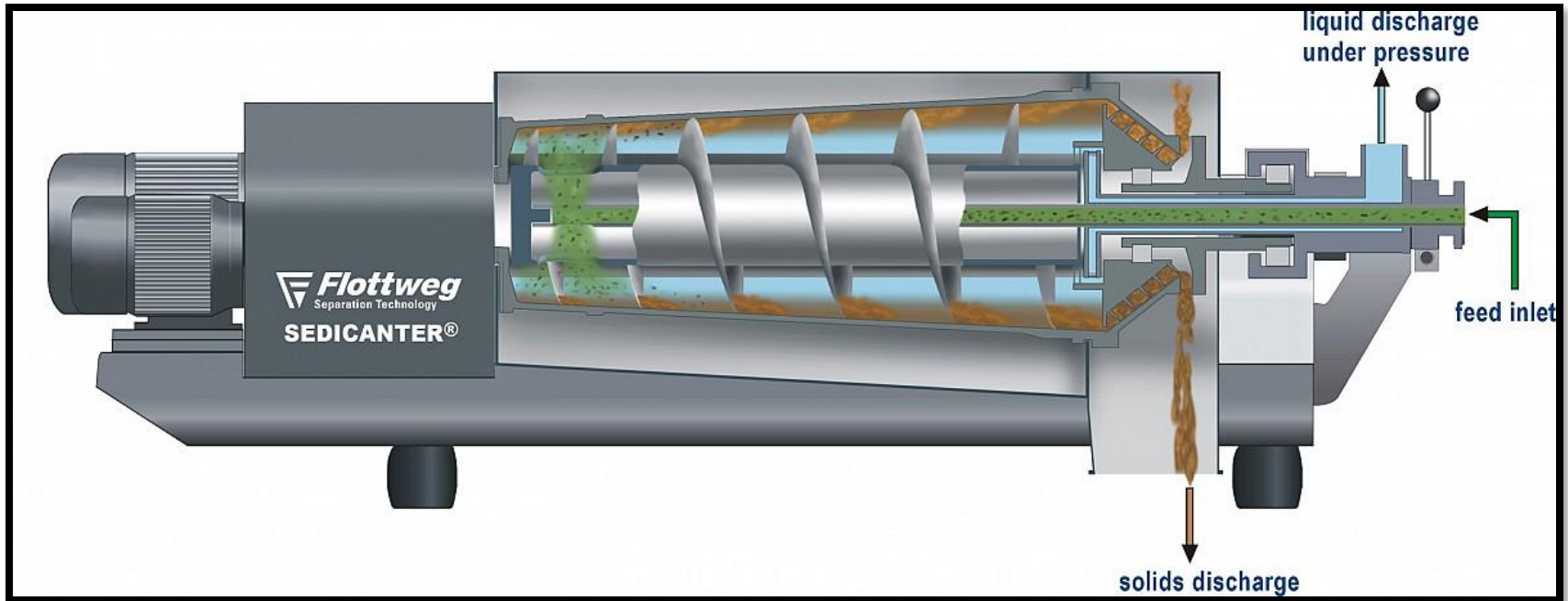
# Выделение. Флотатор



**Производитель Komline-Sanderson, штат Нью-Йорк**



# Выделение. Седикантер



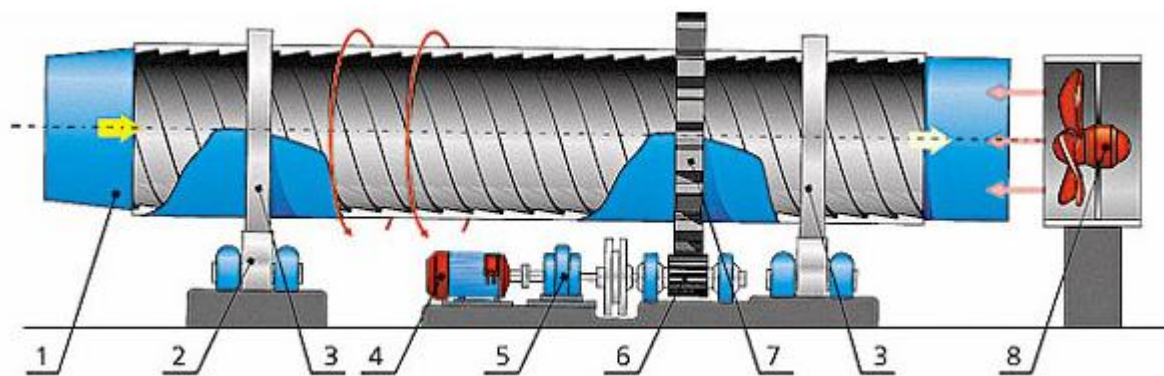
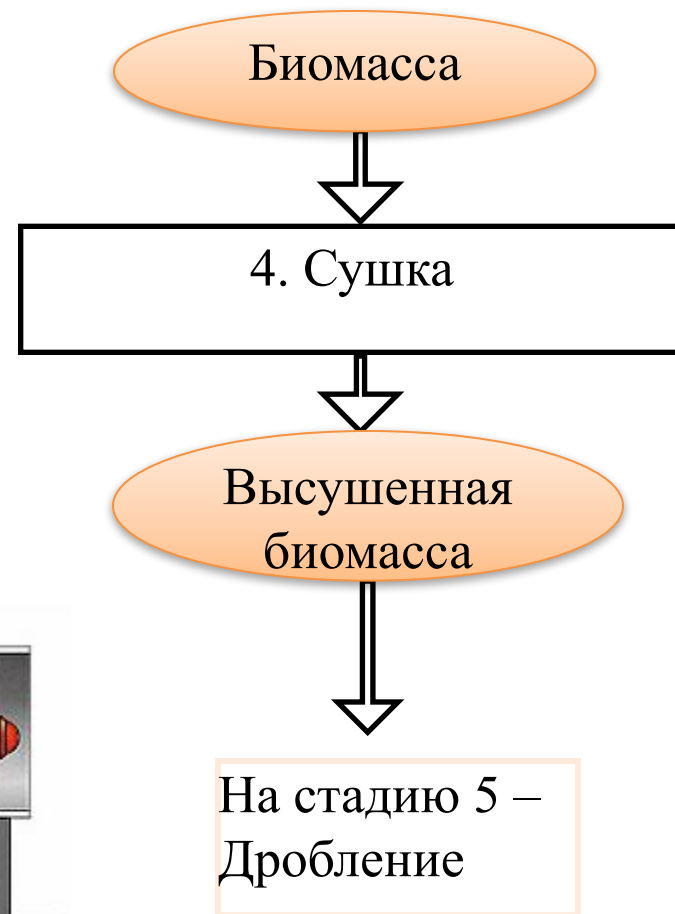
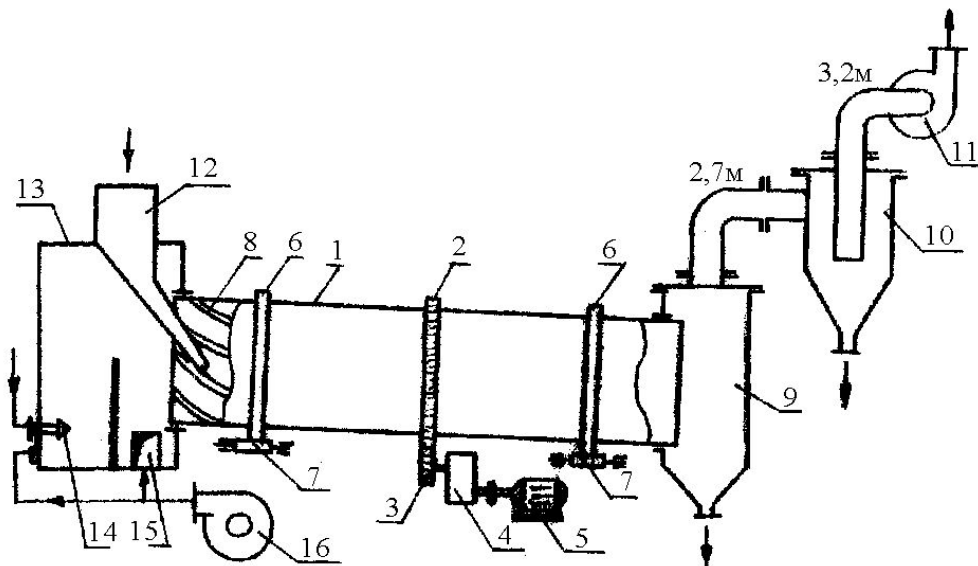
Производитель Флоттвег СЕ,  
Германия

# Выделение. Фильтр



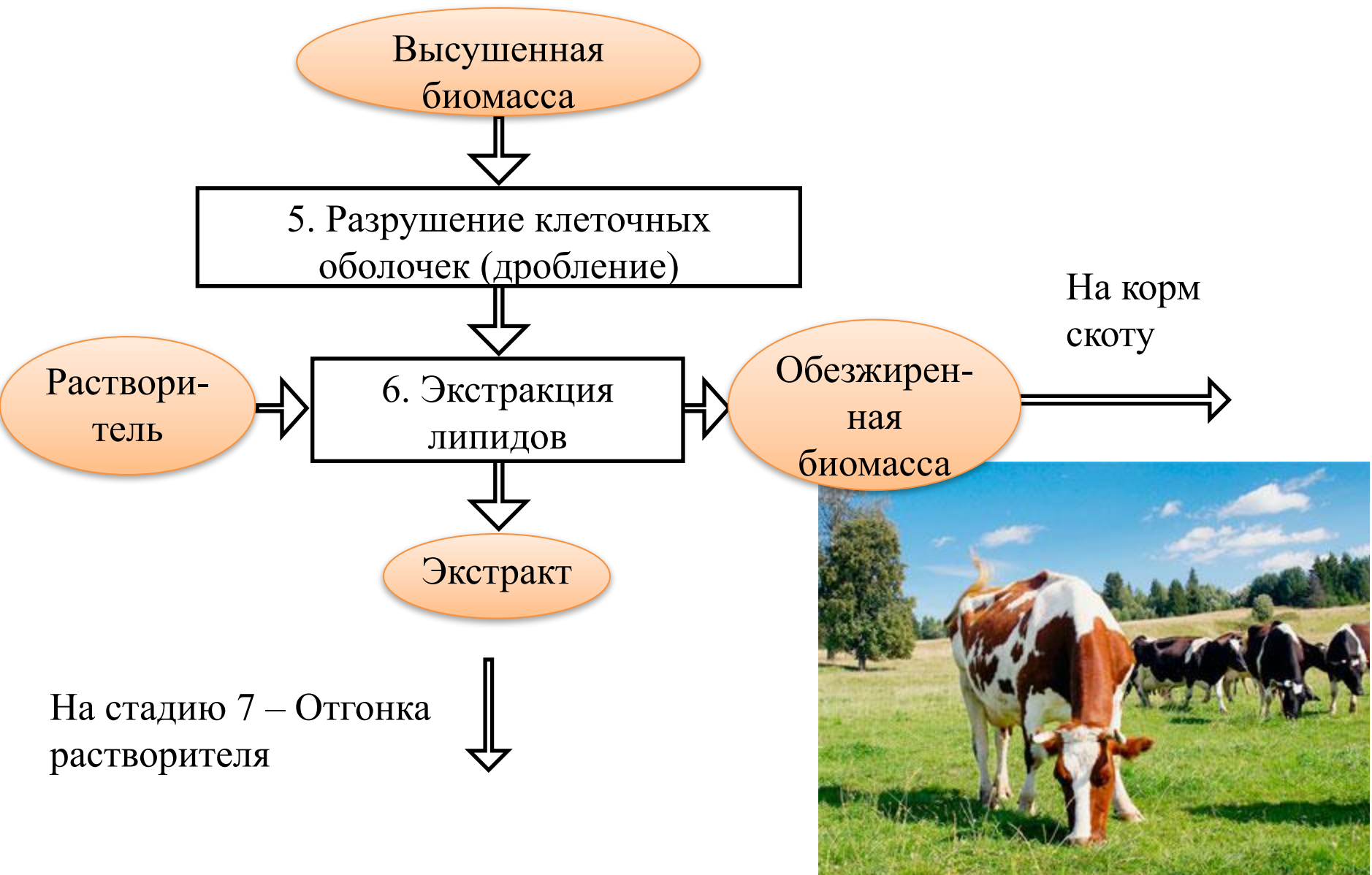
**Производитель Algaeventure Systems, штат  
Огайо**

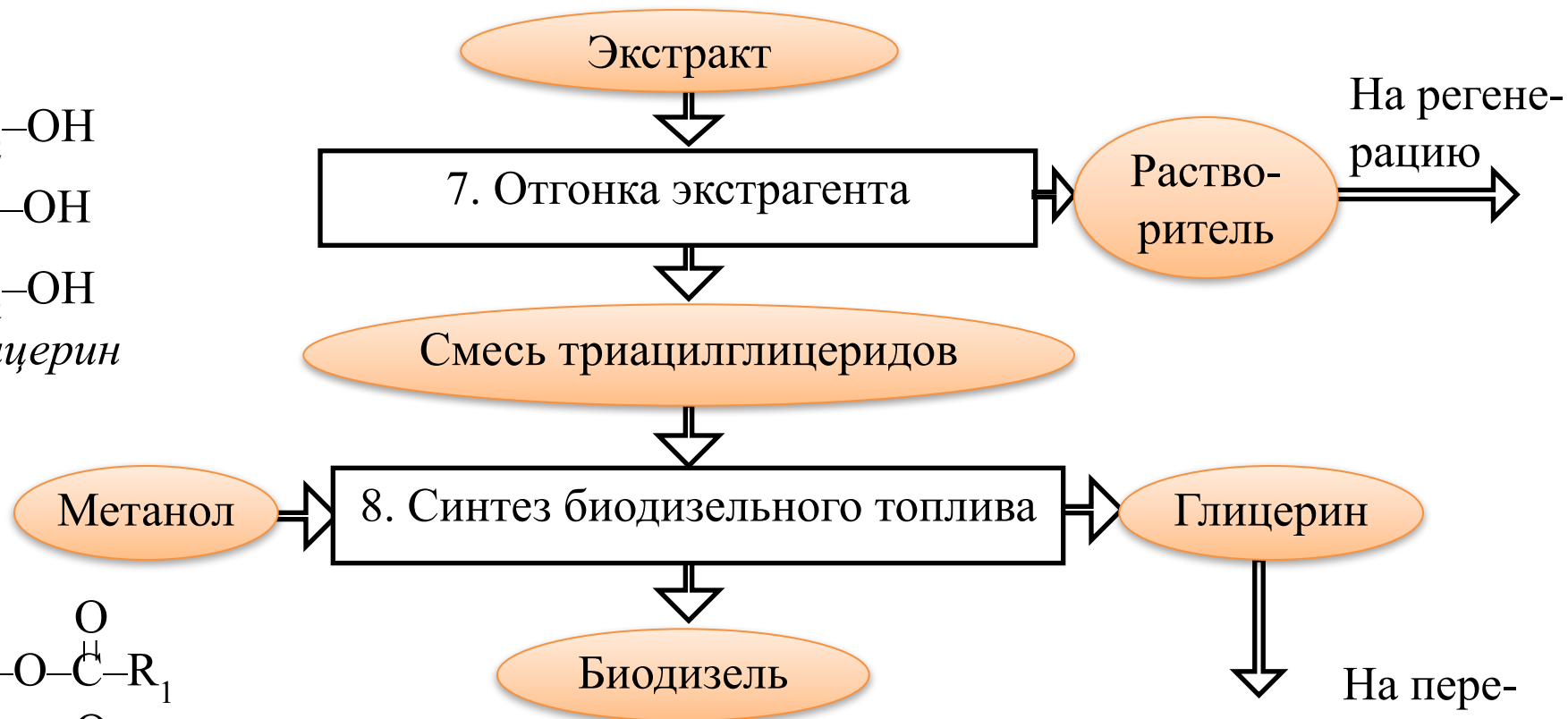
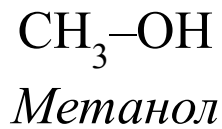
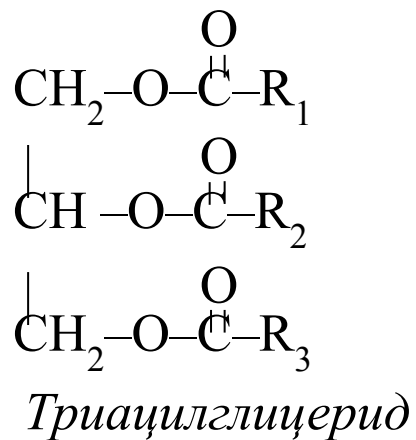
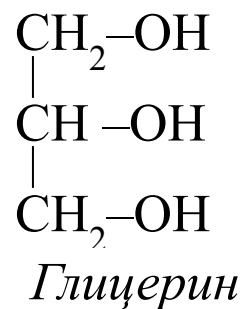
# Схема производства биотоплива



**Барabanная**

сушилка





На переработку

На регенерацию

# Другие виды биотоплива

- **Диметиловый эфир** – экологически чистое топливо без содержания серы, содержание оксидов азота в выхлопных газах на 90 % меньше, чем у бензина.
- Применение диметилового эфира не требует специальных фильтров, но необходима переделка систем питания (установка газобаллонного оборудования, корректировка смесеобразования) и зажигания двигателя.
- Большое количество диметилового эфира производится из отходов целлюлозо-бумажного производства.
- Его применение в РФ невозможно, т.к. он является прекурсором наркотических и психотропных средств.

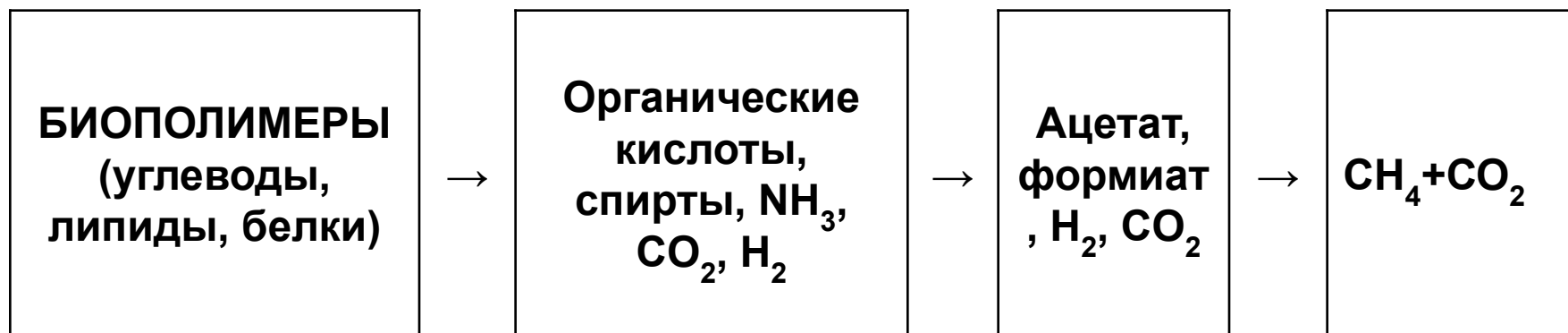
- **Биометанол**

- Промышленное культивирование и биотехнологическая конверсия морского фитопланктона рассматривается как одно из наиболее перспективных направлений в области получения биотоплива.
- Первичное производство биомассы осуществляется путём культивирования фитопланктона в искусственных водоемах, создаваемых на морском побережье.
- Вторичные процессы представляют собой метановое брожение биомассы и последующее гидроксилирование метана с получением метанола.
- Преимущества:
  - высокая продуктивность фитопланктона (до 100 т/га в год);
  - в производстве не используются ни плодородные почвы, ни пресная вода;
  - процесс не конкурирует с сельскохозяйственным производством.

- **Биометан (биогаз)** - способен полностью вытеснить природный газ в странах, его не добывающих.
- По данным Росстата потенциальное производство в России биогаза - до 72 млрд м<sup>3</sup> в год. Потенциально возможное производство из биогаза электроэнергии составляет 151 200 ГВт, тепла - 169 344 ГВт.
- Под биогазами подразумеваются метансодержащие газы, которые образуются при анаэробном разложении органической биомассы.
- Биогаз содержит:
  - 50÷80 % метана (CH<sub>4</sub>),
  - 50÷20 % диоксида углерода (CO<sub>2</sub>),
  - 0÷3 % сероводорода,
  - примеси: водорода, аммиака и окислов азота.

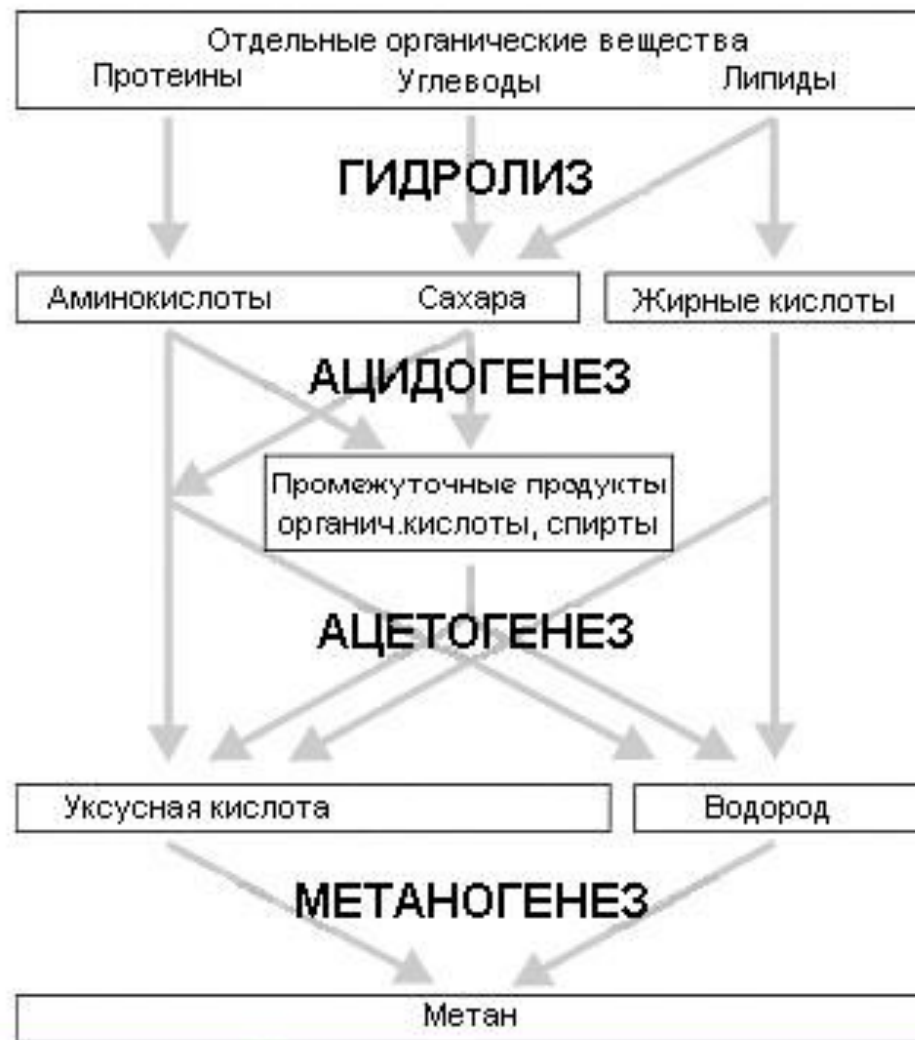


## Процессы деструкции органических субстратов

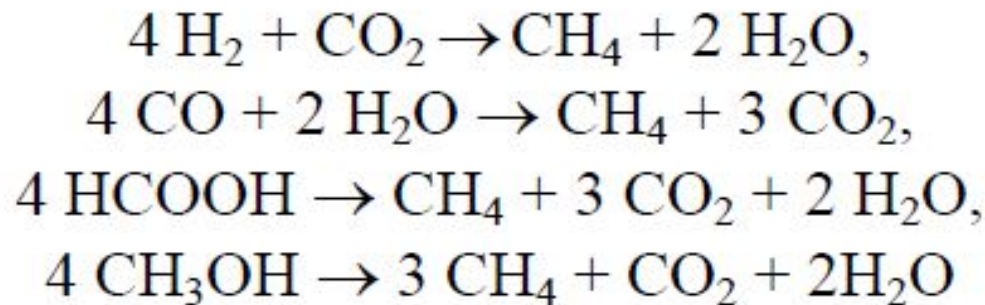


- В процессах деструкции органических субстратов и образования метана участвует микробная ассоциация различных микроорганизмов.
- В ассоциации присутствуют микроорганизмы-деструкторы, вызывающие гидролиз сложной органической массы с образованием органических кислот (масляной, пропионовой, молочной), а также низших спиртов, аммиака, водорода.

- Также присутствуют ацетогены, превращающие эти кислоты в уксусную кислоту, водород и окислы углерода.
- Собственно - метаногены - микроорганизмы (архебактерии), восстанавливающие водородом кислоты, спирты и окислы углерода в метан.



- Метановое «брожение» - это процесс анаэробного дыхания, в ходе которого электроны с органического вещества переносятся на углекислоту.
- Последняя затем восстанавливается до метана (при истинном брожении конечным акцептором электронов служит молекула органического вещества (конечные продукты брожения)).
- Донором электронов для метаногенов служит водород, а также уксусная кислота.



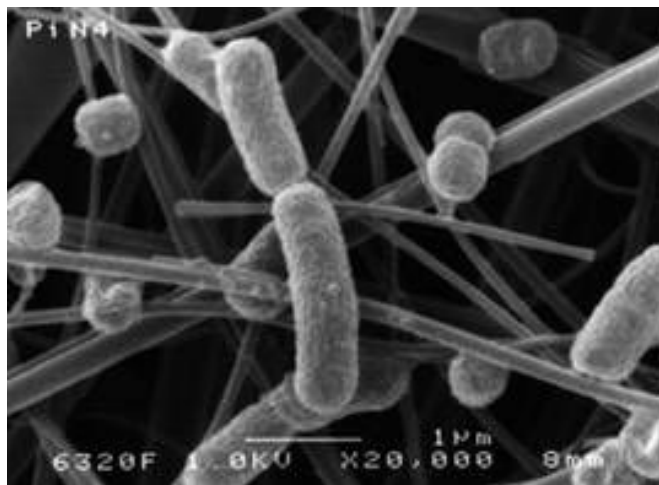
# Характеристика метанобразующих бактерий

Род и вид	Характеристика культуры	Субстрат
<i>Methanobacterium formicum</i> <i>bryantii</i> <i>thermoautotrophicum</i>	палочки от длинных до нитеобразных; в клеточной стенке содержится псевдомуреин	водород и формиат водород водород
<i>Methanococcus vanniellii</i> <i>voltae</i> <i>thermoithotrophicus</i> <i>mazei</i>	подвижные нерегулярные небольшие кокки; в клеточной стенке содержатся полипептидные субъединицы	водород и формиат
<i>Methanospirillum hungatei</i>	подвижные палочки; в клеточной стенке содержатся полипептиды	водород и формиат
<i>Methanosarcina barkeri</i>	нерегулярные кокки, сгруппированные в пакеты; в клеточной стенке содержатся гетерополисахариды	водород, ацетат, метанол, метиламин
<i>Methanolhrix soehngenii</i>	палочки от длинных до нитей; в клеточной стенке не содержится муравьиная кислота	ацетат

# Метановое брожение

1. Ферментативный гидролиз нерастворенных сложных органических соединений
2. Кислотогенная стадия

Бактерии родов *Bacterioides*, *Bacillus*, *Micrococcus*, *Pseudomonas*, *Clostridium* (группа 1)



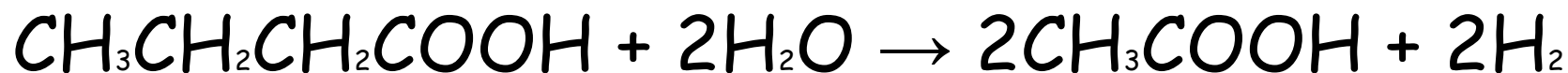
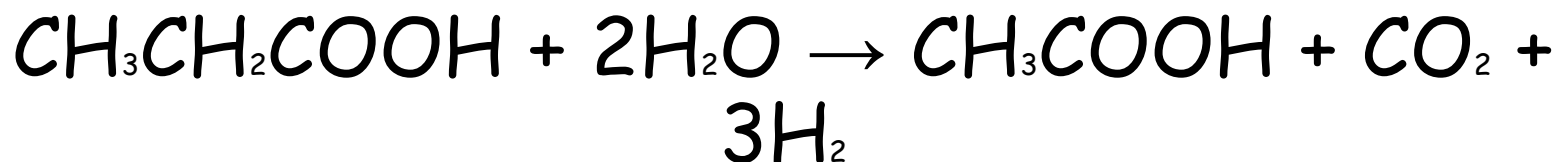
*Bacterioides*  
*ruminicola*



род  
*Clostridium*

### 3. Ацетогенная стадия

Ацетогены, образующие водород (группа 2)



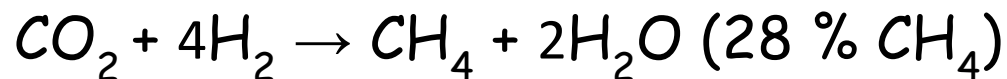
Ацетогены, использующие водород (группа 3)



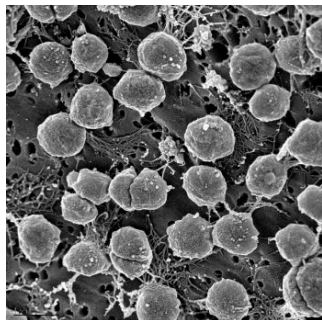
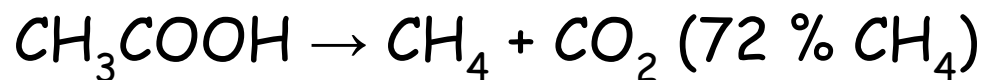
## 4. Метаногенная стадия

Метановые бактерии: *Methanococcus*, *Methanobacterium*,  
*Methanospirillum*, *Methanotrix*, *Methanosarcina*

Бактерии, образующие метан восстановлением  
углекислого газа водородом (группа 4)



Бактерии, образующие метан путем расщепления уксусной  
кислоты (группа 5)



*Methanococcus jannischii*



*Methanosarcina archaea*

- Сырьем для производства биогаза могут служить:
  - органическая составляющая твердых бытовых отходов,
  - сточные воды,
  - жидкие отходы сельскохозяйственного производства,
  - твердые отходы сельскохозяйственного производства.
- Производство биогаза нуждается в поддержании постоянной, относительно высокой температуры в 30 - 50С°.
- Специальная система очистки может отделять от метана углекислый газ, который также является ценным промышленным продуктом.
- Сырье, оставшееся после ферментации, идет на производство экологически чистых минеральных удобрений, а если биогазовая установка связана с когенерационным устройством, кроме тепла, из метана можно добывать экологически чистое электричество.



# Классификация биогазовых установок

- Небольшие реакторы для ферм ( $1-20 \text{ м}^3$ ),
- Большие реакторы для ферм ( $50-500 \text{ м}^3$ ),
- Реакторы для переработки промышленных стоков (спиртовой, сахарной промышленности) ( $500-10\ 000 \text{ м}^3$ ),
- Реакторы для переработки твердого мусора городских свалок ( $1 - 20 \cdot 10^6 \text{ м}^3$ ).

- Метанотенки, изготовленные из металла или железобетона, могут иметь разнообразную форму, включая кубическую и цилиндрическую.
- Конструкции и детали этих установок несколько варьируют и зависят от типа перерабатываемого сырья.

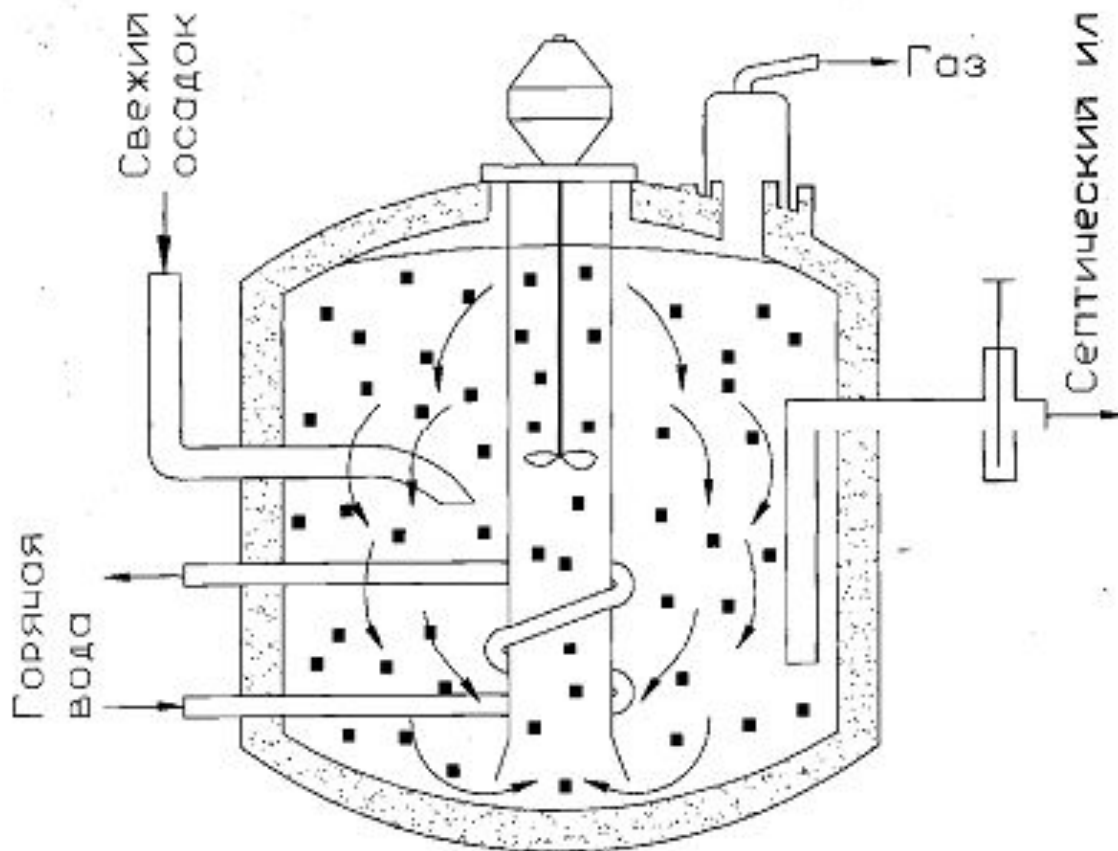
# Получение биогаза



- Биогазовая установка – это комплекс инженерных сооружений, который состоит из:
  - агрегатов и емкостей, предназначенных для хранения и подготовки сырья,
  - непосредственно самого производства биогаза,
  - ёмкости для сбора и очистки биогаза,
  - выделения таких побочных продуктов переработки как сухая часть, которая используется для получения высококачественных минеральных удобрений и воды.
- Метанотенки могут работать в режиме полного перемешивания, полного вытеснения, как анаэробные биофильтры или реакторы с псевдоожиженным слоем, а также в режиме контактных процессов.

- Метанотенк представляет собой герметичную емкость, частично погруженную в землю для теплоизоляции и снабженную:
- устройствами для дозированной подачи и подогрева сырья,
- газгольдером - емкостью переменного объема для сбора газа.
- Очень важным в конструкции метанотенков является обеспечение требуемого уровня перемешивания весьма гетерогенного содержимого аппарата.
- Максимальное выделение метана наблюдается в системах со слабым перемешиванием.
- Поэтому перемешивание при метаногенезе должно обеспечивать гомогенизацию бродящей массы, препятствовать оседанию твердых частиц и образованию твердой плавающей корки.

## Параметры анаэробной очистки



- $\text{pH} = 7,2-7,4$ ;
- Мезофильный режим :  $T = 37^{\circ}\text{C}$ ;
- Установлена рамная мешалка;
- Теплоноситель - горячая вода.

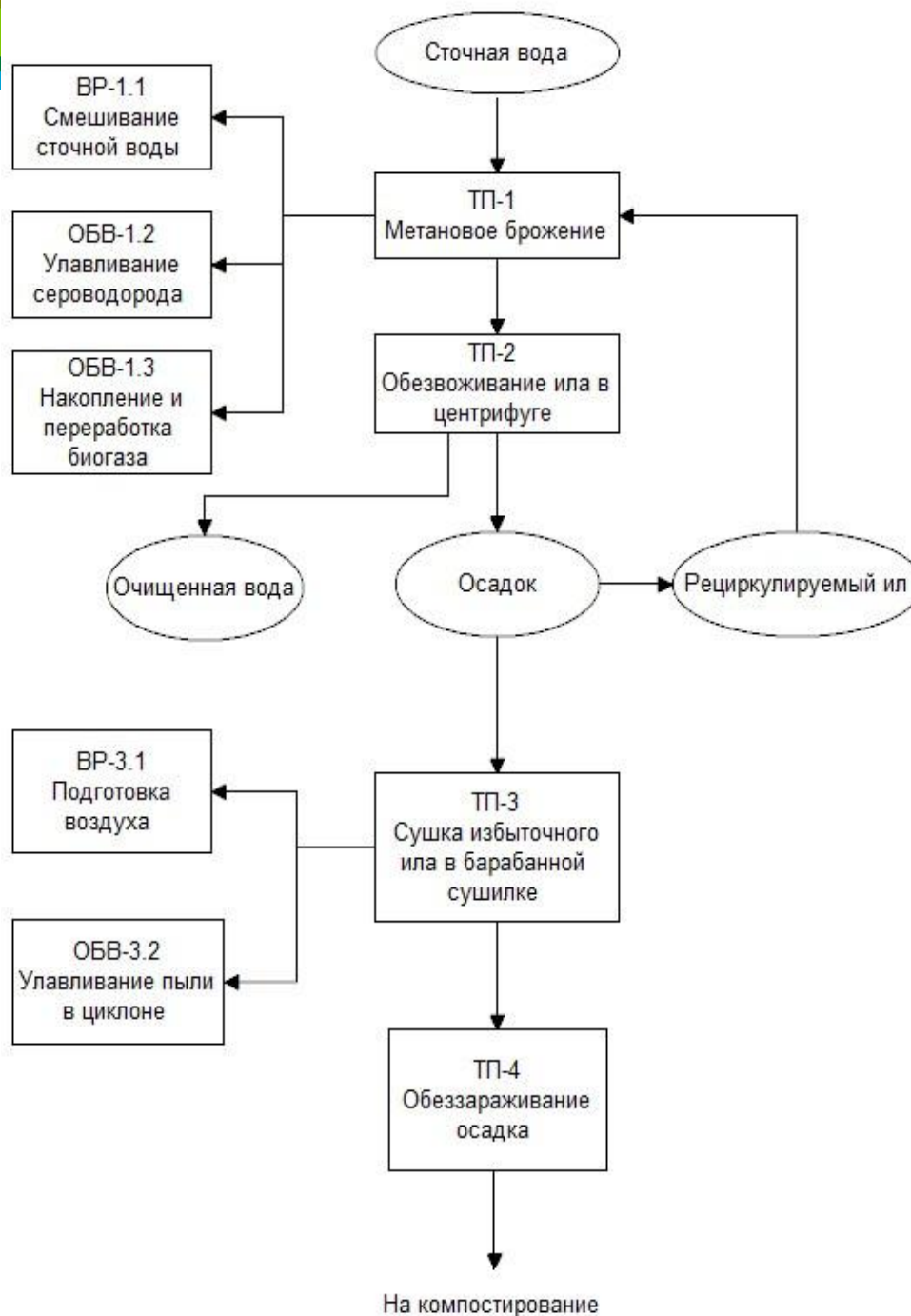
- Температура и, следовательно, скорость протекания процесса зависят от вида используемого метанового сообщества:
  - для термофильных организмов процесс реализуется при 50-60 °С,
  - для мезофильных - при 30-40 °С и
  - около 20 °С - для психрофильных организмов.
- При повышенных температурах скорость процесса в 2-3 раза выше по сравнению с мезофильными условиями.
- В ходе сбраживания органической массы на первой кислотной фазе в результате образования органических кислот рН среды снижается.
- Оптимум для метаногенов рН 7.0-8.5, поэтому для нейтрализации используют известь.

- Процессы, протекающие при метановом брожении, эндотермичны и требуют подвода энергии в виде тепла извне.
- Для подогрева загружаемого сырья и стабилизации температуры процесса на требуемом уровне обычно сжигают часть образуемого биогаза.
- В зависимости от температуры процесса количество биогаза, идущего на обогрев процесса, может достигать 30 % от объема получаемого.
- В зависимости от типа сырья и интенсивности процесса биометаногенеза выход биогаза колеблется от 300 до 600 м<sup>3</sup>/т органической массы при выходе метана от 170 до 400 м<sup>3</sup>/т.
- Глубина переработки субстрата при этом может составлять от 20 до 70 %.

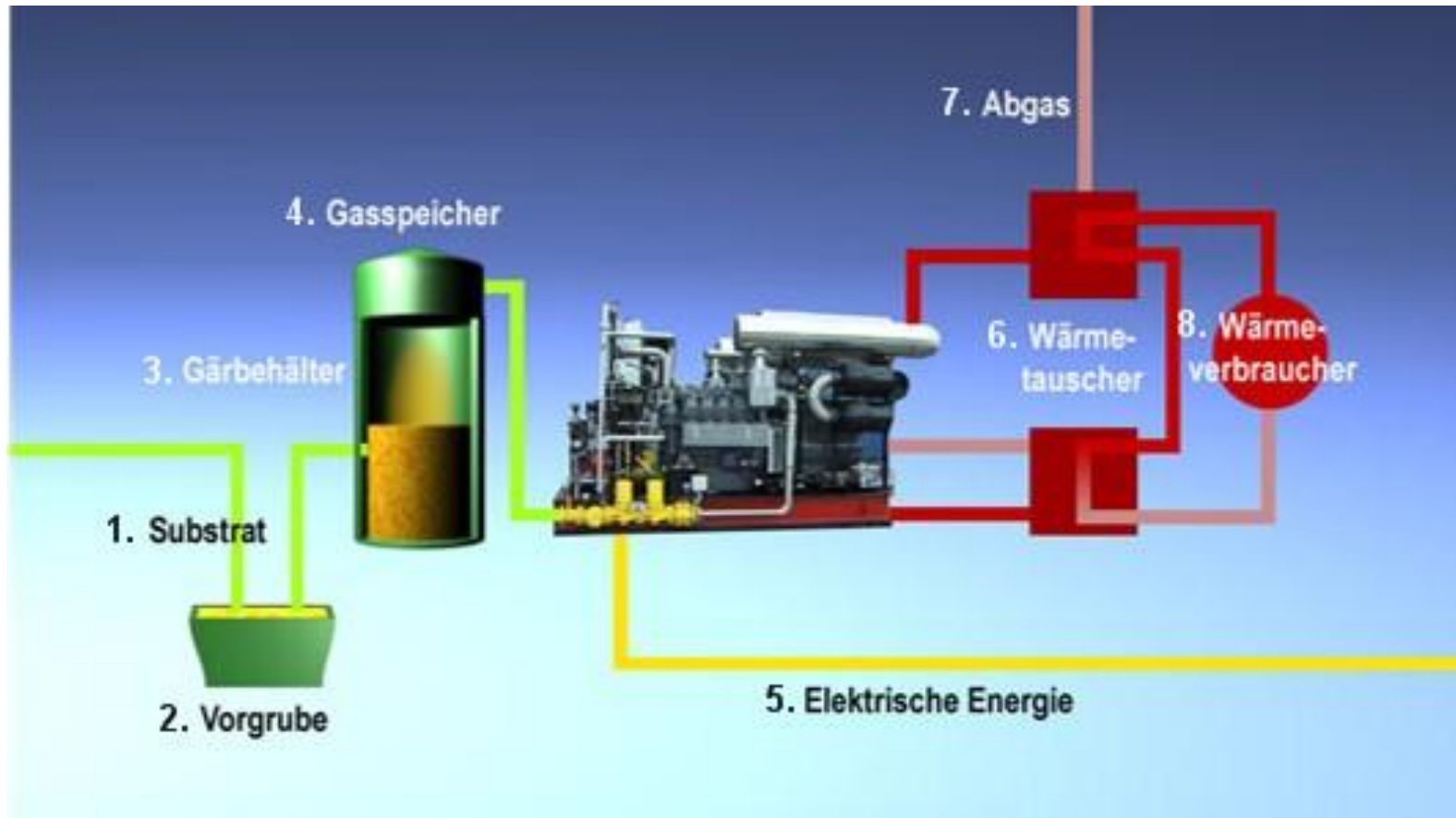
- Образующийся в процессах метаногенеза жидкий или твердый шлам вывозится на поля и используется в качестве удобрений.
- Данное применение обусловлено условиями метаногенерации, при которой патогенные энтеробактерии, энтеровирусы, а также паразитарные популяции (*Ascaris lumbricoides*, *Ancylostoma*) практически полностью погибают.







# Блочная теплоэлектростанция



1. Субстрат 2. Заготовительная шахта 3. Бродильный чан 4. Газовый накопитель  
5. Электрическая энергия 6. Теплообменник 7. Выхлопной газ 8. Потребитель тепла

# Выводы по данному разделу

в данном разделе были показаны основные биотопливные продукты, их методы получения и направления использования.

## Список используемой литературы:

1. Современные проблемы и методы биотехнологии [Электронный ресурс]: электрон. учеб. пособие / Н. А. Войнов, Т. Г. Волова, Н. В. Зобова и др. ; под науч. ред. Т. Г. Воловой. – Электрон. дан. (12 Мб). – Красноярск: ИПК СФУ, 2009.
2. Биотехнология: теоретический и научно-практический научный журнал. – М.: ФГУП "Государственный научно-исследовательский институт генетики и селекции промышленных микроорганизмов". – Режим доступа: [www.genetika.ru/journal/](http://www.genetika.ru/journal/)
3. Прикладная биохимия и микробиология: журнал. – Режим доступа: [www.inbi.ras.ru/pbm/pbm.html](http://www.inbi.ras.ru/pbm/pbm.html)
4. Газит Э. Нанобиотехнология: необъятные перспективы развития. Пер с англ.: А.Е. Соловченко. – М.: Научный мир, 2011. – 152 с.
5. Дженкинс М. Полимеры в биологии и медицине. Пер. с англ.: О.И. Киселева. – М.: Научный мир, 2011. – 256 с.
6. [Кирпичников](#) М. П. Современная биотехнология. Вызовы XXI века / Научно-просветительская серия «Трибуна Академии наук». – М.: РБОФ "Знание" им. С. И. Вавилова, 2010, Вып. №23.
7. Вестник биотехнологии и физико-химической биологии: журнал. Электронное периодическое издание Общества биотехнологов России им. Ю.А. Овчинникова – Режим доступа: [www.biorosinfo.ru](http://www.biorosinfo.ru)
8. <http://www.biengi.ac.ru> Сайт научного совета по биотехнологии (Центр «Биоинженерия») Российской академии наук (ЦБ РАН).
9. <http://www.eimb.relarn.ru> Институт молекулярной биологии им. Энгельгардта (Москва).
10. <http://www.ibch.ru> Институт биоорганической химии им. М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова РАН (Москва).
11. <http://www.genebee.msu.ru> Институт физико-химической биологии им. Белозерского МГУ (Москва).
12. <http://www.genetika.ru> ГосНИИГенетика (Москва)
13. [http://www.issep.rssi.ru/sej\\_str](http://www.issep.rssi.ru/sej_str) Соросовский образовательный журнал
14. [http://www.rusbiotech.ru/spec\\_razd/statii](http://www.rusbiotech.ru/spec_razd/statii)
15. сайты конференций и конгрессов по биотехнологии.