



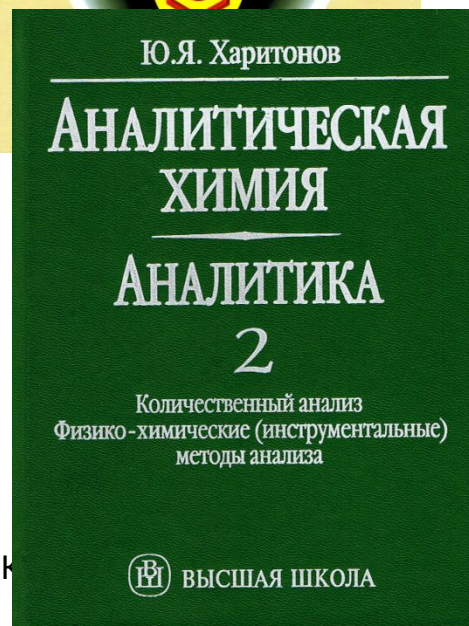
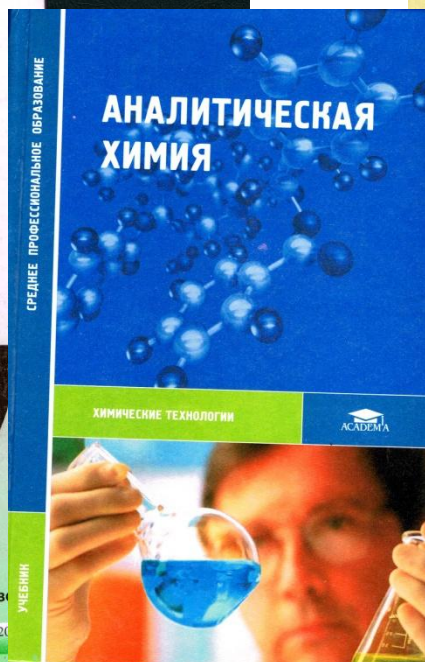
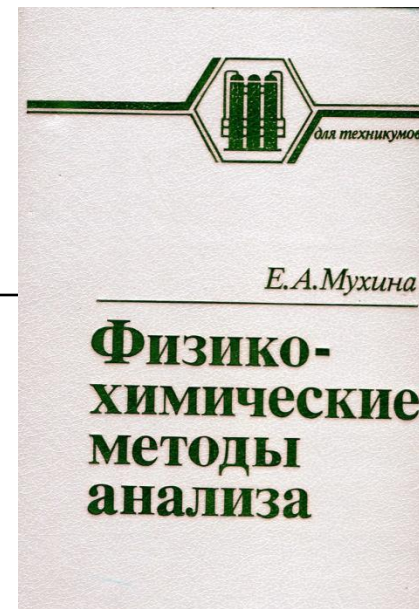
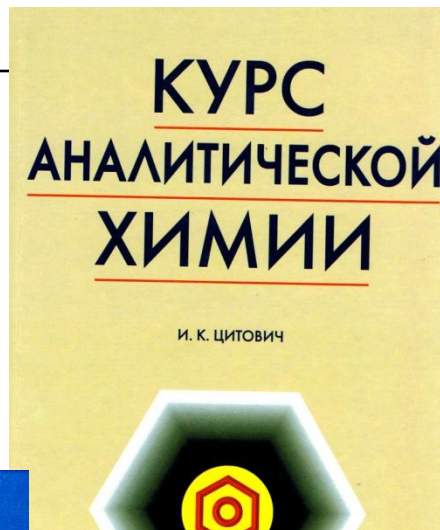
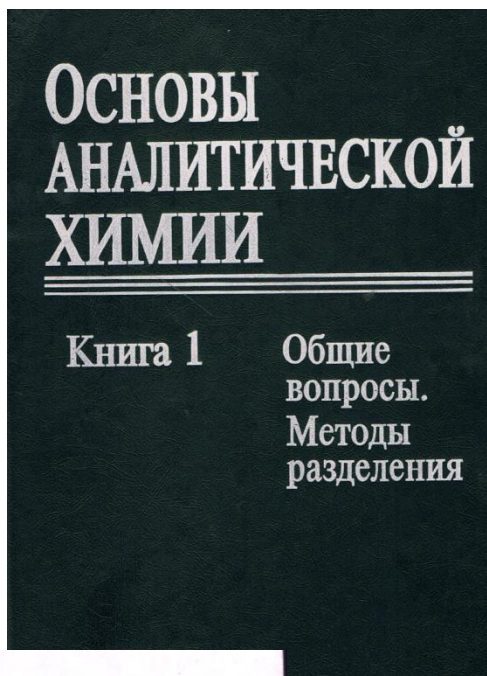
# МЕТОДЫ РАЗДЕЛЕНИЯ И КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ.

---

## ХРОМАТОГРАФИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

### *Лекция 7*

# ЛИТЕРАТУРА



# Разделение и концентрирование

---

***Разделение*** – это операция, в результате которой компоненты, составляющие исходную смесь, отделяются один от другого.

- ***Концентрирование*** – это операция, в результате которой повышается отношение концентрации или количества микрокомпонентов к концентрации или количеству макрокомпонента.

# Основные методы разделения и концентрирования

- Методы испарения основы (упаривание, выпаривание).
- **Озоление или минерализация (сухое, мокрое).**
- **Осаждение и соосаждение.**
- *Методы испарения.*
- *Экстракционные методы.*
- *Сорбционные методы.*
- **Хроматографические методы.**
- **Электрохимические методы (электрофорез, электролиз, электродиализ).**
- **Селективное растворение.**
- **Другие методы.**

# Сорбция

**Сорбция** – это процесс поглощения газов, паров и растворенных веществ твердыми или жидкими поглотителями (сорбентами).

## *Сорбционные методы:*

- ❖ Абсорбция.
- ❖ Адсорбция (физическая и хемосорбция).
- ❖ Капиллярная конденсация.

## *Способы сорбции:*

- ❖ Статический.
- ❖ Динамический (хроматографический).

## *Количественные характеристики:*

- ❖ Коэффициент распределения -  $D$ .
- ❖ Степень извлечения -  $R$ .

# Хроматографические методы

***Хроматография*** – это физико-химический метод разделения и концентрирования, основанный на распределении компонентов между двумя фазами (неподвижной и подвижной).

Это гибридный аналитический метод, в котором хроматографическая колонка – часть аналитической системы, сочетающей разделение веществ и их определение.



# Основные понятия

**Неподвижная фаза** – это твердое вещество (сорбент) или пленка жидкости, нанесенная на этот сорбент.

**Подвижная фаза** – это жидкость или газ, проходящие через неподвижную фазу.

- **Определяемые компоненты** вместе с подвижной фазой перемещаются с разной скоростью вдоль неподвижной фазы, помещенной в колонку.
- В результате многократно повторяющихся процессов **сорбции и десорбции** в колонке происходит разделение компонентов анализируемой смеси.
- **Элюент** – подвижная фаза, вводимая в слой неподвижной фазы.
- **Элюат** – подвижная фаза, выходящая из колонки и содержащая разделенные компоненты.

# Классификация

**По агрегатному  
состоянию фаз**

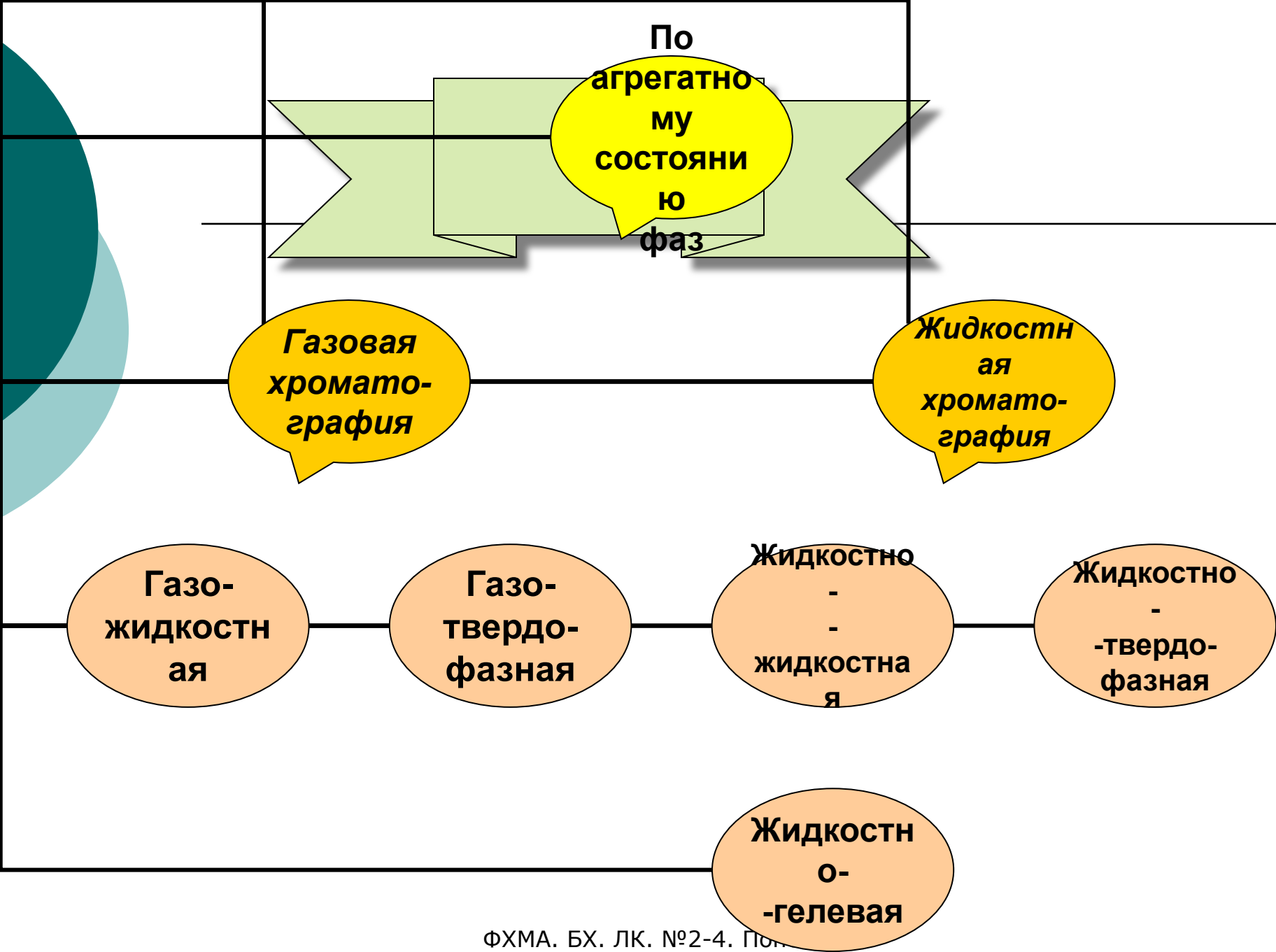
**По механизму  
взаимодействия  
сорбент-сорбат**

**По технике  
выполнения**

**По цели  
хроматографирования**

**По способу  
получения  
хроматограмм**





**По механизму  
взаимодействия  
сорбент-сорбат**

**Распределительная**

**Адсорбционная**

**Ионообменная**

**Осадочная**

По  
технике  
выпол-  
нения

Колоночная

Плоскостная

Набивная

Капилляр  
ная

Тонкосо  
йная

Бумажна  
я

**По цели  
хроматогра-  
фирования**

**Промышле  
нная**

**Препарати  
вная**

**Аналитиче  
ская**

# Виды хроматограмм

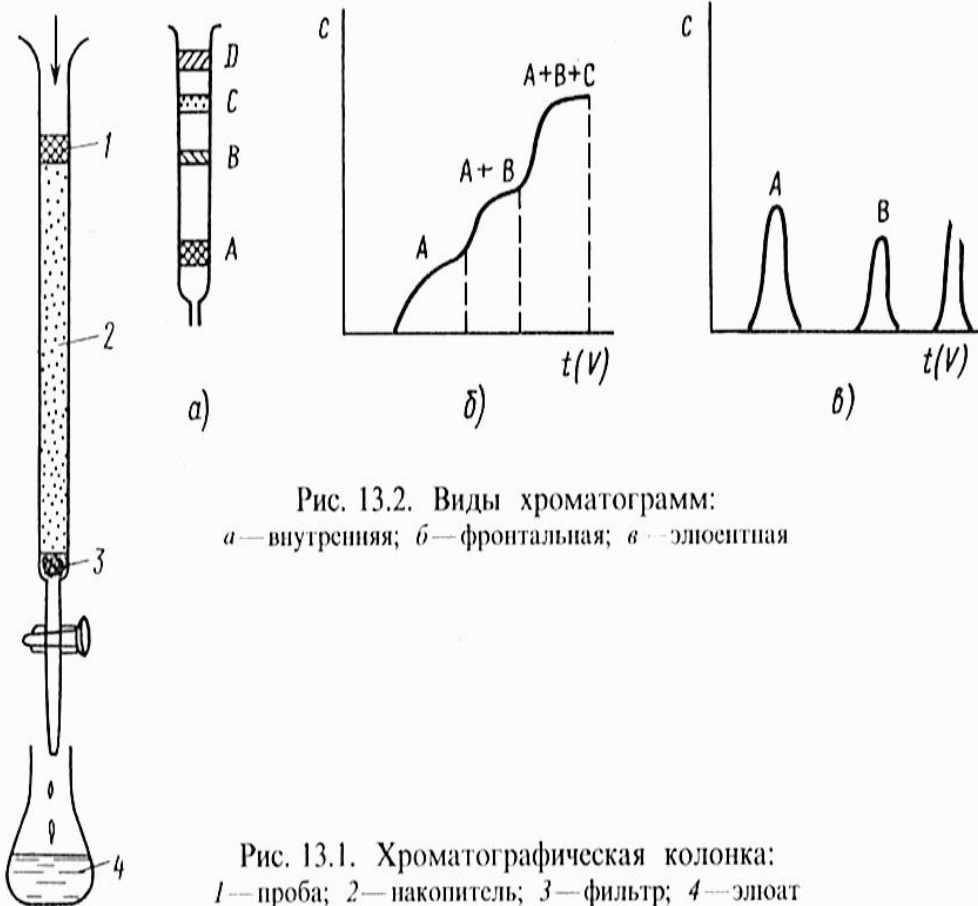
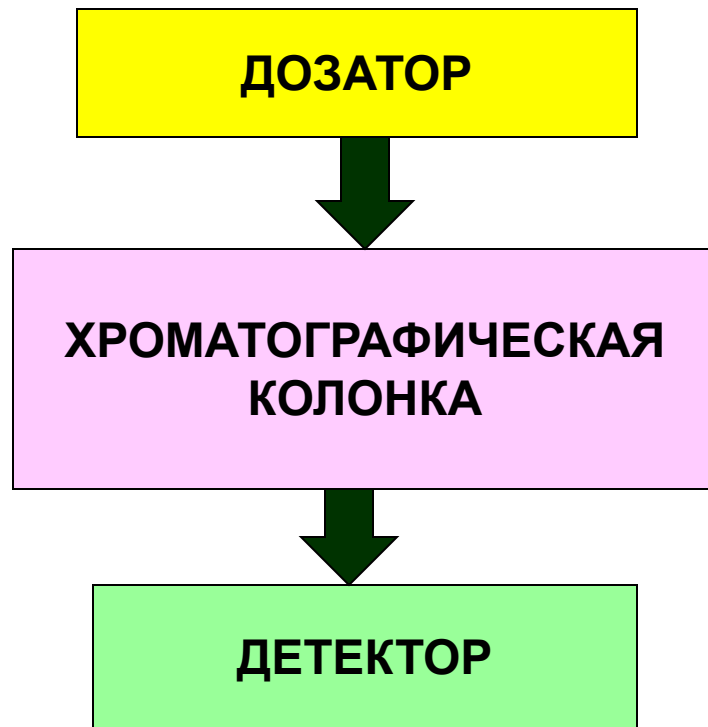


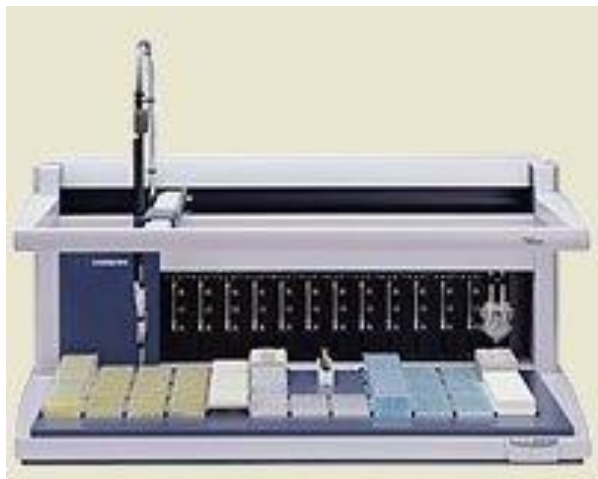
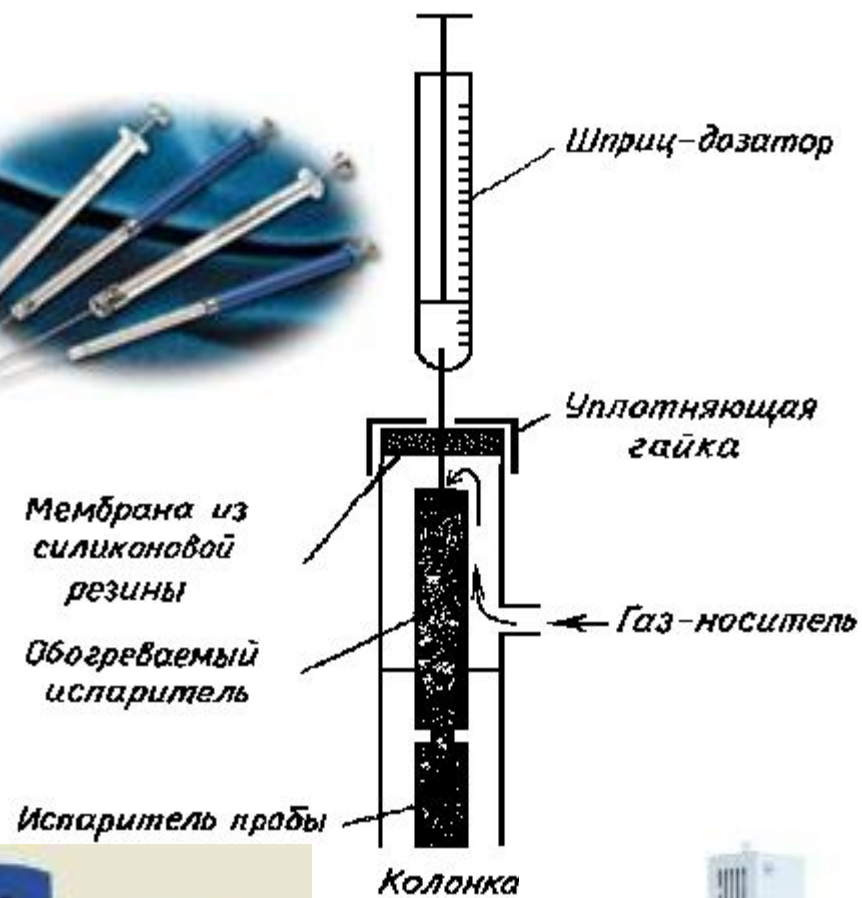
Рис. 13.2. Виды хроматограмм:  
а — внутренняя; б — фронтальная; в — элюентная

Рис. 13.1. Хроматографическая колонка:  
1 — проба; 2 — накопитель; 3 — фильтр; 4 — элюат

# Основные узлы хроматографа



# Дозаторы

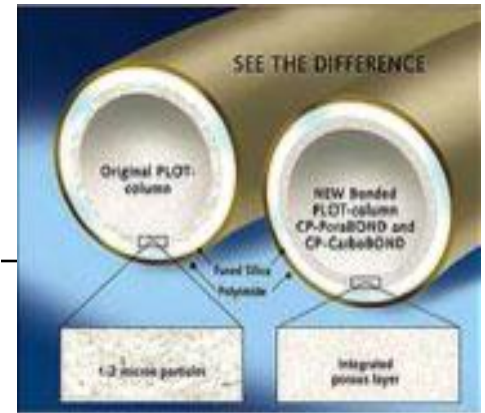
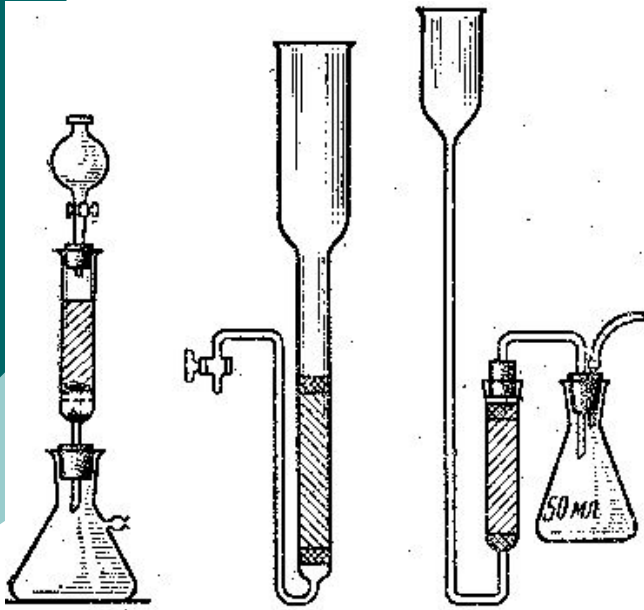


ХМА. I



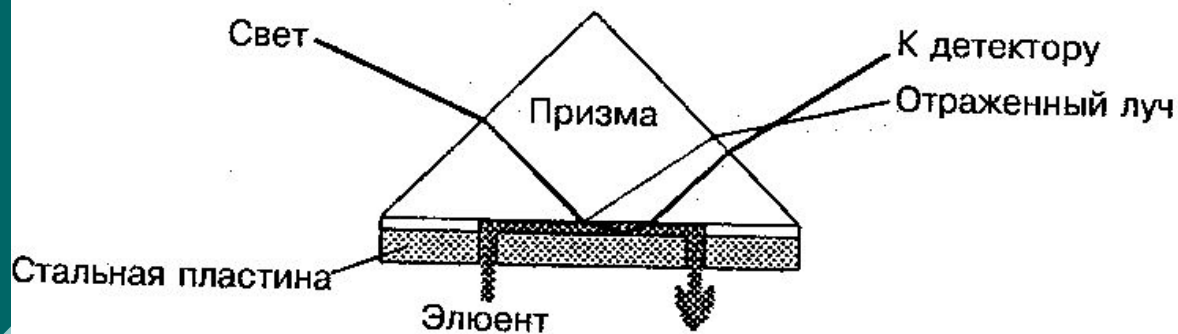


# Хроматографические колонки

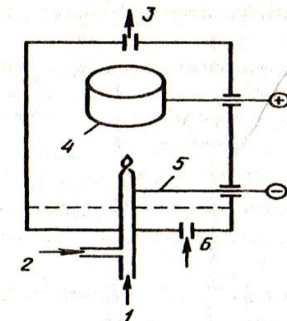
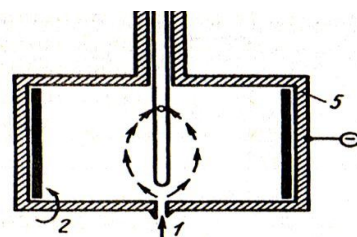
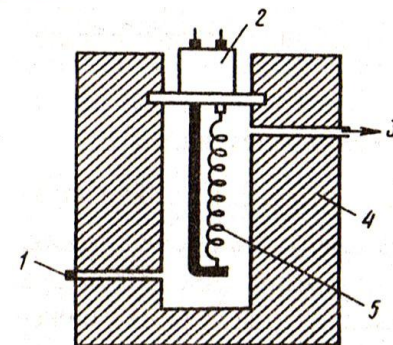
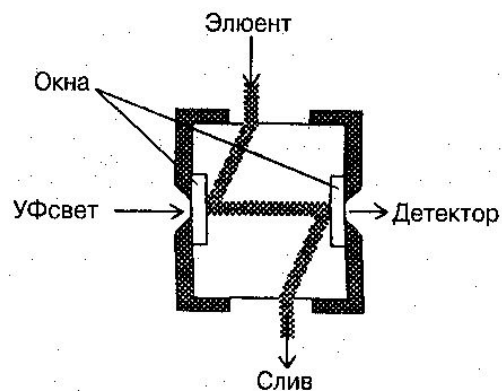
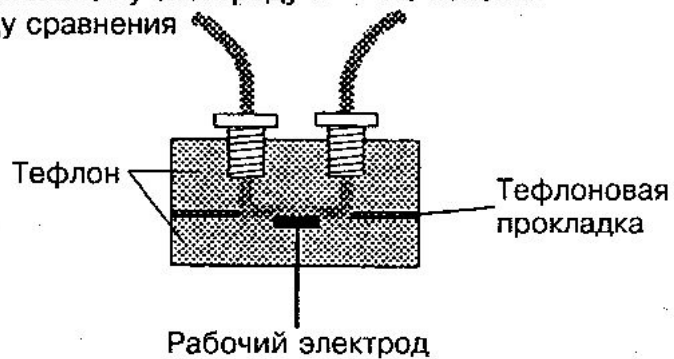




# Детекторы



К вспомогательному электроду и Из колонки к электроду сравнения



ФХМА. БХ. ЛК

# Газовая хроматография

## Газо-твердофазная

## Газо-жидкостная

НФ –  
твёрдый  
сорбент

НФ – жидкость,  
нанесенная на  
твёрдый  
сорбент

ПФ - газ

ПФ - газ

## Газотвердофазная хроматография

Особенность метода газотвердофазной (газоадсорбционной) хроматографии (ГАХ) в том, что в качестве неподвижной фазы применяют адсорбенты с высокой удельной поверхностью ( $10—1000 \text{ м}^2 \cdot \text{г}^{-1}$ ), и распределение веществ между неподвижной и подвижной фазами определяется процессом адсорбции. Адсорбция молекул из газовой фазы, т. е. концентрирование их на поверхности раздела твердой и газообразной фаз, происходит за счет межмолекулярных взаимодействий (дисперсионных, ориентационных, индукционных), имеющих электростатическую природу. Возможно образование водородной связи, причем вклад этого вида взаимодействия в удерживаемые объемы значительно уменьшается с ростом температуры. Комплексообразование для селективного разделения веществ в ГАХ используют редко.

В качестве адсорбентов для ГАХ в основном используют активные угли, силикагели, пористое стекло, оксид алюминия. Неоднородностью поверхности активных адсорбентов обусловлены основные недостатки метода ГАХ и невозможность определения сильно адсорбирующихся полярных молекул. Однако на геометрически и химически однородных макропористых адсорбентах можно проводить анализ смесей сильнополярных веществ. В последние годы выпускают адсорбенты с более или менее однородной поверхностью, такие, как пористые полимеры, макропористые силикагели (силохром, порасил, сферосил), пористые стекла, цеолиты.

## Газожидкостная хроматография

В аналитической практике чаще используют метод газожидкостной хроматографии (ГЖХ). Это связано с чрезвычайным разнообразием жидких неподвижных фаз, что облегчает выбор селективной для данного анализа фазы, с линейностью изотермы распределения в более широкой области концентраций, что позволяет работать с большими пробами, и с легкостью получения воспроизводимых по эффективности колонок.

Механизм распределения компонентов между носителем и неподвижной жидкой фазой основан на растворении их в жидкой фазе. Селективность зависит от двух факторов: упругости пара определяемого вещества и его коэффициента активности в жидкой фазе.

**Неподвижные жидкие фазы.** Для обеспечения селективности колонки важно правильно выбрать неподвижную жидкую фазу. Эта фаза должна быть хорошим растворителем для компонентов смеси (если растворимость мала, компоненты выходят из колонки очень быстро), нелетучей (чтобы не испарялась при рабочей температуре колонки), химически инертной, должна обладать небольшой вязкостью (иначе замедляется процесс диффузии) и при нанесении на носитель образовывать равномерную пленку, прочно с ним связанную. Разделительная способность неподвижной фазы для компонентов данной пробы должна быть максимальной.

Различают жидкие фазы трех типов: неполярные (насыщенные углеводороды и др.), умеренно полярные (сложные эфиры, нитрилы и др.) и полярные (полигликоли, гидроксилламины и др.).



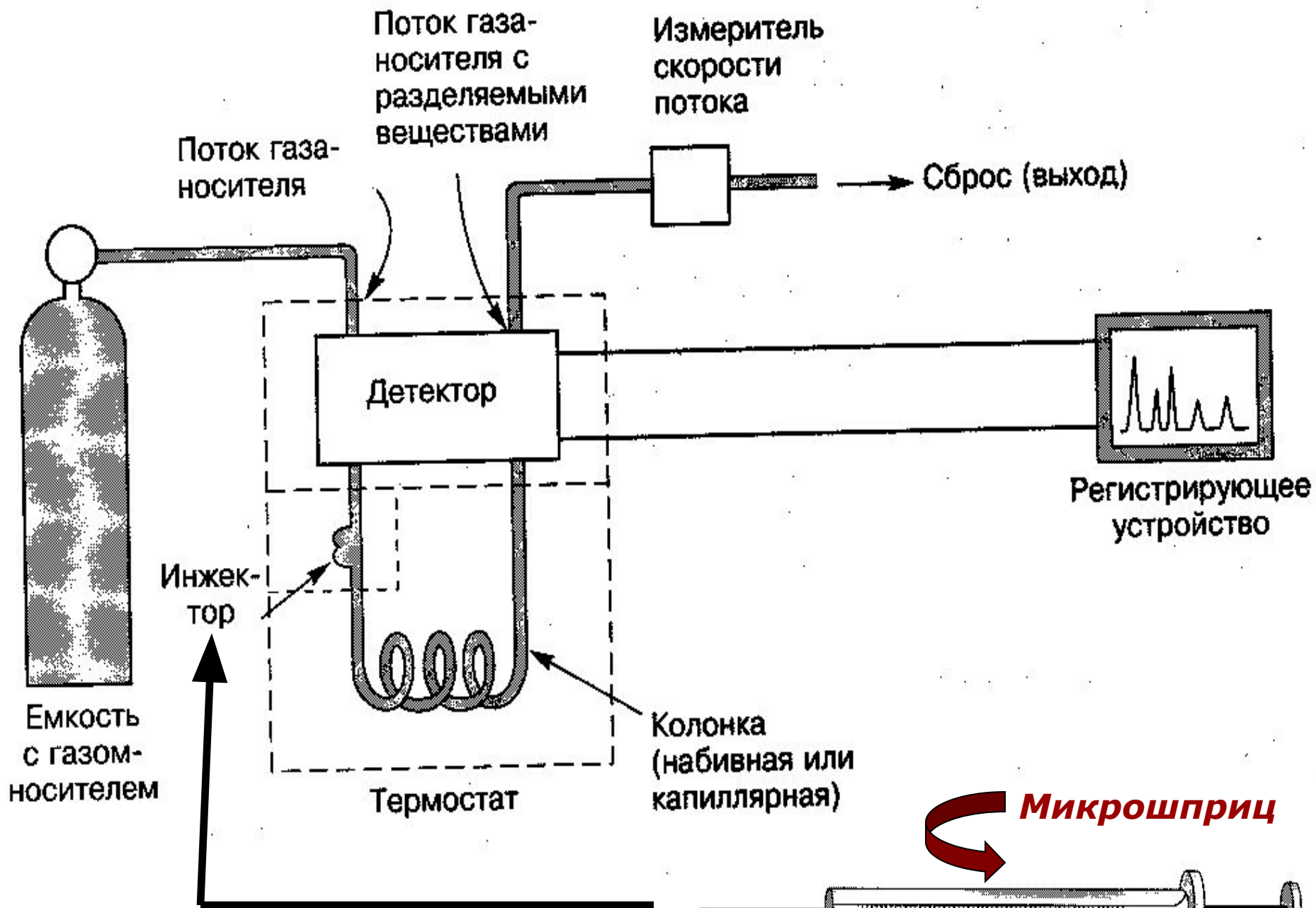
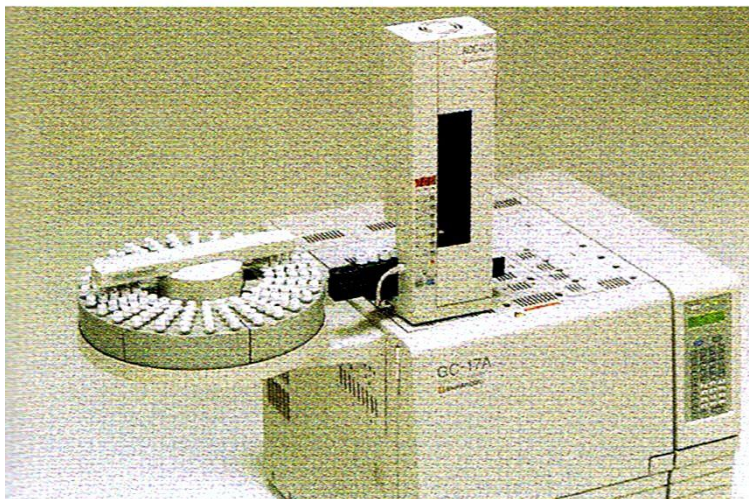
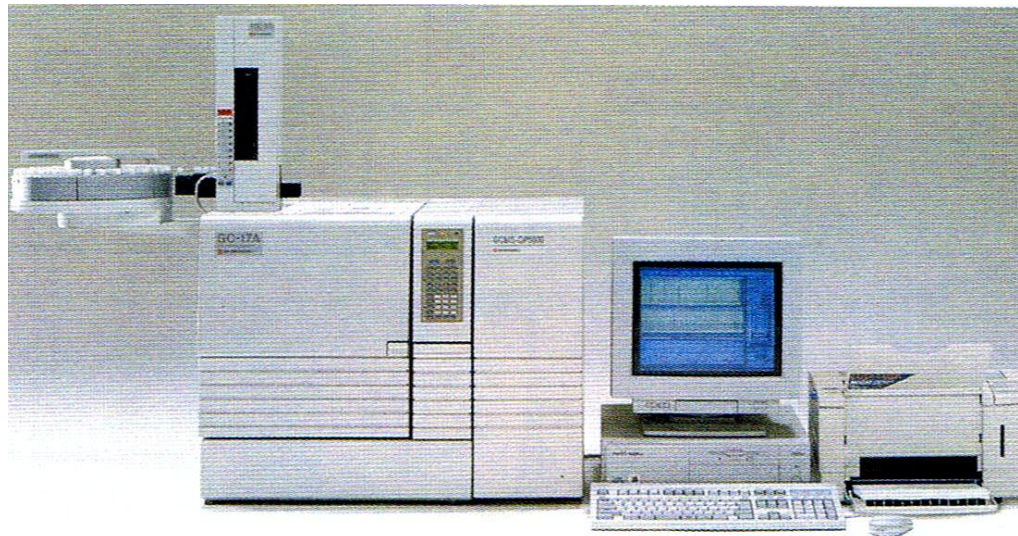
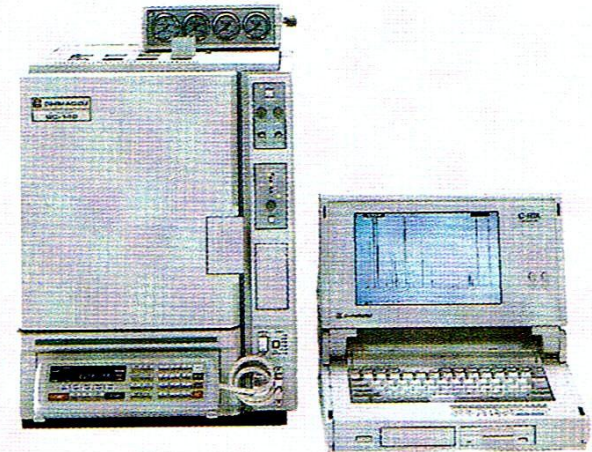


Схема газового хроматографа

# Современные газовые хроматографы для экологических анализов



ЛК. №2-4. П.  
Ф.



## *Какие соединения можно определять методом ГХ?*

**Вещества летучие, но устойчивые при 50-300<sup>0</sup> С. Это чаще всего:**

- ❖ Все газы.
- ❖ Большинство неионизированных органических молекул, твердых или жидких веществ, содержащих до 25 атомов С.
- ❖ Многие металлоорганические соединения, для которых можно получить летучие комплексы.
- ❖ Нелетучие или нестабильные соединений, если из них можно получить соответствующие производные.
- ❖ **ГХ не применима для солей и молекул нелетучих соединений.**



# Применение газовой хроматографии

---

- ❖ **При пробоотборе и пробоподготовке ООС.**
- ❖ **При определении в ООС следующих веществ:**
  - ❖ **Отравляющие вещества.**
  - ❖ **Твердые частицы.**
  - ❖ **Летучие органические соединения (ЛОС).**
  - ❖ **Нефтепродукты.**
  - ❖ **Металлоорганические соединения.**
  - ❖ **Пестициды.**
  - ❖ **Диоксины.**

# Жидкостная хроматография. Основы метода

## Классификация ЖХ:

### Колоночная:

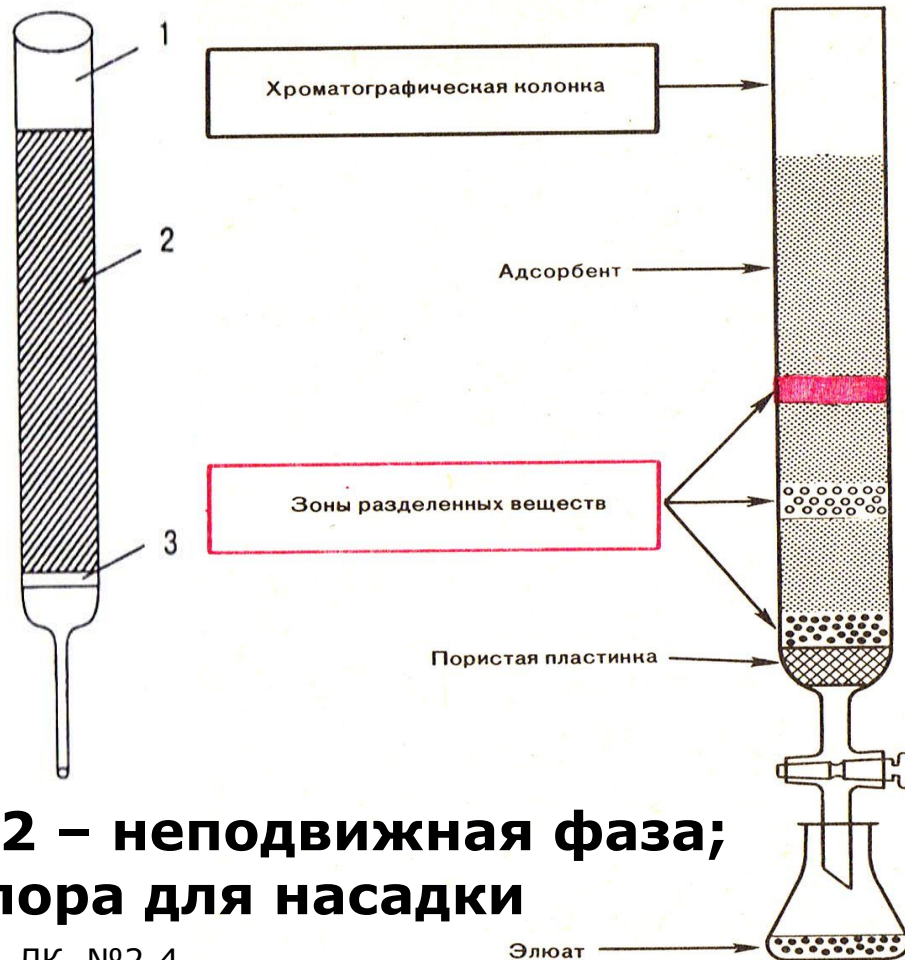
- Классическая;
- Высокоэффективная.

### Капиллярная:

- Классическая;
- Высокоэффективная.

### Плоскостная:

- Тонкослойная;
- Бумажная.



**1 – подвижная фаза; 2 – неподвижная фаза;  
3 – пористая опора для насадки**

ФХМА. БХ. ЛК. №2-4  
Ф.

Элюат

**Колоноч  
ая  
и  
капилляр  
ная  
ЖХ**

**Адсорбционна  
я**

**НФ –  
твердый  
сорбент**

**Распреде-  
лительная**

**НФ – пленка  
жидкости на  
сорбенте**

**Ионная и  
ионообменн  
ая**

**НФ – ионо-  
обменники**

**Осадочная**

**НФ – смесь  
реагента и  
сорбента**

**Эксклюзи-  
онная**

**НФ - гели**

# Адсорбционная ЖКХ

- Основана на избирательной адсорбции компонентов на твердом сорбенте (различной способности веществ ПФ сорбироваться на поверхности НФ).
- НФ должна удерживать разделяемые вещества, а ПФ – обеспечивать эффективное разделение за приемлемое время.
- НФ – адсорбенты разных типов, проявляющие неодинаковую селективность по отношению к разделяемым соединениям (полярные и неполярные).
- ПФ – жидкая.

# Неподвижная фаза – адсорбент

## Требования к адсорбенту:

- **Химическая инертность к компонентам разделяемой смеси.**
- **отсутствие каталитической активности к растворителю и разделяемым веществам.**
- **Селективность.**
- **Изодисперсность.**
- **Достаточная механическая прочность.**
- **Постоянство и стандартность свойств.**
- **Линейность изотермы адсорбции.**
- **Доступность.**

**Основные  
адсорбенты**

**Оксид  
алюминия**

**Активность  
зависит  
от влаго-  
содержания**

**Силикагели**

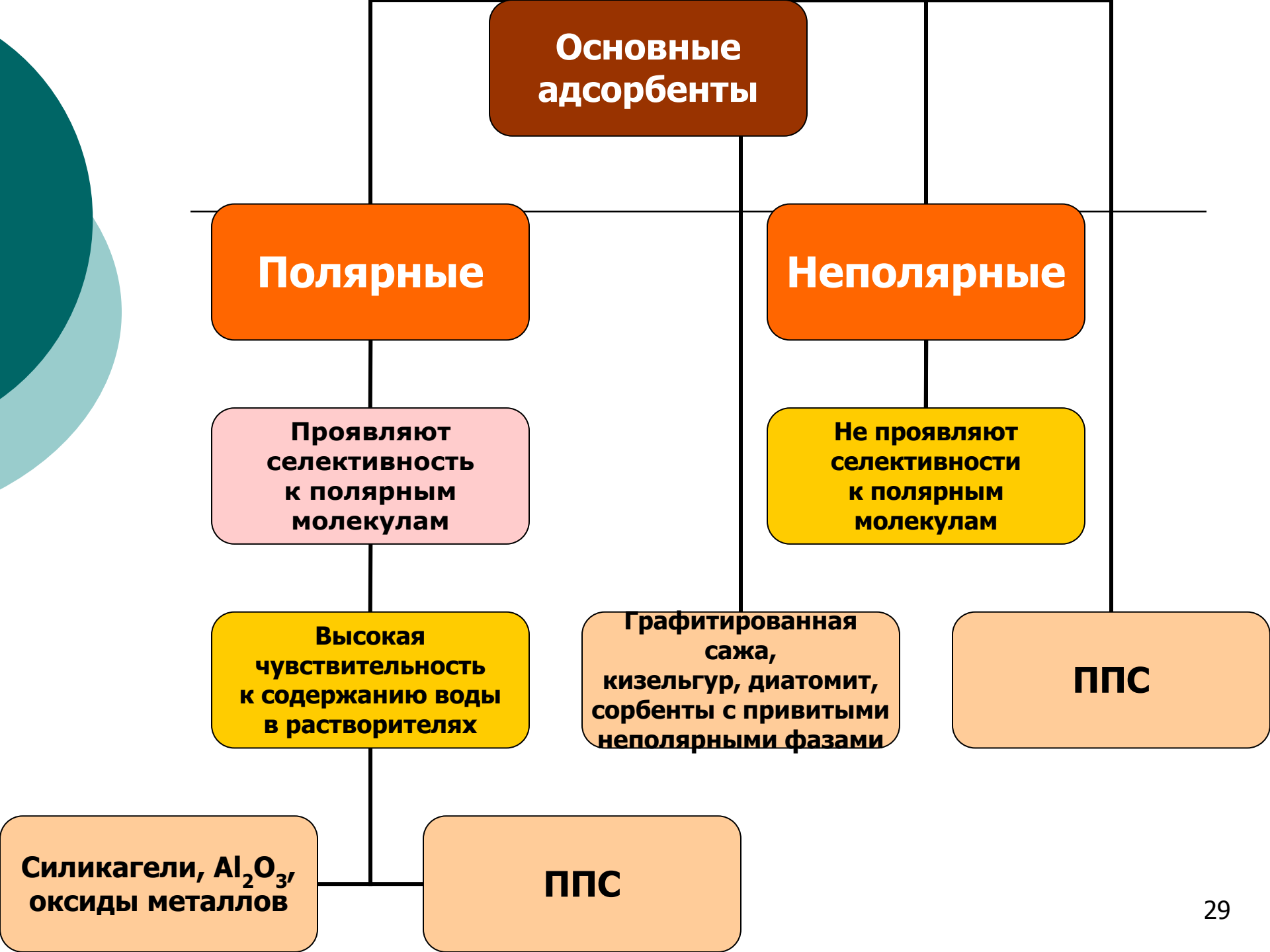
**Гель  
кремневой  
кислоты**

**Активные  
угли**

**Поры  
освобождены  
от смолистых  
веществ**

**Молекуляр  
ные  
ситы  
(цеолиты)**

**Поры близки к  
размерам  
молекул  
веществ**





# ПОДВИЖНАЯ ФАЗА - РАСТВОРИТЕЛИ

## Требования к ПФ (растворителям):

**Хорошо растворять все компоненты анализируемой смеси.**

**Обладать химической инертностью по отношению к растворенным веществам, адсорбенту и  $O_2$  воздуха.**

**Не содержать примесей.**

**Быть маловязким.**

**Не вызывать отклонений в работе детектора.**

**Из него должно быть возможно выделение разделенных компонентов.**

**Быть доступным.**

**Быть малотоксичным.**

## Подвижная фаза

- Для элюирования смеси обычно используют не индивидуальные растворители, а их смеси (гексан : метанол; вода : HCl : ацетон).
- Элюирующая способность растворителей при адсорбции на неорганических веществах оценивается по шкале Гильдебранда. Элюотропный ряд растворителей составлен по возрастанию энергии поляризации, а значит и элюирующей способности:
  - Для ЖКХ (на  $Al_2O_3$ ) это:  $C_6H_{12} < CCl_4 < C_6H_6 < CHCl_3 < (CH_3)_2CO \approx$  диоксан  $<$  ацетонитрил  $< C_2H_5OH < CH_3OH < H_2O \approx CH_3COOH$ .

# Распределительная ЖКХ

Основана на избирательном распределении компонентов между двумя несмешивающимися жидкими ПФ и НФ.

НФ – это тонкая пленка жидкости, нанесенная на инертный сорбент-носитель.

ПФ – жидкая. Это растворитель или смесь растворителей, не смешивающиеся с жидкой НФ.

Распределительная  
хроматография

Инертные  
носители

Неподвижная  
фаза

Подвижная  
фаза

Силикагель,  
крахмал,  
оксид алюминия

Полярные  
Жидкости  
(вода, спирт)

Малополярные  
жидкости  
(бензол, гексан,  
ацетон и др.)

# Применение адсорбционной и распределительной ЖКХ

---

*Определяемые вещества:*

- **Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ).**
- **Фенолы.**
- **Гетероциклические соединения.**
- **Карбонильные соединения.**
- **Гербициды и пестициды.**
- **Бенз(а)пирены.**

# Ионообменная хроматография

- **Основана на обратимом стехиометрическом обмене ионов, находящихся в растворе, на ионы, входящие в состав ионообменников-ионитов.**

## **Свойства ионитов:**

- **Содержат подвижные ионы, способные к обмену на ионы анализируемого раствора.**
- **Нерастворимы в воде и хроматографируемом растворе.**
- **Имеют ограниченную набухаемость.**
- **Обладают избирательной сорбцией к компонентам разделяемой смеси.**
- **Однородны с высокой степенью дисперсности и одинаковой величиной зерен.**
- **Устойчивы по отношению к той среде, в которой они используются.**
- **Обладают механической прочностью в условиях применения.**
- **Обладают максимально возможной поглотительной способностью (емкостью поглощения).**
- **Могут использоваться неоднократно, т.к. возможна их регенерация.**

ФХМА. БХ. ЛК. №2-4. Попова Л.

Ф.

Ионообмен-  
ные  
сорбенты  
(иониты)

Естествен-  
ные

Искусствен-  
ные

Неорга-  
нические

Органи-  
ческие

Неорга-  
нические

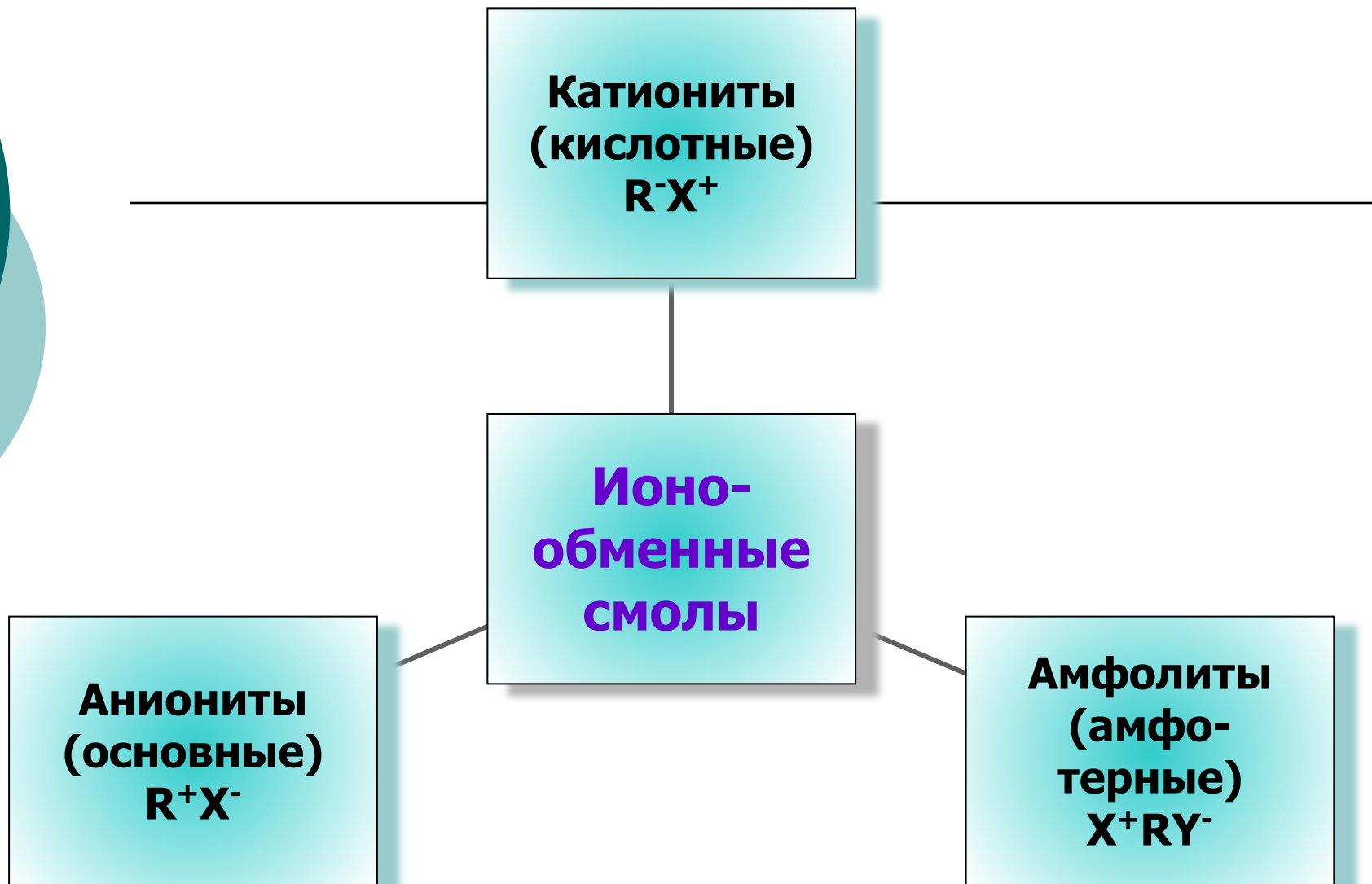
Органи-  
ческие

Алюмо-  
силикаты,  
 $\text{CaCO}_3$

Крахмал,  
целлюлоз  
а

Активиро-  
ванный  
 $\text{Al}_2\text{O}_3$

Ионо-  
обменные  
смолы





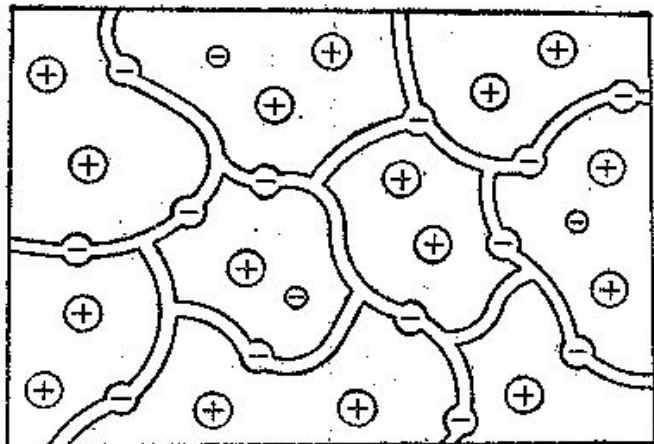
# Ионообменные смолы

Это искусственно полученные органические ВМС.

**Ионообменная способность их обусловлена активными группами (X), закрепленными на «каркасе» ВМС.**

**Каркас (R) – состоит из матрицы (M) и фиксированных групп (Ф).**

- **Матрица (M) – неправильная высоко полимерная пространственная сетка углеводородных цепочек. Она гидрофобна.**
- **Фиксированные группы (Ф) – группы атомов, прочно прикрепленные к матрице и несущие определенный заряд (+ или -). Они гидрофильны.**
- **Активные группы (X) – способные к обмену ионы, подвижно закрепленные на каркасе.**
- Введение в гидрофобную матрицу гидрофильных фиксированных групп делает ее (M) склонной к набуханию, а смола превращается в полиэлектролит.
- Зерно ионита – это гигантская молекула, чтобы ее растворить надо разорвать прочные С-С связи.
- Синтетические ионообменные смолы – это гели полиэлектролитов, способные к набуханию.






 - матрица с фиксированными ионами  
 - противоионы  
 - катионы

Рис. 20. Схематическое изображение структуры синтетической ионообменной смолы

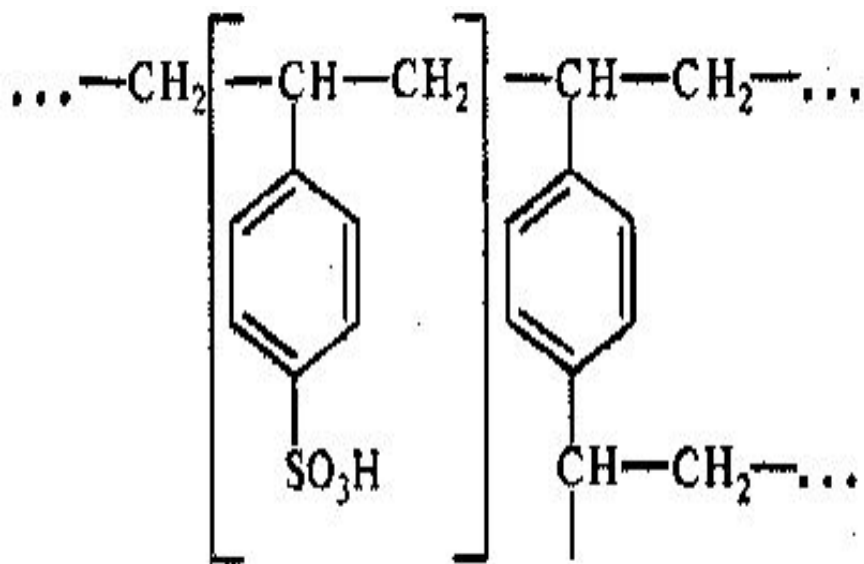
**Катиониты:**



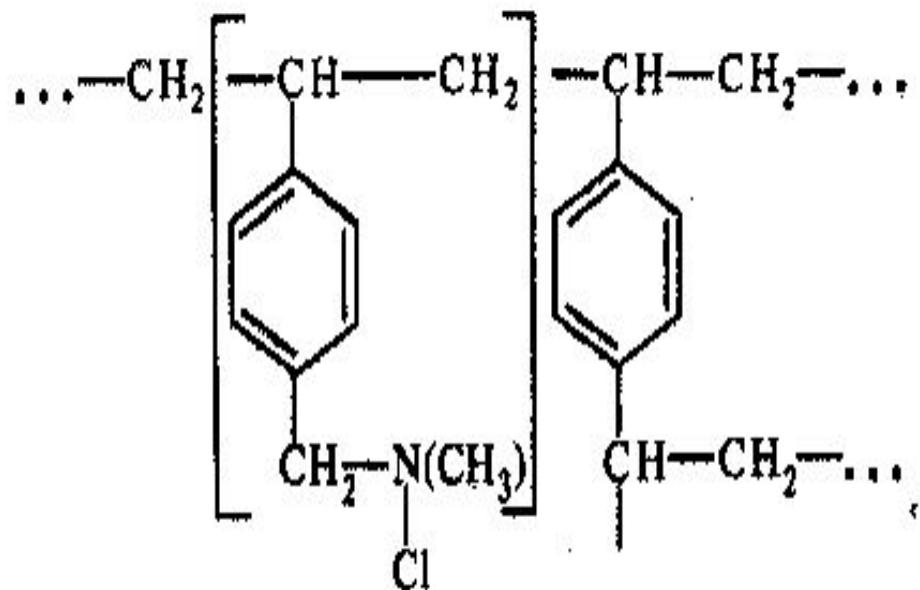
**Аниониты:**



**Амфолиты:**



КУ-2



АВ-17

## Подвижная и неподвижная фазы:

---

- **НФ** – ионообменные материалы, чаще всего это макросетчатые (в набухшем и ненабухшем состоянии) и микросетчатые (только в набухшем состоянии) органические ионообменники.
- **Перед работой требуют регенерации. Что это такое? Как провести?**
- **ПФ** – это различные растворители: вода, буферные растворы с определенным значением рН, растворы минеральных и органических кислот.

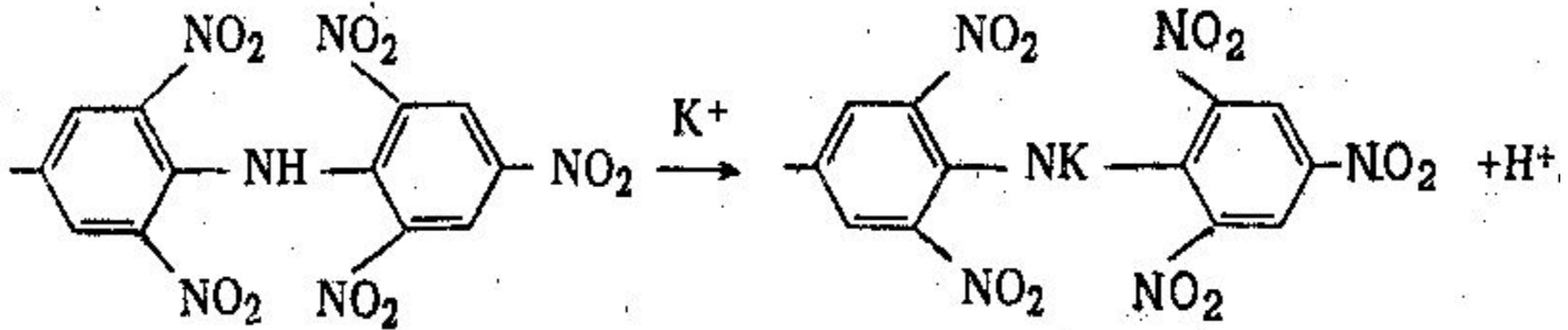
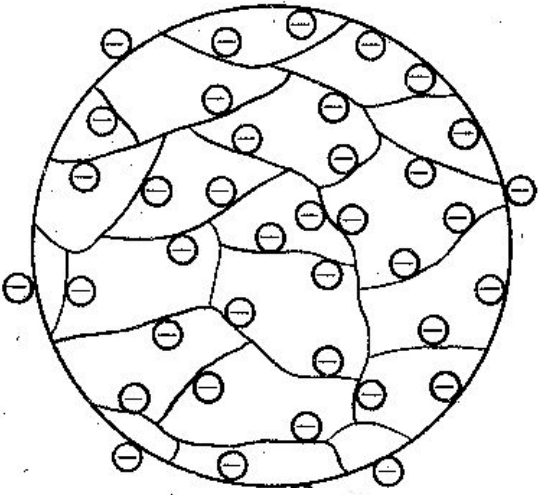
# Ионообменное равновесие

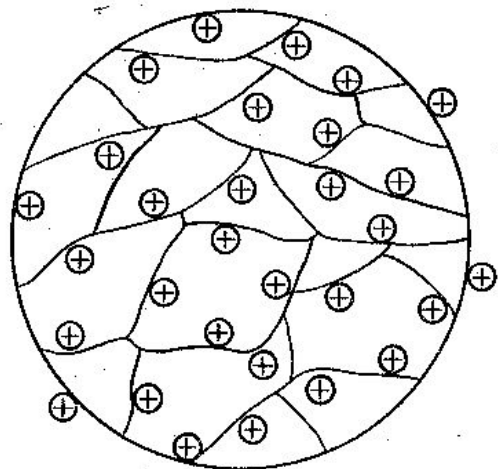
**Взаимодействие ионообменной смолы с раствором электролита включает несколько сложных процессов:**

- ❖ **Собственно ионный обмен.**
- ❖ **Физическая адсорбция ионов и молекул на смоле.**
- ❖ **Набухание смолы за счет поглощения растворителя и проникновения электролита внутрь смолы.**

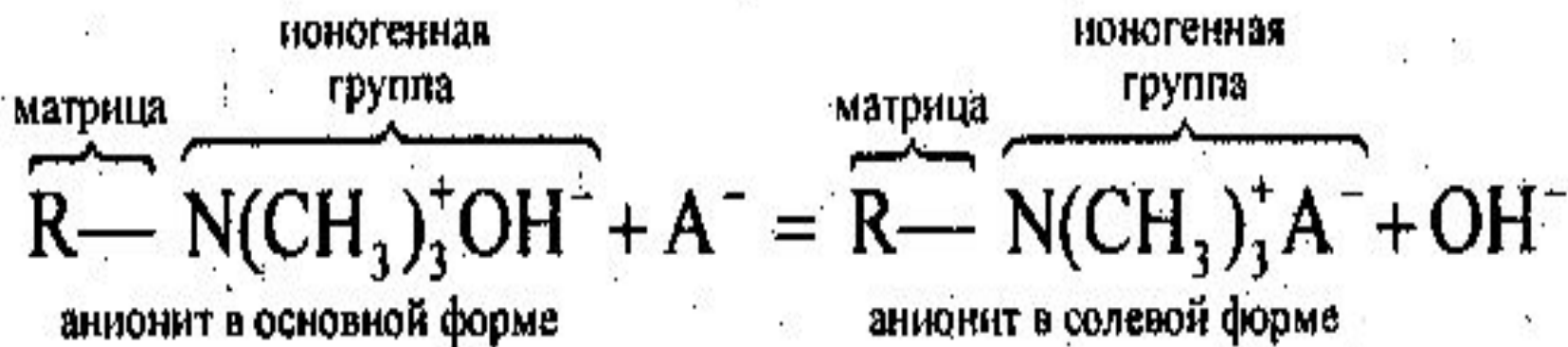
**Процесс собственно ионного обмена протекает стехиометрически:**

# Катионообменный цикл:





## Анионообменный цикл:

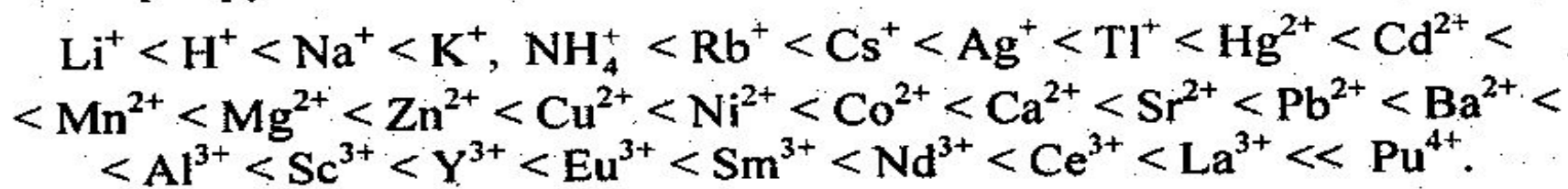




## Селективность ионного обмена

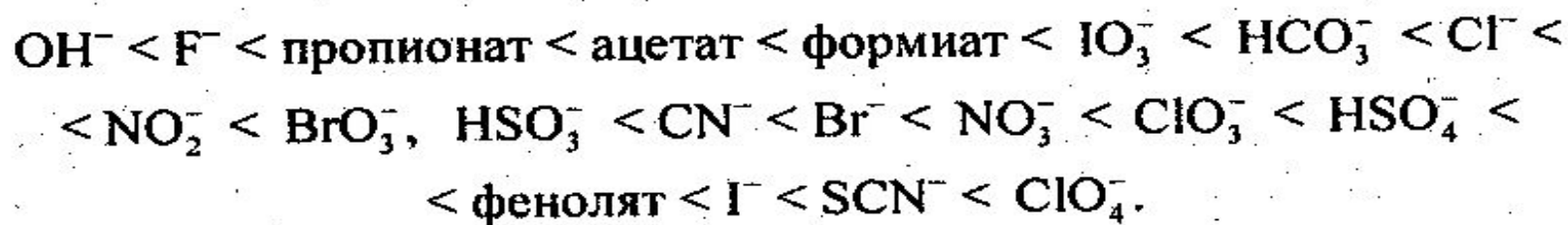
Установлены ряды сорбируемости ионов на ионообменниках.

Для катионитов в основном характерна следующая последовательность сорбируемости катионов:



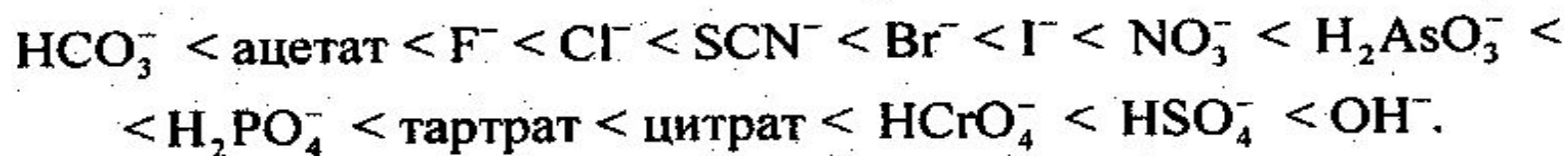
Наименьшим сродством к катиониту обладают катионы лития и водорода, наибольшим — катионы плутония.

Для сильноосновных анионитов последовательность сорбируемости анионов можно представить рядом:



Наибольшим сродством к анионитам обладают иодид-, тиоцианат-, перхлорат-ионы, наименьшим — гидроксильные группы и фторид-ионы.

Для слабоосновных анионитов ряд сорбируемости анионов имеет иную последовательность:







# Осадочная хроматография

**Основана на различной растворимости малорастворимых соединений.**

**В отличие от дробного осаждения здесь происходит многократное повторение процессов образования и растворения осадка.**

**Основные факторы осадочно-хроматографического разделения:**

- **Процесс образования осадка.**
- **Процесс закрепления (фиксации) осадка в месте выпадения.**
- **Процесс образования осадков** – причина формирования осадочной хроматограммы, он обуславливает разделение веществ в порядке увеличения растворимости выделяющихся осадков. Растворимость осадка – основной закон осадочной хроматографии.
- **Процесс закрепления осадка в месте их образования** обеспечивает возможность протекания и многократного повторения первого процесса. При отсутствии закрепления осадков формирования хроматограммы не произойдет.
- **Расположение осадков в колонке сверху вниз определяется отношением произведений растворимости (растворимостей)**

ФХМА. БХ. ЛК. №2-4. Попова Л.

# Осадочная ЖКХ

Образование осадков в жидкой фазе

Образуются на колонках, содержащих только одно вещество (носитель)

НФ – реагент-осадитель

Хроматограмма, полученная на диметилглиоксиде

Осадочная хроматография на ионообменных смолах

Образование осадков при взаимодействии жидкой и твердой фаз

Образуются на колонках, содержащих два вещества

НФ – сорбент + реагент-осадитель

Хроматограмма, полученная на смеси силикагель+KI

# Носители, НФ и ПФ

- **Носитель в осадочной хроматографии** – малорастворимое вещество с высокоразвитой поверхностью, обладающее определенным сродством к применяемому осадителю или осадку, химически индифферентное к компонентам хроматографируемого раствора (сорбенты). Исключение: когда носитель выполняет роль осадителя (диметилглиоксим).
- **НФ в осадочной хроматографии:**
  - ◆ **Инертный носитель + реагент-осадитель (сухая их смесь; или сорбент, пропитанный раствором реагента-осадителя).**
  - ◆ **Носитель, выполняющий роль осадителя (диметилглиоксим).**
- **ПФ в осадочной хроматографии:**
  - ◆ **Вода.**
  - ◆ **Другие растворители или их смеси.**

Раствор, содержащий  
смесь  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{I}^-$

Хроматогра-  
фическая  
колонка

с сорбентом  
 $\text{Al}_2\text{O}_3$  (или  $\text{SiO}_2$ )  
+ 10%  $\text{AgNO}_3$



← Желтый  $\text{AgI}$   
← Кремовый  $\text{AgBr}$   
← Белый  $\text{AgCl}$   
← Стекло-  
нная вата

ЭЛЮАТ

Рис. 10.7. Схема разделения ионов  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$  и  $\text{I}^-$  в хроматографической колонке методом осадочной хроматографии

**Плоскостная  
хроматография**

**Тонкослойная**

*Подложка:*  
стекло, Al, полимерные

*Сорбент:*  
силикагель,  $Al_2O_3$ ,

**С незакрепленным слоем**

**Сухой сорбент насыпается  
на подложку**

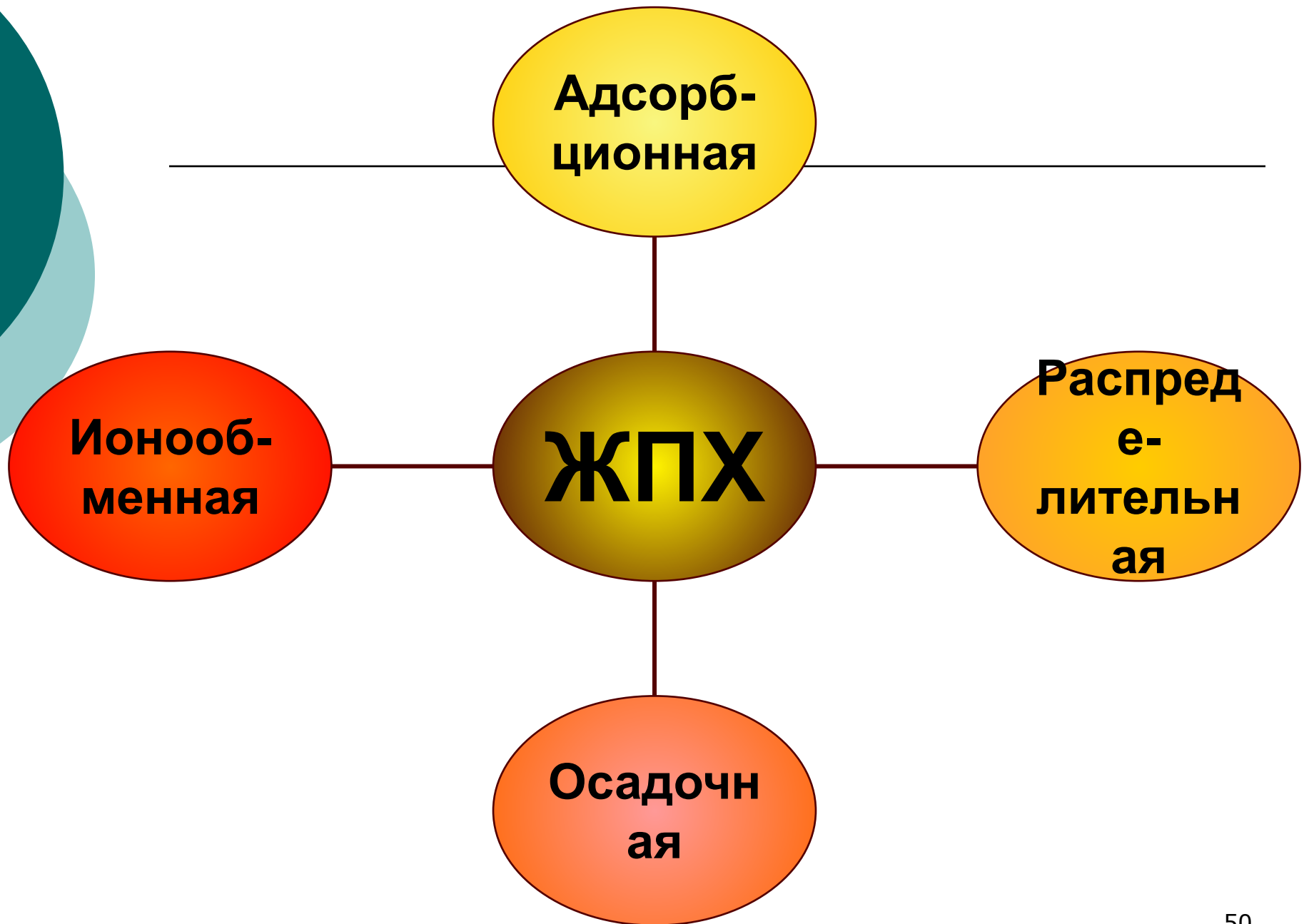
**С закрепленным слоем**

**Сорбент смешивается с  
закрепителем и  $H_2O$ , заливается  
на подложку и высушивается**

**Бумажная**

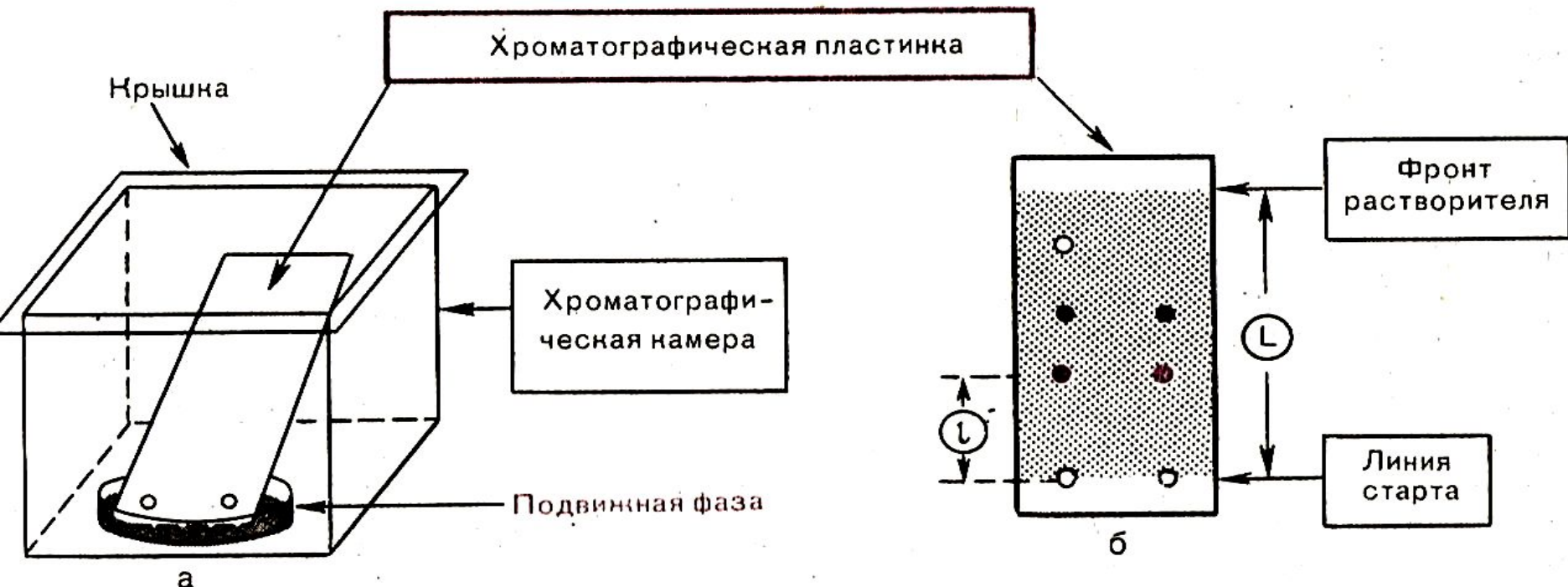
*Подложка:*  
Хроматографическая бумага

*Сорбент:*  
Целлюлозное волокно



# I Плоскостная хроматография

- Хроматографическое разделение в плоскостных видах хроматографии, как и в колонке, обусловлено переносом компонентов ПФ вдоль слоя НФ с разными скоростями в соответствии с коэффициентами распределения разделяемых компонентов. Разделяемые компоненты на пластинке или на полосе бумаги образуют отдельные зоны (пятна), положение которых на хроматограмме характеризуется подвижностью –  $R_f = l/L$ .



# Тонкослойная хроматография

ТСХ разработана Измайловым Н.А.  
и Шрайбером М.С. в 1938 г.



## Техника получения ТСХ:

- Нанесение пробы.
- Хроматографирование.
- Расшифровка хроматограммы.

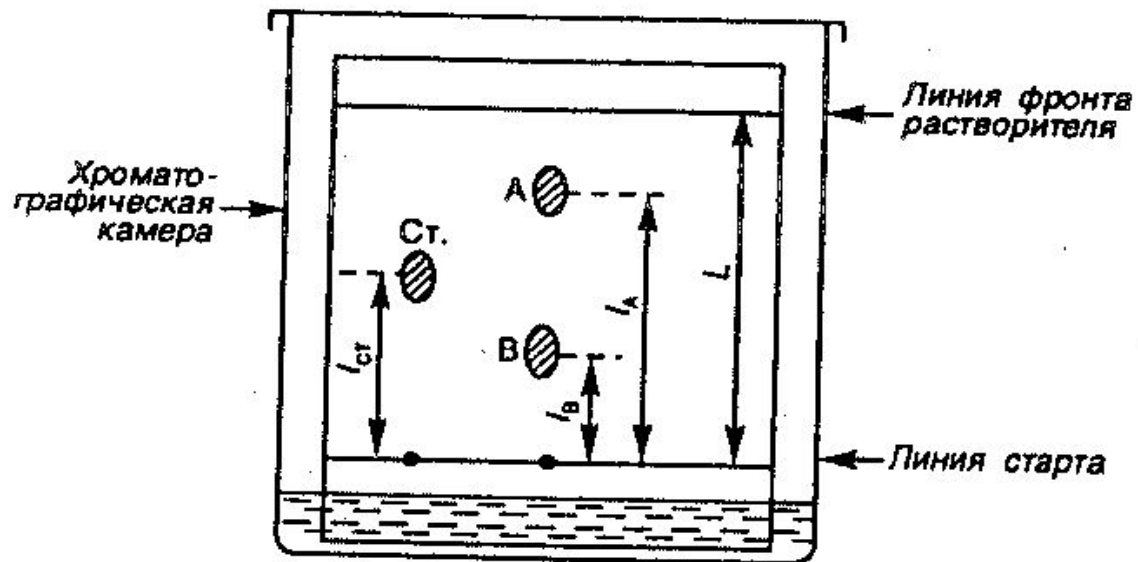
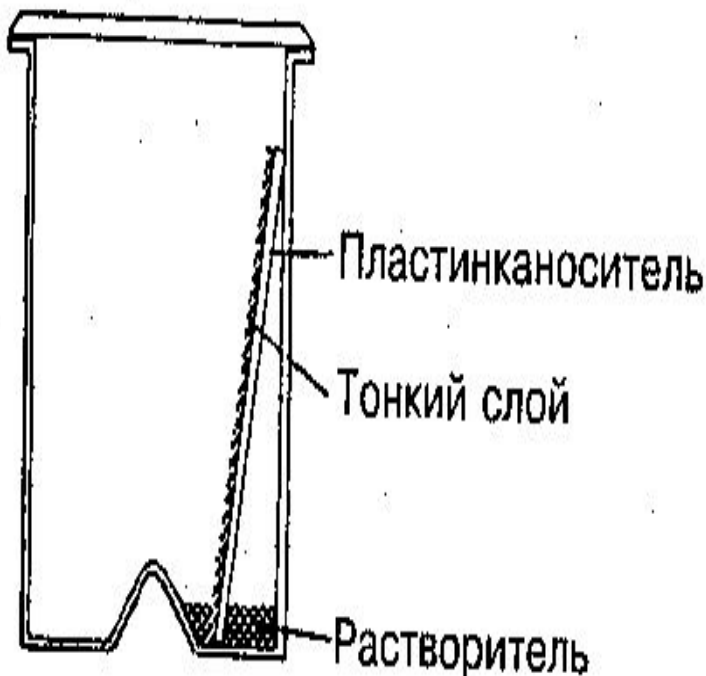
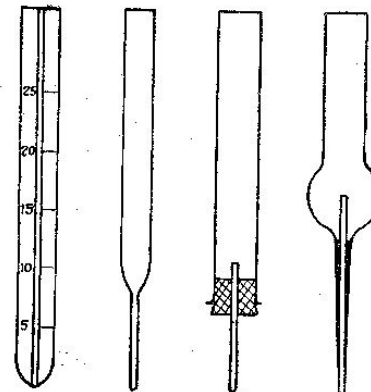


Рис. 10.4. Схема разделения компонентов А и В методом ТСХ



# Особенности БХ

## Хроматографическая бумага:

**Химически чистая.**

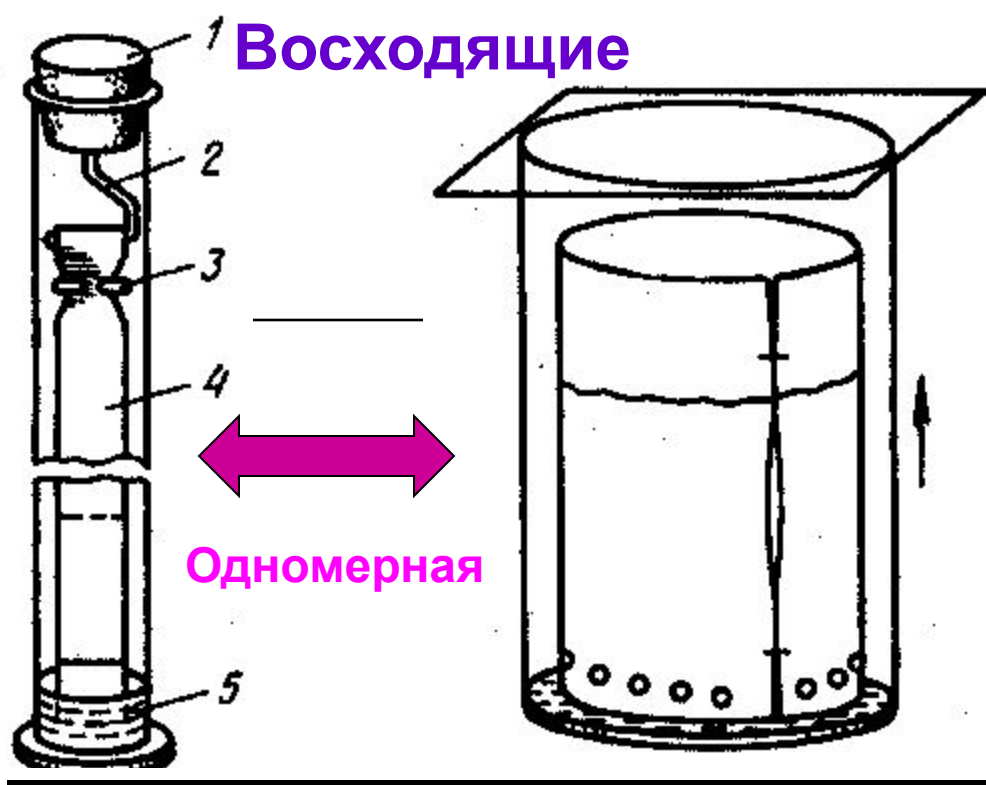
---

**Однородная по плотности.**

**Нейтральная.**

- **Инертная к ПФ и компонентам анализируемой смеси.**
- **Если НЖФ – вода, дополнительного увлажнения бумаги не требуется.**
- **Если НЖФ – органические вещества, гидрофильную бумагу предварительно превращают в гидрофобную (пропитывают парафином или растительным маслом).**
- ◆ **При разделении водорастворимых веществ: ПФ – органический растворитель, НФ – вода;**
- ◆ **При разделении веществ, растворимых в органических растворителях: ПФ – вода, НФ – органический растворитель.**





**Одномерная**

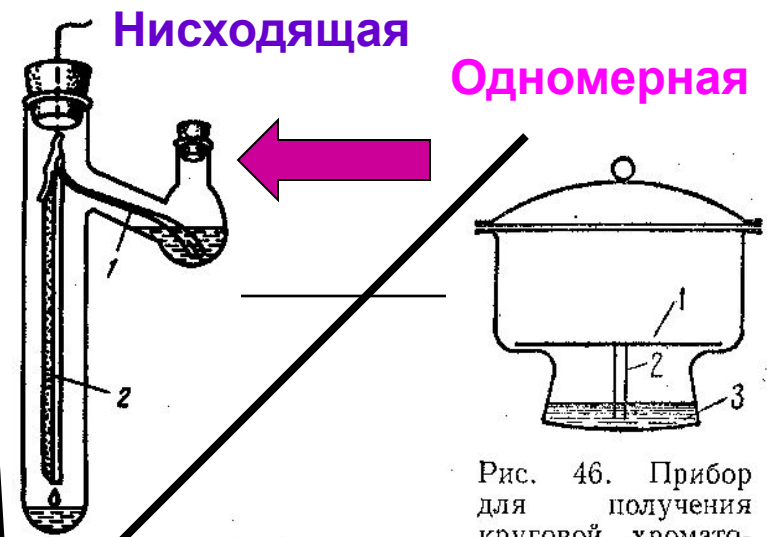


Рис. 46. Прибор для получения круговой хроматограммы:  
1 — бумажный фильтр;  
2 — фитиль; 3 — растворитель

**Двухмерная**

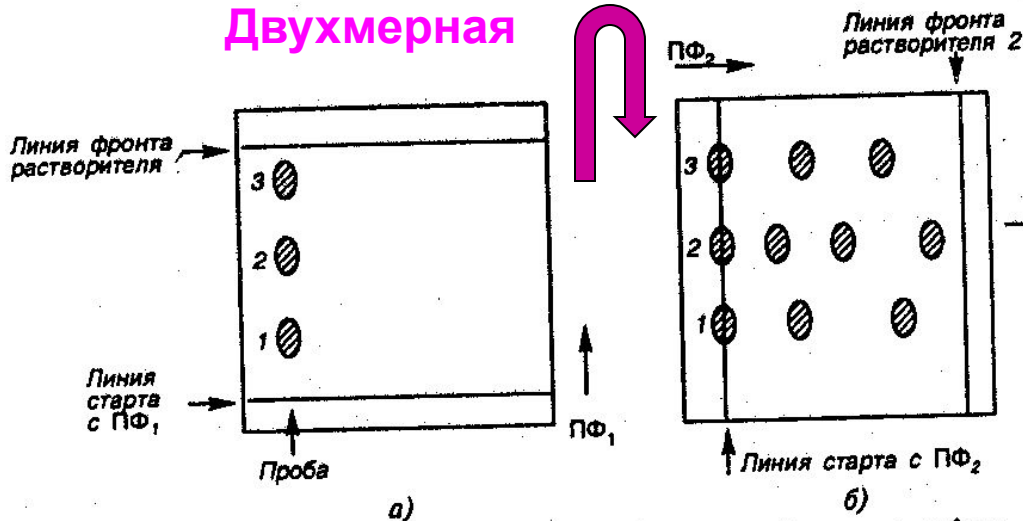
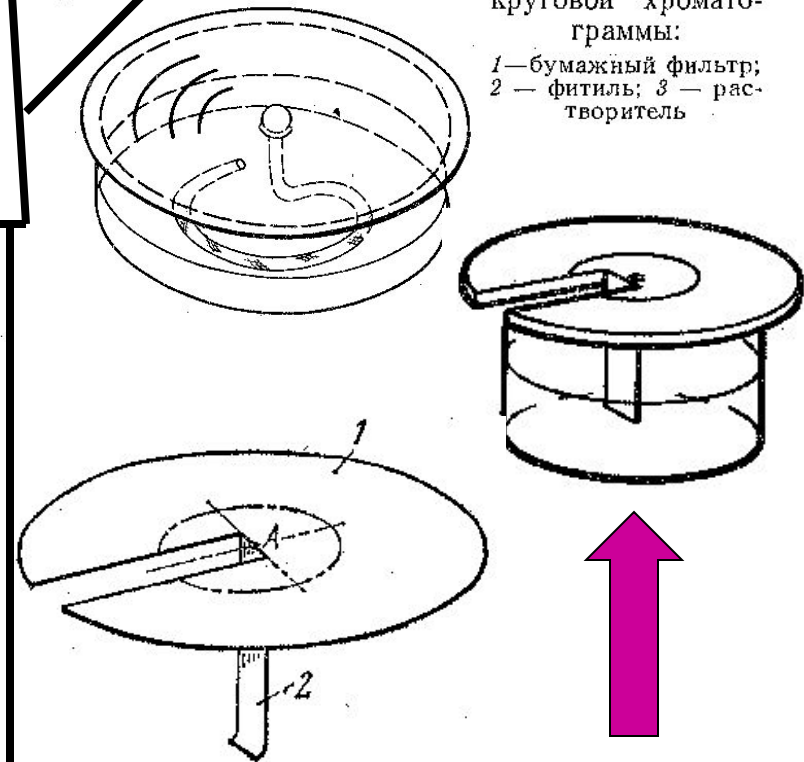


Рис. 10.6. Схема, иллюстрирующая принцип двухмерной хроматографии:  
а — хроматограмма, полученная с ПФ<sub>1</sub>; б — хроматограмма, полученная с ПФ<sub>2</sub>



**Радиальная (круговая)**

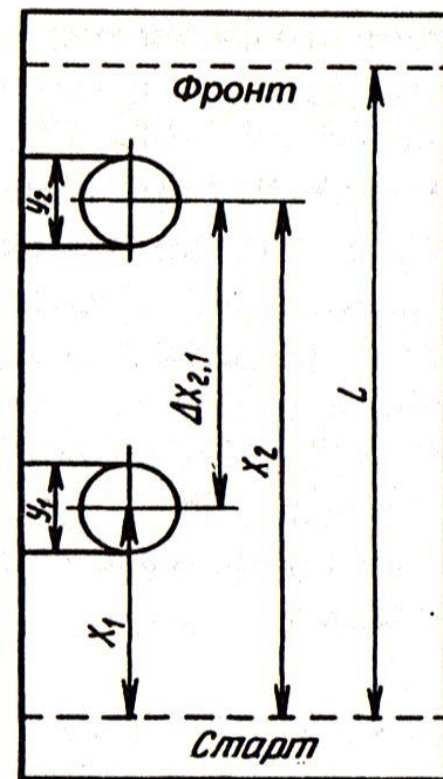
# Расшифровка плоскостных хроматограмм

Расшифровка хроматограмм бывает:

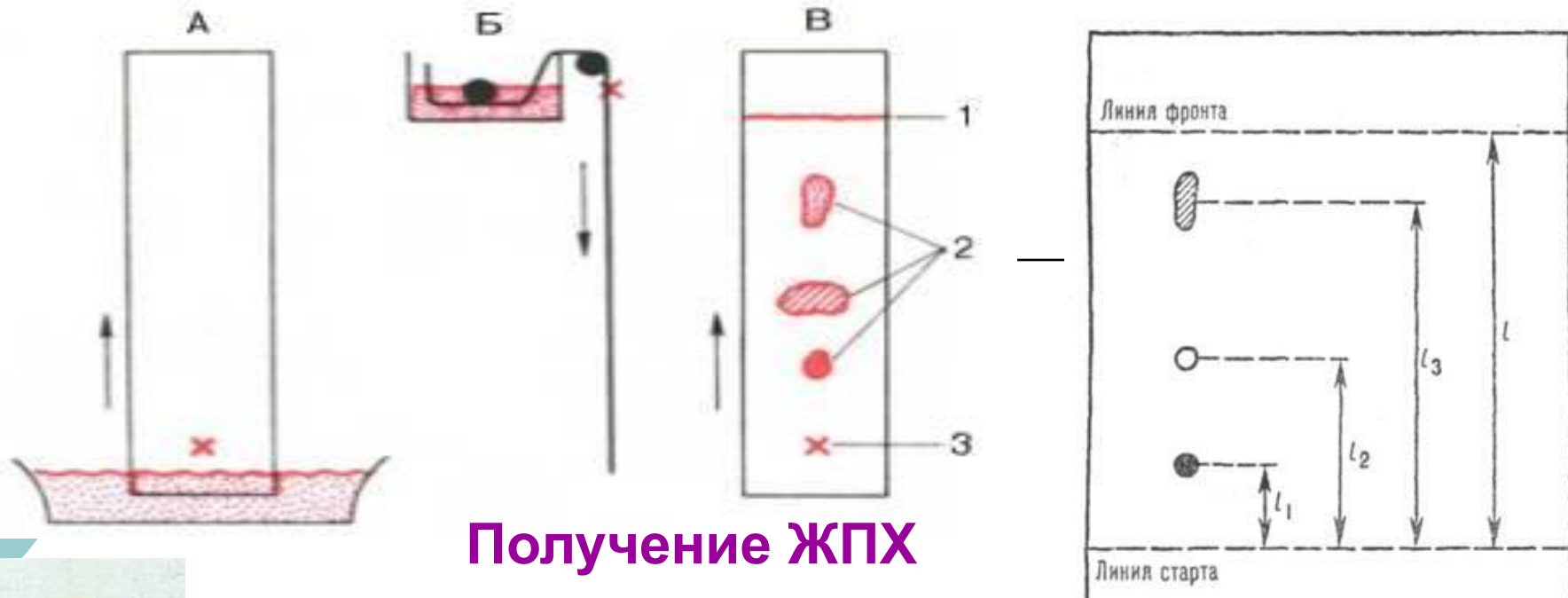
- Без проявления.
- С проявлением.

Способы проявления хроматограмм бывают:

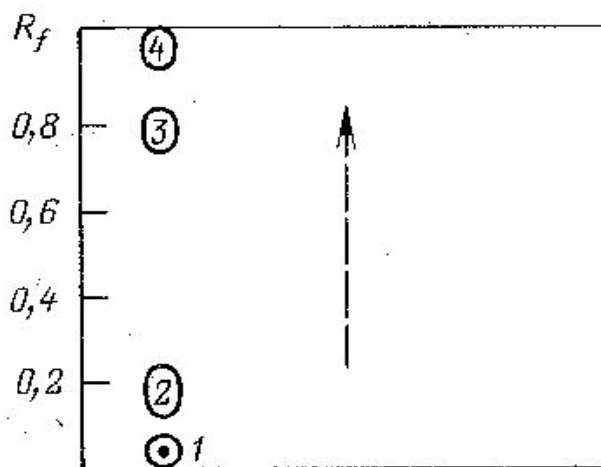
- **Визуальные.**
- **Физические\*:**
- Облучение УФ-светом;
- Термическая обработка или прожигание.
- **Химические\*\*:**
- Опрыскивание хроматограммы из пульверизатора реагентом-проявителем;
- Погружение хроматограммы в раствор реагента-проявителя.
- **Комбинированные.**



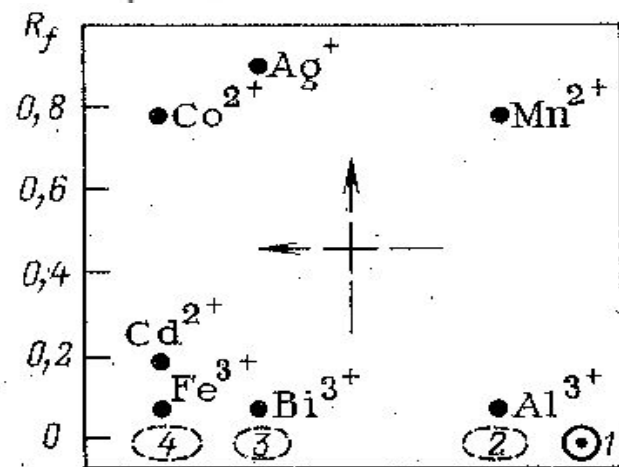
$$R_f = \frac{x_1}{L} \leq 1,00$$



## Получение ЖПХ



Бутиловый спирт с  $\text{HCNS}$   
а



Пиридин  
б

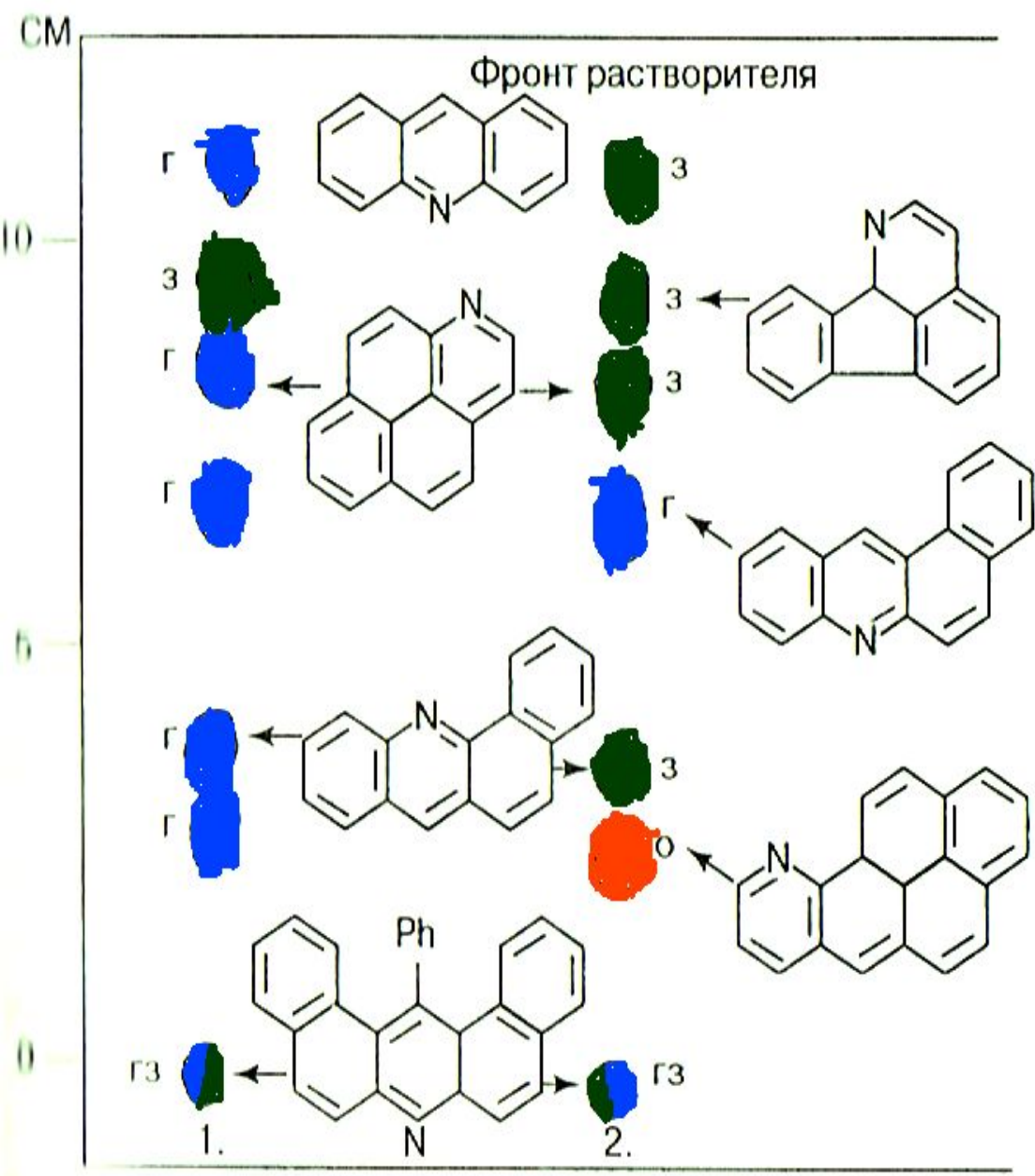
Рис. III.1.8. Одномерная (а) и двумерная (б) хроматограммы:

1—место нанесения пробы; 2—пятно катионов  $\text{Mn}^{2+}$  и  $\text{Al}^{3+}$ ; 3—пятно катионов  $\text{Bi}^{3+}$  и  $\text{Ag}^{+}$ ; 4—пятно катионов  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ . Стрелками показано направление движения растворителя

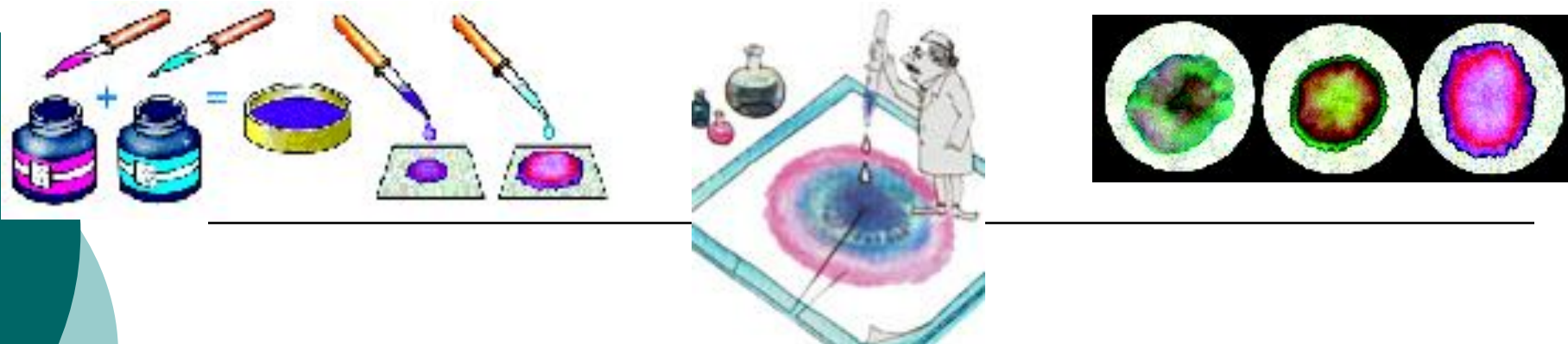


# Получение и применение ЖПХ

**азаарены** –  
полициклические  
ароматические  
азотсодержащие  
органические  
соединения







## Получение и применение осадочной ЖПХ

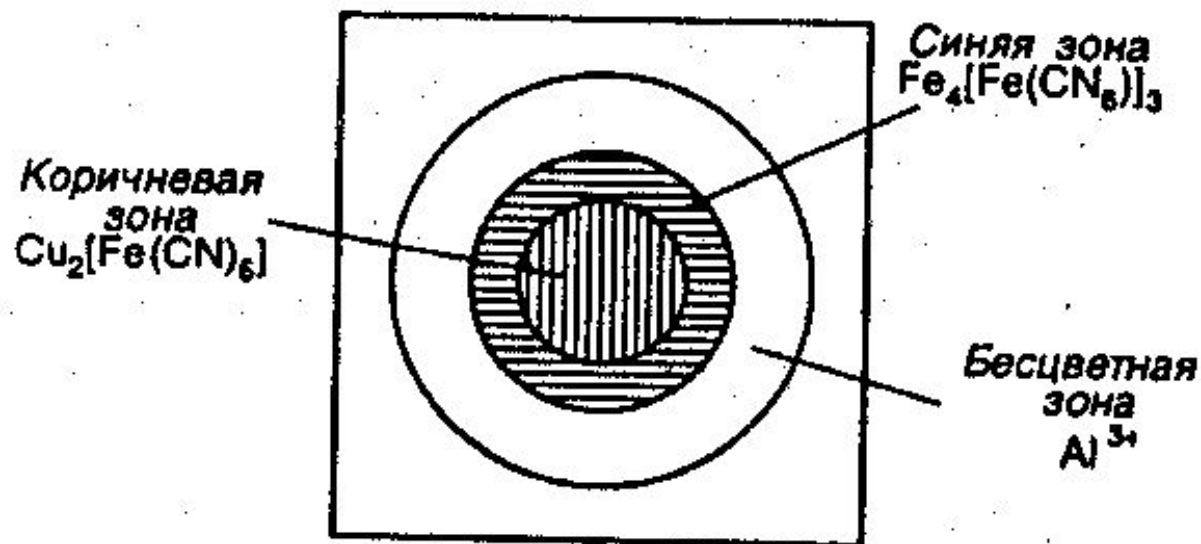


Рис. 10.8. Схема разделения  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  и  $\text{Al}^{3+}$  методом осадочной хроматографии



# Применение ЖПХ

---

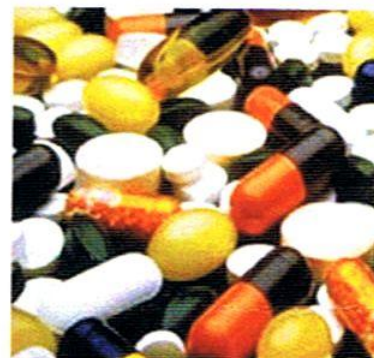
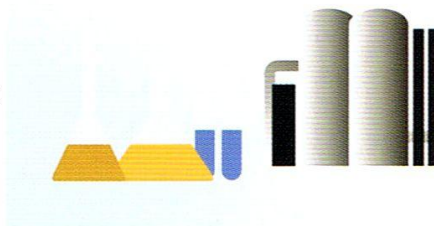
## **Определяемые вещества:**

- **Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) и их производные (ПАС).**
- **Полихлорированные бифенилы (ПХБ).**
- **Фенолы.**
- **Нефтепродукты.**
- **Катионы металлов.**
- **Гербициды, пестициды, фунгициды.**

# Области применения

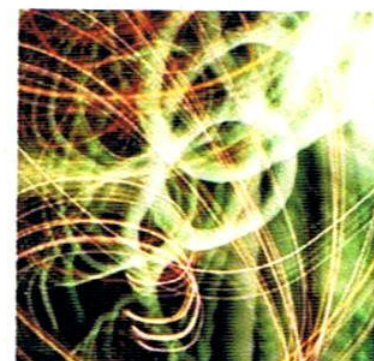
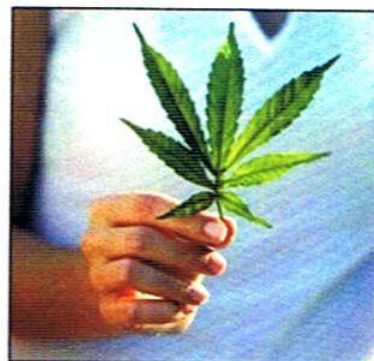
## Нефть / Химия / Макро-молекулы

Бензин  
Нефть  
Катализаторы  
Химические продукты



## Медицина / Биология / Пищевые продукты

Биологические ткани и жидкости  
Растения  
Медикаменты  
Пищевые продукты



## Окружающая среда

Питьевая вода  
Морская вода  
Речная вода  
Сточные воды  
Почва  
Осадки  
Атмосферная пыль

