

**Московский политехнический университет  
Высшая школа печати и медиаиндустрии  
Кафедра «Инновационные материалы принтмедиаиндустрии»**

**Дисциплина:  
Материалы технологий  
полиграфического производства**

**Лекция 2**

**Тема: Бумага. Изучение древесной массы. Производство бумаги.**

**Лектор: Кульков Максим Геннадьевич**

# Волокнистые полуфабрикаты из древесины



Выпускается более двадцати видов волокон древесной массы.

Стрелками показано направление улучшения бумагообразующих свойств.

# Волокна древесной массы

Волокна древесной массы – плохо переплетаются, жесткие, *лигнин и сопутствующие вещества не удалены.*

В волокнах *древесной массы* очень много крупных (костра) и мелких частиц (пыли), которые не способны образовывать межмолекулярные водородные связи.

*Волокна древесной массы входят в состав:*

- газетной бумаги;
- мелованной бумаги;
- картона упаковочного;
- гофрокартона;
- книжно-журнальной и оформительской бумаги;
- форзацной и обложечной бумаги;
- бумаги хозяйственного назначения.

# Бумажные материалы из волокон древесной массы

## Достоинства:

- высокая светонепроницаемость;
- более однородная и равномерная структура листа;
- не используются химические реагенты;
- дешевые;
- почти полное использование древесины (98%).

## Недостатки:

- сравнительно низкая прочность;
- невысокая гладкость поверхности;
- высокая впитывающая способность,
- быстро желтеют (нестабильная белизна);
- малый срок пользования.

# Показатели качества бумажных материалов из волокон древесной массы

<b>Показатели</b>	<b>Белая</b>	<b>Термо- механическая</b>	<b>Химико- термомеханическая</b>
<b>Разрывная длина, м</b>	<b>2800</b>	<b>3800</b>	<b>5500-7500</b>
<b>Сопротивление раздиранию, мН м<sup>2</sup>/г</b>	<b>3,43</b>	<b>7,35</b>	<b>7,85-9,81</b>
<b>Белизна, %</b>	<b>64</b>	<b>60</b>	<b>55-69</b>
<b>Содержание костры, %</b>	<b>7-15</b>	<b>1,2</b>	<b>0,1</b>

# Волокна древесной целлюлозы

## получают химическим способом

**Древесину** перерабатывают в щепу, сортируют по размеру и только затем подвергают химическому воздействию реагентов.

**Варка** – выделение волокон целлюлозы из древесины в **неповрежденном виде** при повышенной температуре и давлении.

При варке волокна **разрыхляются и разделяются** на фибриллы, **а лигнин** переводится **в растворимые водой** соединения и вымывается.

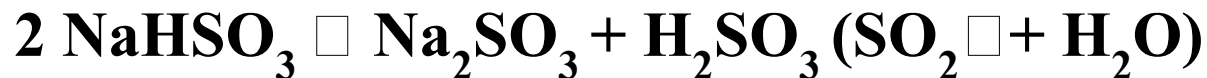
**Выделение основано на взаимодействии** реакционно активных групп лигнина с реагентами в кислой или щелочной среде и образовании водорастворимых соединений.

## Волокна сульфитной целлюлозы

Химический процесс проходит **в кислой среде** при  $\text{pH} \approx 4,5$ .

Используют раствор бисульфита натрия  $\text{NaHSO}_3$  и сернистой кислоты  $\text{H}_2\text{SO}_3$ .

В водной среде  $\text{NaHSO}_3$  разлагается:



Лигнин взаимодействует с  $\text{SO}_2$ , образуя **агрессивные лигниносulфоновые кислоты**, которые приводят к частичному укорачиванию волокна. Кислоты нейтрализуются солью  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ , образуя соли Na-лигниносulфоновых кислот, которые теряют химическую связь с волокнами и вымываются.

**По содержанию остаточного лигнина волокна сортируют:**

а) **на мягкие (1,5%)**; б) **средние (4%)**; в) **жесткие (6%)**

Неотбеленная сульфитная целлюлоза имеет **свинцово-серый цвет**.

# Волокна сульфитной целлюлозы

## Достоинства

- **волокна легко отбеливаются;**
- **высокая прочность;**
- **выход полезного полуфабриката составляет 45-55%.**

## Недостатки

- **остаточное содержание лигнина от 1,5% до 4% (6%);**
- **частичная деструкция волокон;**
- **перерабатывается древесина с низким содержанием смол (лиственные породы);**
- **высокое содержание смолы в готовом полуфабрикате до 1,5%, образуются липкие отложения;**
- **необратимое загрязнение сточных вод;**
- **кислая среда в дальнейшем ускоряет процессы старения.**



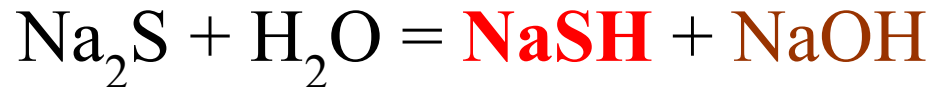
# Волокна сульфатной целлюлозы

Древесная щепа варится в щелочном растворе ( $\text{pH} > 7$ ).

**Основные компоненты** щелочного раствора:

- щелочь - **NaOH**;
- сульфид натрия - **Na<sub>2</sub>S**;

**Дополнительные компоненты:** **Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>**; **Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>**.



**Лигнин** образует с сульфогидратом натрия **тиолигнин**, который хорошо отделяется от волокон целлюлозы и удаляется при промывке.

Смолы при варке дают коричневое окрашивание волокон.

**Процесс отбелики более сложный и трудоемкий.**

# Волокна сульфатной целлюлозы (рН >7)

## Достоинства:

- полностью удален лигнин;
- перерабатываются любые породы деревьев и **недревесное сырье**;
- высокая механическая прочность волокон;
- содержание смолистых веществ **не превышает 0,2%**;
- рН бумаги нейтральная или щелочная;
- **сточные воды регенерируются**

## Недостатки:

- сложная, многостадийная, дорогостоящая отбелка;
- энергоемкое производство;
- выход полуфабриката составляет **40-45%**

# Макулатурная масса

**Макулатура** в производстве бумаги бывает разной. Самой доступной и простой в применении макулатурой являются отходы бумажных фабрик (бракованная бумага, бумажные отходы и обрезки и т.д.).

*Запечатанная бумага* является более сложным в переработке типом макулатуры, так как требует сложного цикла удаления краски, отбеливания и химической обработки.

## Получение вторичных волокон

- 1) **ропуск макулатуры на волокна;**
- 2) **механическая и химическая очистка распущенных волокон;**
- 3) **сортировка и повторная очистка волокон;**
- 4) **окончательный размол;**
- 5) **облагораживание (тонкая очистка)**

По такой схеме получают вторичные волокна высокого качества.

# Получение вторичных волокон

**Роспуск** – гидроразбивательная емкость с мешалкой и подачей оборотной воды. Макулатура размокает и распадается на волокна.

**Механическая очистка** – на магнитных очистителях от металлических включений; в центробежных и вихревых циклонах от тяжелых примесей, песка, грязи, сгустков.

**Химическая очистка** – в щелочной среде  $\text{NaOH}$  с  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  и температуре  $40-60^\circ\text{C}$  при диспергировании удаляется **краска, сажа, жиры, воски и другие загрязнения**. Отделяемые загрязнения поддерживаются ПАВ в пене (флотация).

**Сортировка** – отделение от основной массы не распавшихся сгустков.

**Размол** - для ликвидации пучков, не распавшихся на волокна.

**Облагораживание** производится для отбелики волокон, низкая белизна волокон обусловлена наличием печатной краски и естественных процессов старения. Используют  $\text{H}_2\text{O}_2$  и **озонирование**.

# Свойства вторичных волокон

- По свойствам вторичные волокна близки к волокнам древесной массы.
- Введение в композицию бумаги вторичных волокон приводит к
  - повышению пухлости
  - снижению прочности.

## Основные причины ограничения использования вторичных волокон

- Невысокое качество разволокнения макулатурной массы.
- Недостаточная очистка от загрязнений (отбеливание, обесцвечивание).

# Использование вторичных волокон

**Вторичные волокна** применяется при производстве:

- газет;
- переплетного, упаковочного и гофрокартона;
- упаковочных контейнеров.

- Себестоимость 1т вторичных волокон ниже себестоимости 1т небеленой целлюлозы на 37%, а 1т древесной массы на 13,7%.

**Применение 1т макулатуры экономит:**

- **3-4 м<sup>3</sup> древесины**
- **3-4 м<sup>3</sup> воды,**
- **100-300 кВт·ч электроэнергии**
- **10-15 ГДж тепловой энергии.**

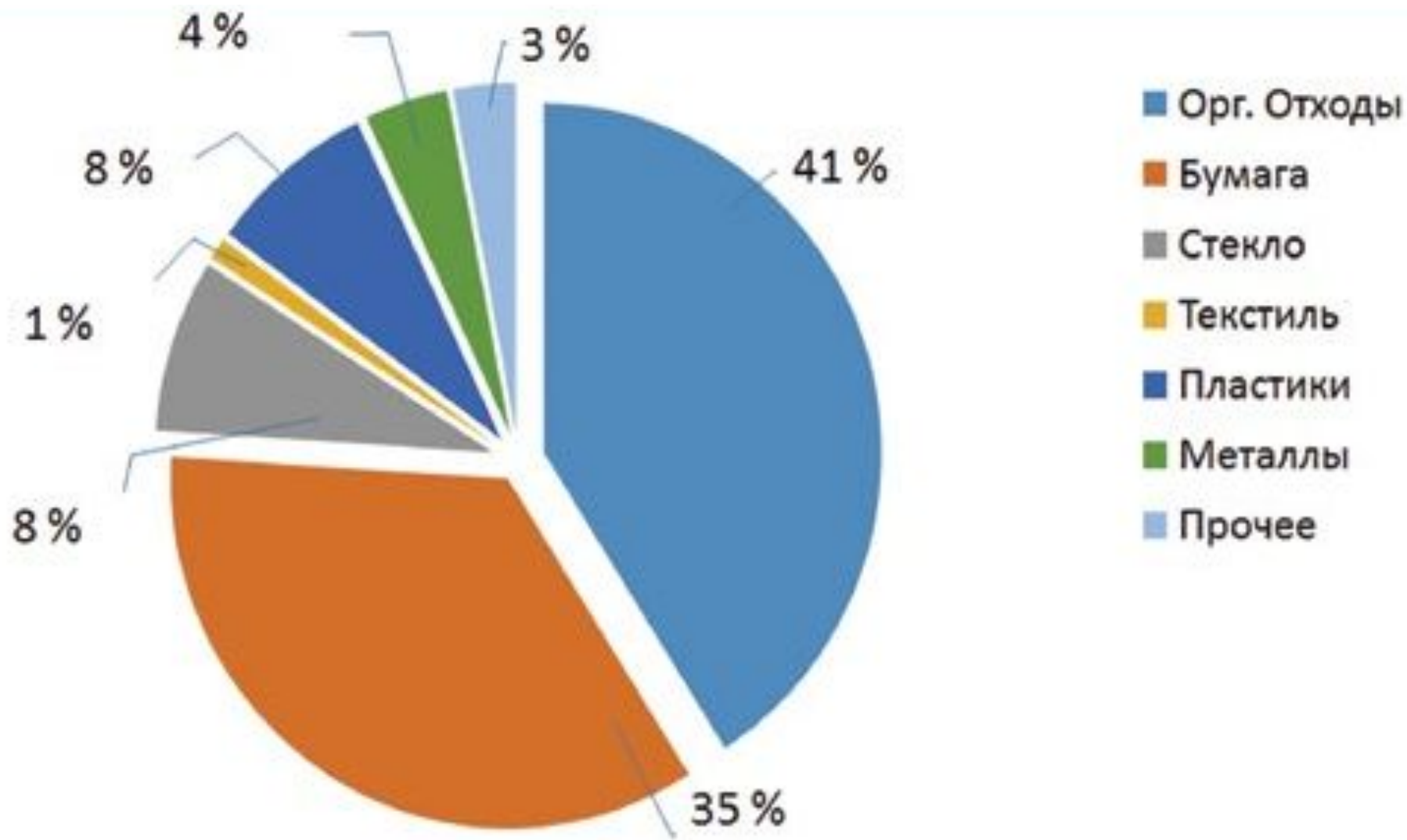
- Сегодня в России вторичные волокна недостаточно используются в производстве бумажной продукции.
- Законодательство ряда стран Европы, Северной Америки и Японии предусматривают **налоговые льготы** производителям бумаги, использующим в производстве бумаги вторичные волокна.
- В Европе, Северной Америке, Юго-Восточной Азии **производят газетную бумагу из 100% вторичных волокон.**

# Раздельный сбор бытовых отходов





# Морфологический состав твердых бытовых отходов



## Мировой уровень потребления вторичных волокон

Год	Вторичные волокна, %
1990	35,6
1995	41,4
2007	45,2
2012	47,0
2017	60,0

**Вторичные волокна используется в производстве газетной бумаги (до 14% от всей перерабатываемой макулатуры), в производстве картона (48%) и ряда других бумаг.**

ПРОИЗВОДСТВО БУМАГИ



# Производство бумаги

## Общая технологическая схема производства бумаги:

Подготовка бумажной массы



```
graph TD; A(Подготовка бумажной массы) --> B(Отлив бумаги); B --> C(Отделка бумаги);
```

The diagram illustrates the general technological scheme of paper production. It consists of three sequential steps, each represented by a horizontal oval. The first oval is light blue and contains the text 'Подготовка бумажной массы'. A downward-pointing arrow connects it to the second oval, which is a darker blue and contains 'Отлив бумаги'. Another downward-pointing arrow connects the second oval to the third oval, which is light gray and contains 'Отделка бумаги'.

Отлив бумаги

Отделка бумаги

# Подготовка бумажной массы

- **Отбеливание волокон**
- **Окончательный размол**
- **Составление композиции по волокну**
- **Введение наполнителей**
- **Введение проклеивающих веществ**
- **Введение подцветки**
- **Разбавление бумажной массы**

# Отбелка волокон

## Цель отбеливания

- Эстетически приятнее белые бумажные материалы
- Для контрастности текста и изображения
- Для обеззараживания, санитарно-гигиенические нормы
- Равномернее окрашиваются волокна красителями

Суть процесса отбелки <

**обесцвечивание красящих  
веществ и лигнина**

**(волокна древесной массы)**

**частичное удаление остатков  
лигнина, обесцвечивание  
красителей и воска**

**(волокна целлюлозы)**

Со временем под действием света и тепла волокна древесной массы **желтеют**.

**Отбелка** проводится в один или несколько этапов.

**Многостадийная отбелка** более эффективна.

Для отбелки используют **сильные окислители**:

- производные хлора,
- перекись водорода,
- кислород,
- озон.

- Легко в три стадии отбеливается **сульфитная** целлюлоза.
- **Сложная** многостадийная в пять и более стадий отбелка волокон **сульфатной** целлюлозы.
- Наибольшей белизны добиваются при отбелке волокон древесной **сульфатной** целлюлозы.



# Отбелкой увеличивают белизну волокон

до 60-70%

Бумага из *конопляных* и *рисовых* волокон белее бумаги из волокон древесной целлюлозы, поэтому не требует отбеливания волокон.

## Отбелка изменяет следующие свойства бумаги:

- **белизну** (увеличивает и стабилизирует)
- **светостойкость** (увеличивает)
- **прочность** (частично уменьшает)
- В конце XX века в связи с ужесточением требований к экологии производства и готовой продукции и ограничением на содержание в целлюлозе канцерогенных соединений хлора получили распространения **бесхлорные технологии отбелики целлюлозы**.
- В Европе выпускаются более дорогие марки беленой целлюлозы **свободные от всякого хлора**.

# Размол волокнистых полуфабрикатов

Дополнительный размол – обязательная стадия, определяющая многие свойства печатных бумаг.

## Размол решает следующие задачи

- **Измельчение комков и сгустков волокон**
- **Фибриллирование волокон** (расщепление в продольном направлении)
- **Гидратирование волокон** (образование водородных связей)

**Размол проводится всегда в водной среде.**

**Волокна становятся мягкими, гибкими, эластичными.**

# Композиция по волокнистому составу

Вид волокна	№ 1	№ 2	№ 3	газетная	специал. назначен
Волокна хлопковой целлюлозы					30-100
Волокна древесной целлюлозы	100	80-50	35	25	70-00
Волокна древесной массы		20-50	65	не менее 75	

**Синтетические волокна гидрофобны, эластичны, прочны, но не образуют межмолекулярных химических связей, нужен клей для скрепления волокон. Частично их добавляют для экономии растительных волокон и изменения свойств бумаги.**

# Введение наполнителей

**Наполнители** – высокодисперсные нерастворимые минеральные вещества

Какую цель выполняют наполнители в бумаге?

повышают белизну

повышают гладкость и мягкость

повышают светонепроницаемость

придают микропористую структуру

стабилизируют линейные размеры

равномерное восприятие краски

снижают пробивание краски на оборот листа

экономят природное сырье

**понижают прочность и степень проклейки бумаги**

**увеличивают пылимость**

- **Каждые 10% наполнителя снижают прочность бумаги в 1,5-2 раза.**
- **Для повышения удержания наполнителей в бумажную массу перед отливом вводят вещества, вызывающие хлопьеобразование (связывают частички наполнителя между собой в агломераты (флоккулы)):**
  - **животный клей,**
  - **активированный силикат,**
  - **полиэтиленимин (ПЭИ),**
  - **полиакриламид (ПАА).**
- **Кроме того эти полимеры повышают удержание мелких волокон до 70-85 %, улучшают структуру листа бумаги.**
- **Бумажные материалы, изготовленные из волокон жирного помола, удерживают больше наполнителей, чем бумага из тощего помола.**

# Наполнение бумажных материалов

О содержании наполнителя в бумаге судят по показателю **зо́льность**

$$Z = m_{\text{зо́лы}} / m_{\text{бум.}} \cdot 100\%$$

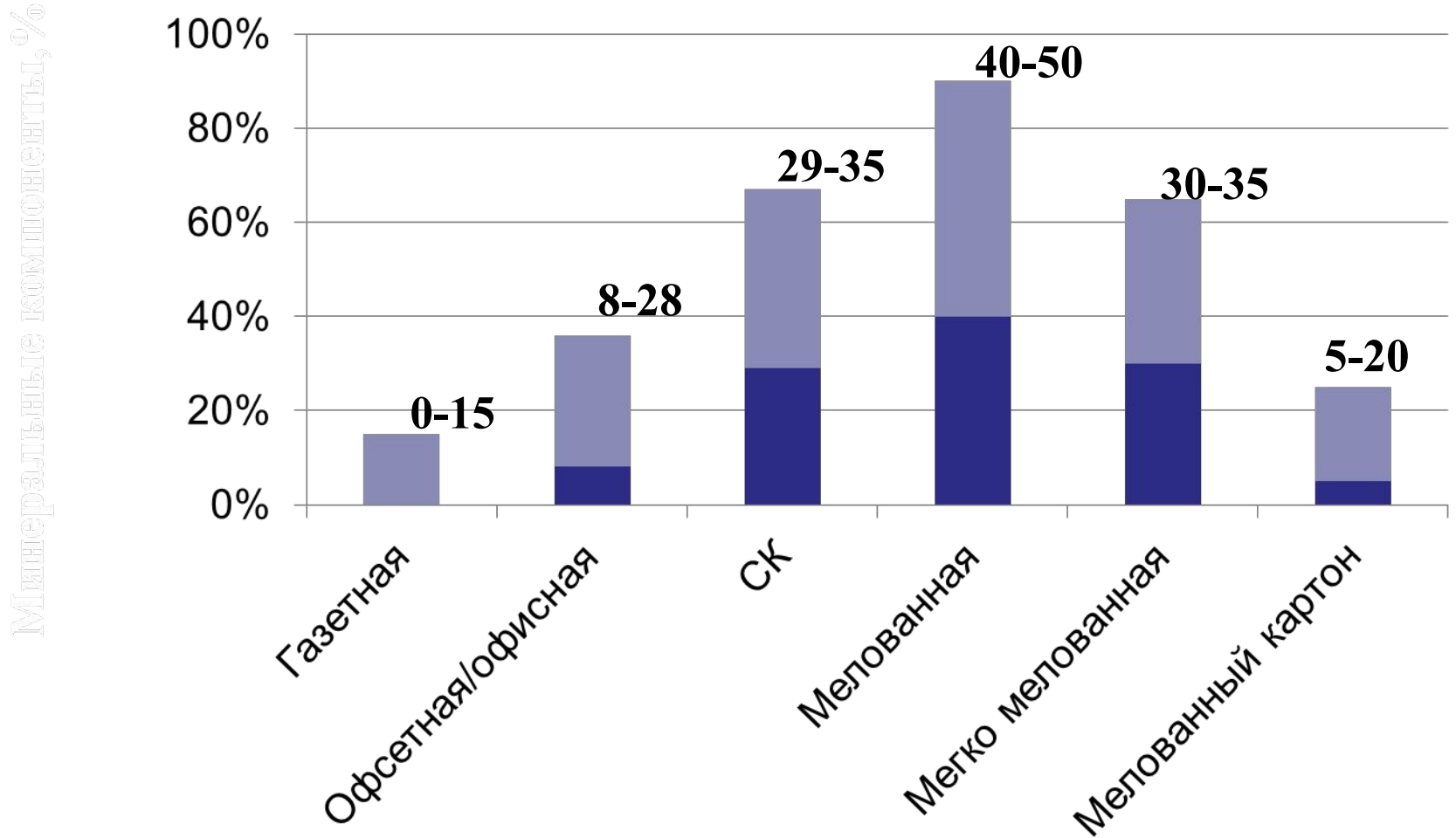
## Классификация по содержанию наполнителя

Без наполнителя (естественная зольность)	– менее 5%
Малозольная	– 6-8%
Среднезольная	– 8-15%
Высокозольная	– 16-23%
Повышенная зольность	– более 23%

## Свойства наполнителей

Наполнители	Белизна %	Плотность г/см <sup>3</sup>	Коэфф. преломле ния	Средний размер частиц, мкм
<b>Каолин</b> ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )	<b>70-84</b>	<b>2,60</b>	<b>1,56</b>	<b>0,5-1,0</b>
<b>Мел (<math>\text{CaCO}_3</math>)</b>	<b>85-95</b>	<b>2,71</b>	<b>1,56</b>	<b>1,0-5,0</b>
<b>Диоксид титан (<math>\text{TiO}_2</math>)</b>	<b>97-99</b>	<b>4,10</b>	<b>2,6</b>	<b>0,30-0,35</b>
<b>Бланфикс (<math>\text{BaSO}_4</math>)</b>	<b>95-98</b>	<b>4,5</b>	<b>1,64</b>	<b>0,5-2,0</b>
<b>Микротальк</b> ( $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )	<b>70-92</b>	<b>2,6-2,8</b>	<b>1,57</b>	<b>1,0-10,0</b>

# Содержание наполнителей в бумаге и картоне





# Введение проклеивающих веществ

- По природе растительные волокна *гидрофильны*.
- Попадание воды на бумагу вызывает:

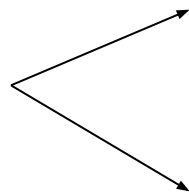
- снижение механической прочности;
- изменение линейных размеров бумаги;
- нарушение стабильности печатного процесса

**Проклейка** – физико-химическая обработка волокон

- 1) снижает гидрофильность (**гидрофобизирующая**),
- 2) улучшает связь между волокнами (**связывающая**).

# Введение проклеивающих веществ

**Цель проклейки**



**Повышение водостойкости**

**Повышение прочности**

## Отрицательная сторона проклейки:

- повышается жесткость, хрупкость и звонкость;
- усиливается желтоватый оттенок;
- **снижается прочность при гидрофобизирующей проклейке.**

**Содержание проклеивающих веществ в бумаге не превышает  
2 - 3% (4%)**

# Классификация проклейки

- **По механизму действия:**

- гидрофобизирующая
- связывающая

- **По способу введения:**

- в массу
- поверхностно

- **По кислотности:**

- кислотная
- нейтральная
- псевдо нейтральная
- щелочная

# Типы проклейки

## Гидрофобизирующая

- димеры алкил кетенов жирных кислот;
- модифицированная канифоль
- парафин
- воск
- синтетические клеи

## Связывающая

- модифицированный крахмал
- казеин
- поливиниловый спирт
- Na-соль-КМЦ
- латекс

## Комбинированная

**Карбамидные смолы (меламино- и мочевиноформальдегидные смолы)**

# Типы проклейки

- **Гидрофобизирующая** проклейка придает водоотталкивающее свойство и улучшает стойкость к маслам. Проклейка в массе делает бумагу влагостойкой, затрудняя проникновение в нее воды, но не препятствует впитыванию масла.
- **Поверхностная** проклейка необходима для бумаг офсетной, глубокой и цифровой печати. При этой проклейке вводятся гидрофильные коллоиды дополнительно склеивающие волокна между собой, повышая прочность поверхности бумаги.
- **Комбинированная** проклейка снижает гидрофильность и дополнительно скрепляет волокна. Такая проклейка придает бумаге **водопрочность**, т.е. способность сохранять механическую прочность в увлажненном состоянии.

# Способы введения проклеивающих веществ

## Проклейка в массе

- повышает водостойкость
- повышает водопрочность
- усиливает желтый оттенок
- снижает прочность при введении гидрофобизирующих веществ

## Поверхностная проклейка

- повышает прочность
- повышает стойкость к выщипыванию
- снижает пылимость
- снижает ворсистость
- удерживает наполнитель
- снижает волнистость и скручивание
- повышает жесткость
- улучшает адгезию к краскам
- снижается электризуемость

# Степень проклейки

- Высокая степень поверхностной проклейки пагубна для *фальцовки*.
- Оценивают количество введенных проклеивающих веществ по показателю *степени проклейки*.
- **Степень проклейки** характеризуется максимальной шириной штриха, проведенного водными чернилами, который не расплывается и не переходит на обратную сторону листа.

**менее 0,25 мм – непроклеенная**

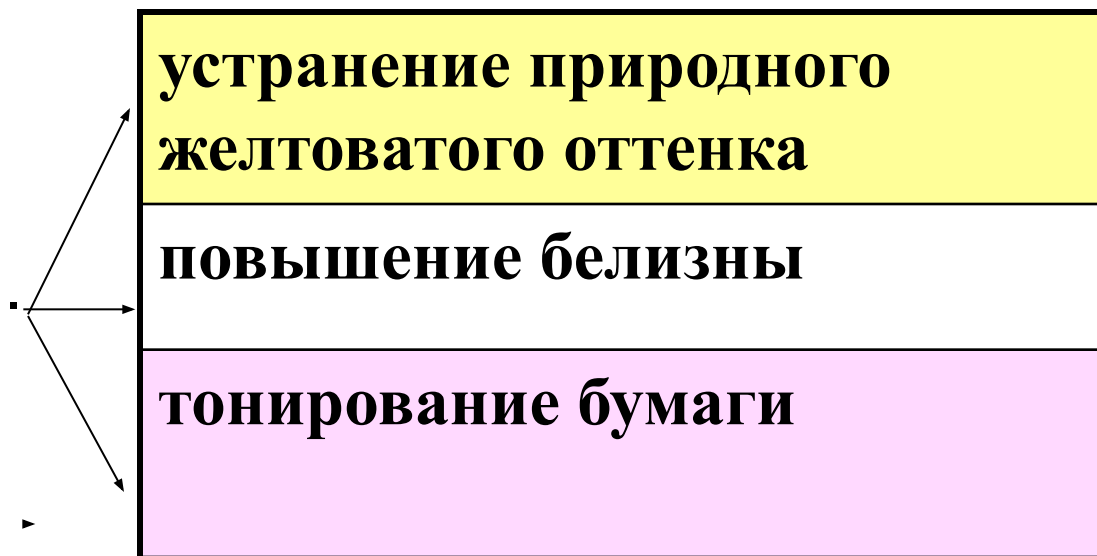
**0,25-0,5 (0,75)мм – малая степень проклейки**

**0,75-1,0 (1,25)мм – средняя степень проклейки**

**1,25-1,8 (2,00)мм – высокая степень проклейки**

# Подцветка бумажной массы

**Назначение подцветки**



Для тонирования и устранения желтого оттенка вводят красящие вещества в количестве от 1 до 1,5% от бумажной массы.

## Способы введения красящих веществ:

- в бумажную массу (до отлива бумаги);
- поверхностно (одно- или двустороннее)



# Подцветка

**Белизна** – способность материала отражать свет равномерно и рассеянно по всей зоне видимого спектра.

## **Белизна бумажных материалов зависит от:**

- качества исходных волокон
- степени отбеливания
- вида и количества наполнителя
- красителей
- оптических отбеливателей

Белизна влияет на восприятие текста и удобочитаемость печатной продукции.

Воспроизведение цветного оригинала без искажения возможно только на достаточно белых бумажных материалах.

## Устраняют желтизну бумаги красителями:

- синие;
- фиолетовые;
- сине-фиолетовые

Синие и фиолетовые красители поглощают желтое излучение подобно светофильтрам, увеличивая отражение в синей зоне, и т.о. устраняют желтый оттенок бумаги.

**Для повышения белизны бумаги вводят оптические отбеливатели**

**Оптические отбеливатели** – поглощают УФ-лучи с длиной 300-390 нм, преобразуют их, излучая энергию с большей длиной волны. Увеличивают количество отраженного света в синей части спектра.

# Подцветка

- Коэффициентом отражения, можно характеризовать материалы по их *оптическим свойствам* – от белых до темно-серых и черных. Цветной **оттенок бумаги** создает различную контрастность при восприятии разных цветов, а это нарушает цветопередачу воспроизведения цветных оригиналов.

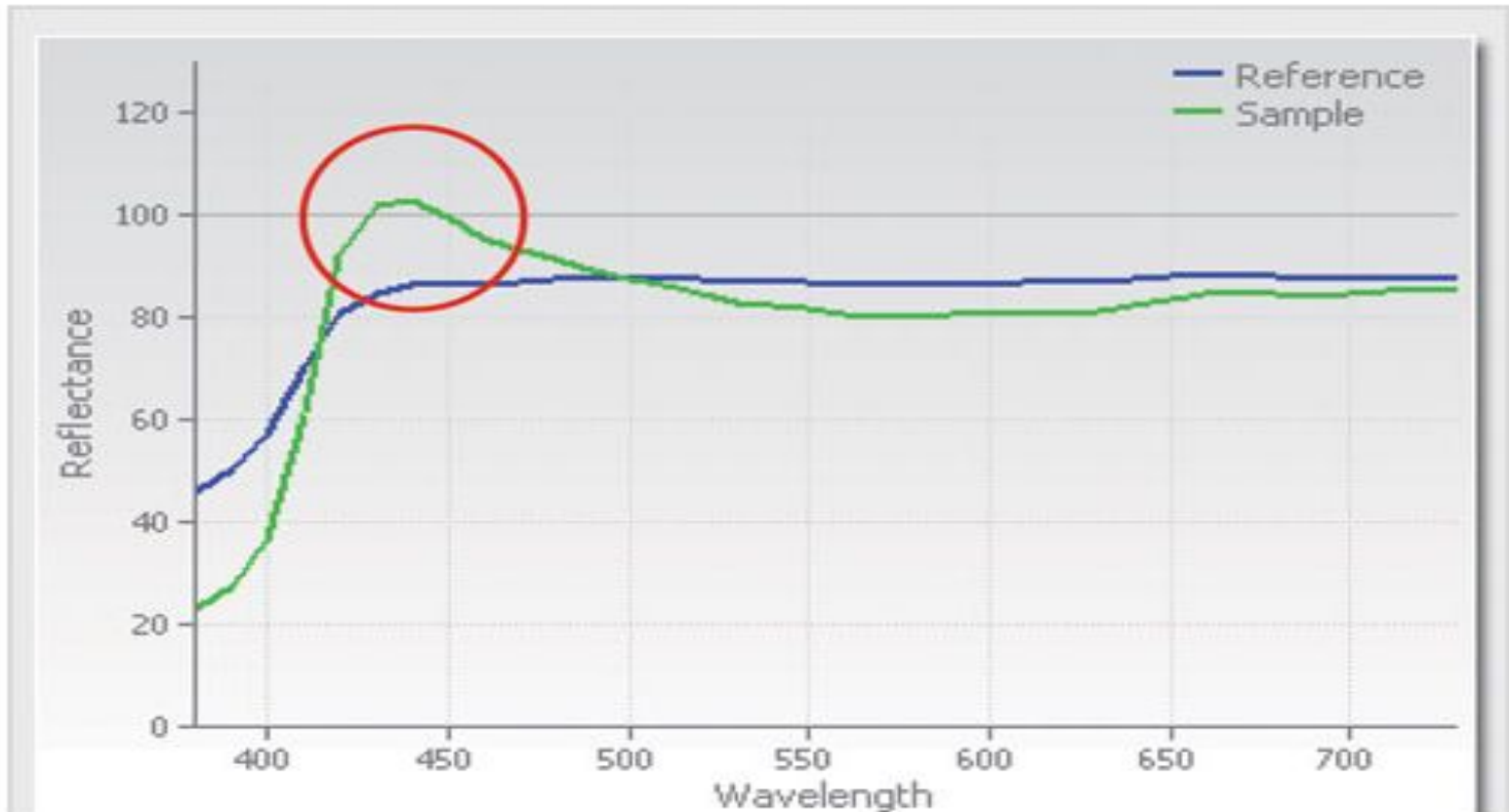


Рис. Спектральные кривые отражения бумаги и эффект оптического отбеливателя

# Разбавление бумажной массы

Требуемая **степень разбавления определяется** степенью размола, видом волокна, температурой суспензии и массой  $1\text{ м}^2$  бумаги.

- **Масса  $1\text{ м}^2$  почти линейно зависит от степени разбавления бумажной массы.**
- Разбавление сопровождается постоянным перемешиванием для предотвращения осаждения волокон и др. компонентов. Для удержания мелких частиц также вводят гидрофильные полимеры (полиэтиленамин или полиэтиленимин), которые вызывают **флоккуляцию**.
- Для высококачественных и средних сортов разбавляют до **0,3-0,8%**, а для толстых видов бумаги и картона до **0,8-3,0%**.
- Разбавление сопровождается операциями по очистке в центробежных установках.



**Задание на самостоятельную работу:**

**Повторить материал лекции.**

# Композиция для поверхностной проклейки

- Полимер в виде раствора или дисперсии
- Технологические добавки
  - оптические отбеливатели
  - красители
  - антистатиками
  - биоциды
  - пластификаторы