



Химические основы биологических процессов

Методы выделения и очистки белков (ферментов)

Тишков Владимир Иванович

zamdekana07@gmail.com

к. 210 кафедры химической энзимологии

Москва - Баку - 2025



Основные характеристики белковой молекулы

- **Молекулярный масса (вес)**
- **Изоэлектрическая точка**
(значение pH, при котором общий заряд молекулы равен нулю)
- **Аминокислотная последовательность**
(первичная структура)
- **Трехмерная структура**
 - третичная структура (одна субъединица)
 - четвертичная структура (олигомерный состав)



Часто используемые виды биоматериала

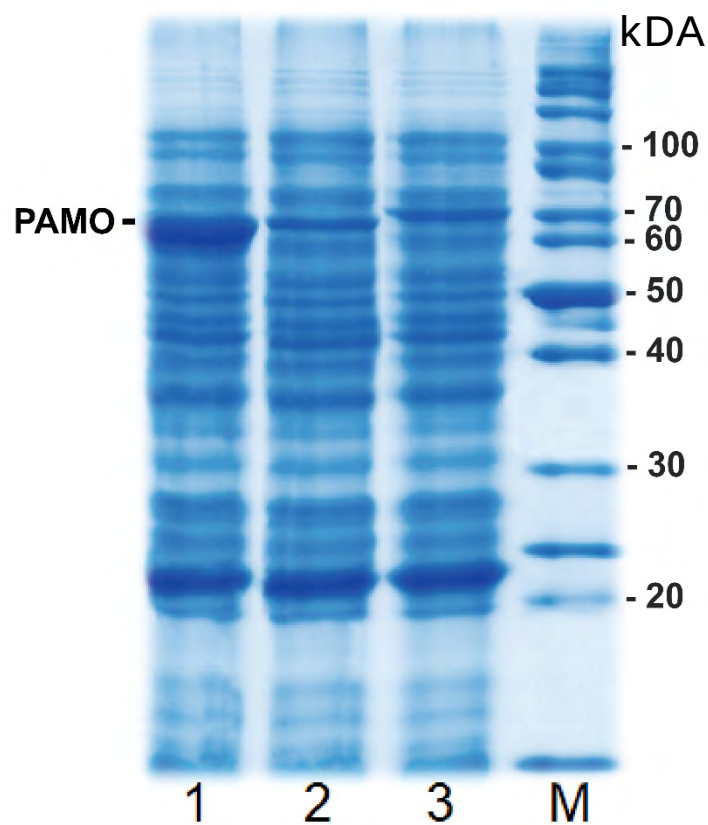
- Культуральная жидкость
- Клетки одноклеточных прокариот
- Клетки одноклеточных эукариот (чаще всего дрожжи)
- Плазма или сыворотка крови животных
- Клетки крови животных (например, эритроциты или лейкоциты)
- Различные ткани животных (печень, мышцы скелетные или сердце и т.д.)
- Различные ткани растений
- Человек ???



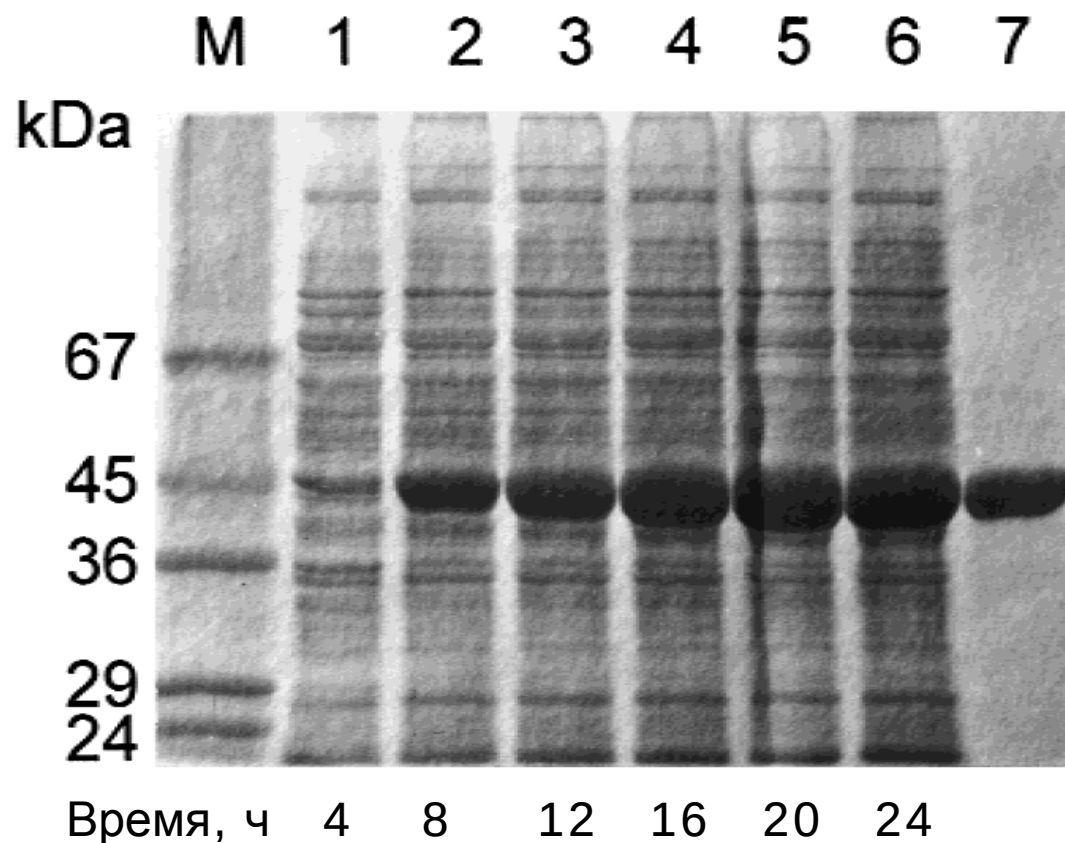
Получение белков и ферментов в современной жизни

**Методы генетической
инженерии и клеточные
технологии позволяют
получать рекомбинантные
белки**

Примеры содержания целевого белка в клетке (экспрессия двух ферментов в клетках *E.coli*)



Фенилацетонмонооксигеназа
по завершении культивирования
(Биохимия 2020)



Экспрессия формиатдегидрогеназы
во время культивирования
(Biotechnology&Bioengineering, 1999)



Этапы выделения и очистки ферментов

- Гомогенизация
- Фракционирование
- Хроматография
 - гельпроникающая
 - ионообменная
 - гидрофобная
 - афинная
 - металл-хелатная
- Электрофорез и изоэлектрическая фокусировка



Этапы выделения и очистки ферментов

■ Гомогенизация

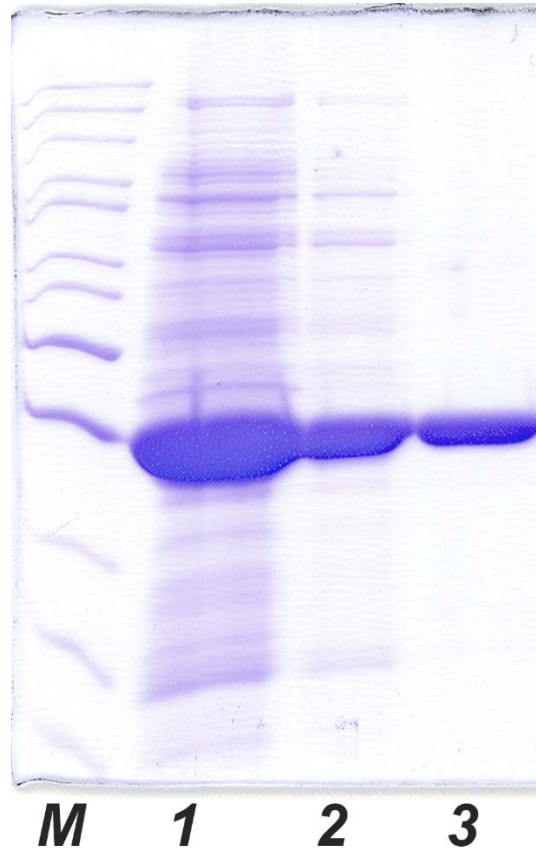
- механическое разрушение (мельница с шариками, блендер)
- ультразвук
- замораживание-размораживание с последующим добавлением ферментов /или ПАВ
- перепад давления (Х-пресс, French-пресс)
- осмотический шок



ФРАКЦИОНИРОВАНИЕ

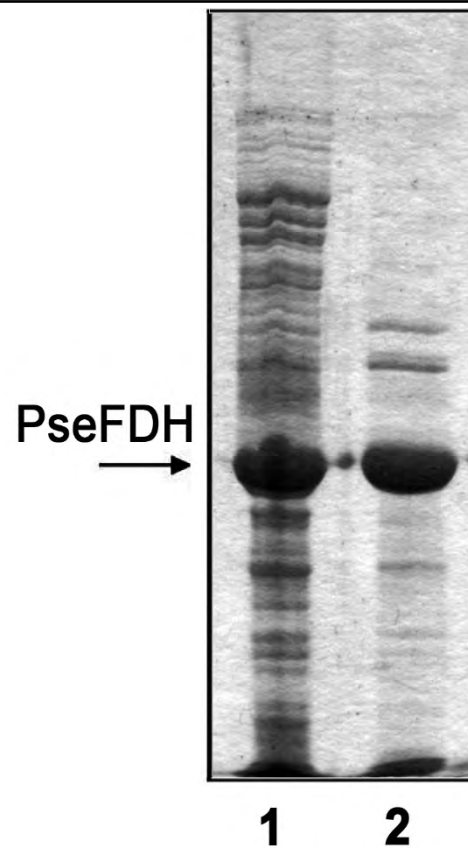
- Неорганические соли (сульфат аммония и др.)
- Органические растворители
- Соли тяжёлых металлов
- **Нагревание до 50-90 °C**

Очистка формиатдегидрогеназы *Staphylococcus aureus*



- 1 – бесклеточный экстракт
2 – после сульфата аммония
3 – хроматография
(Биохимия 2020)

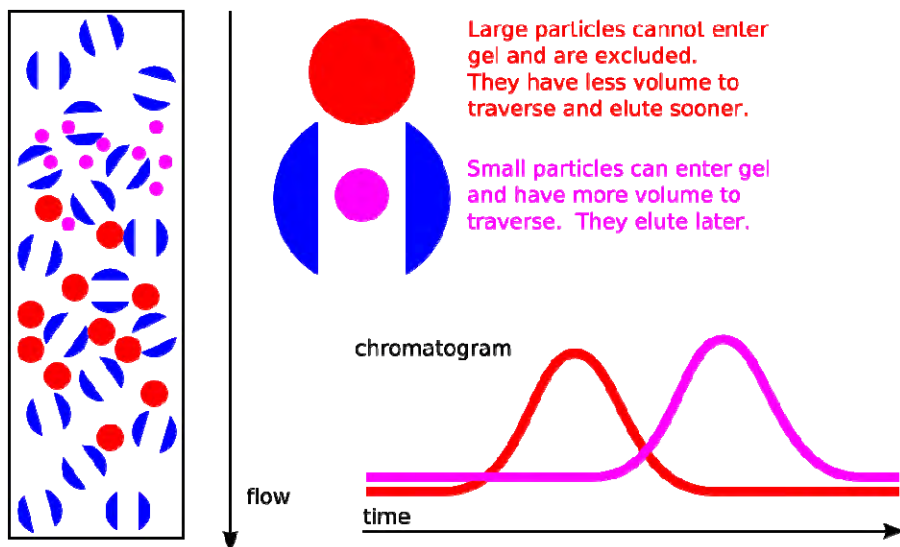
Очистка формиатдегидрогеназы термообработкой



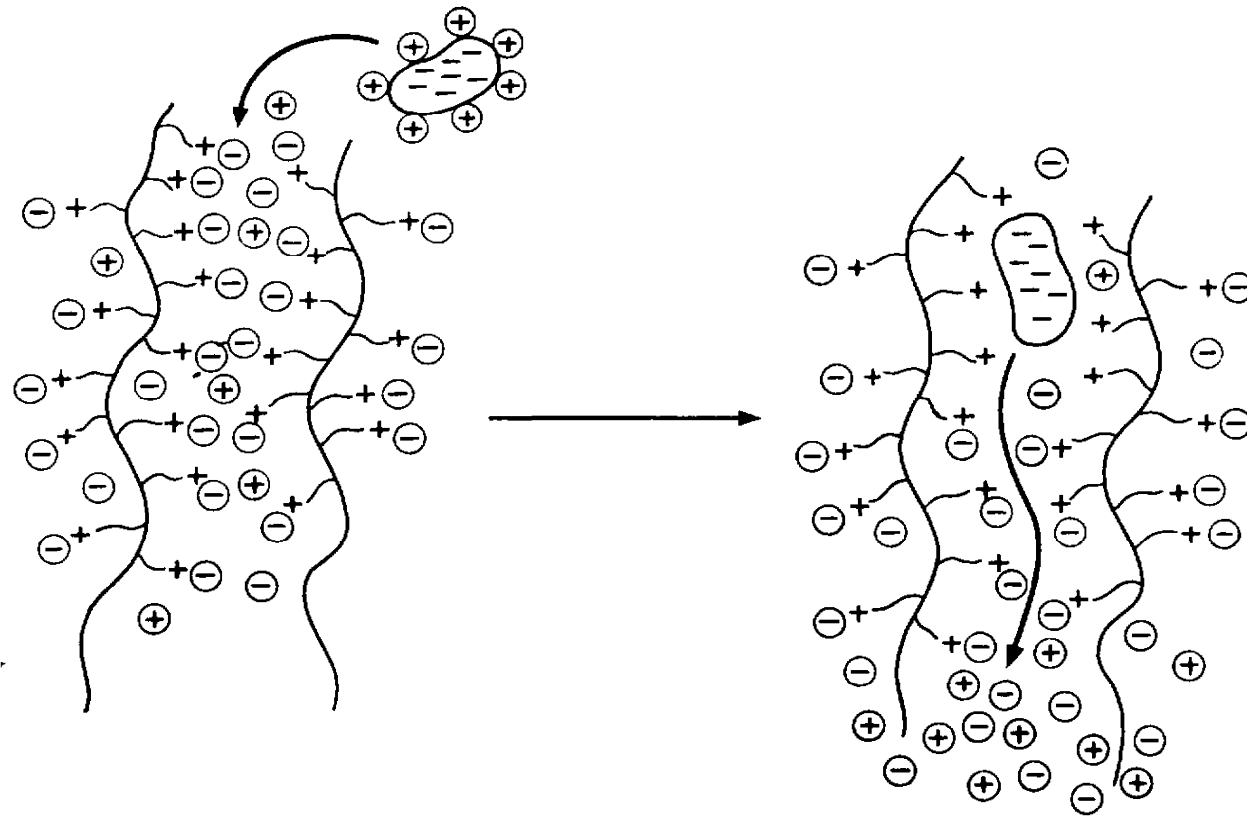
1 – бесклеточный экстракт
2 – после термообработки, 63 °C, 20 мин
(Biomolecular Engineering 2006)

Гель-проникающая хроматография (гель-фильтрация)

Size-exclusion chromatography
Gel-filtration chromatography
Gel permeation chromatography



Ионообменная хроматография



- – сорбция белка в растворе с **НИЗКОЙ ИОННОЙ СИЛОЙ** на носитель, имеющий заряд противоположный заряду фермента
- – десорбция в повышающемся градиенте концентрации соли (обычно NaCl)



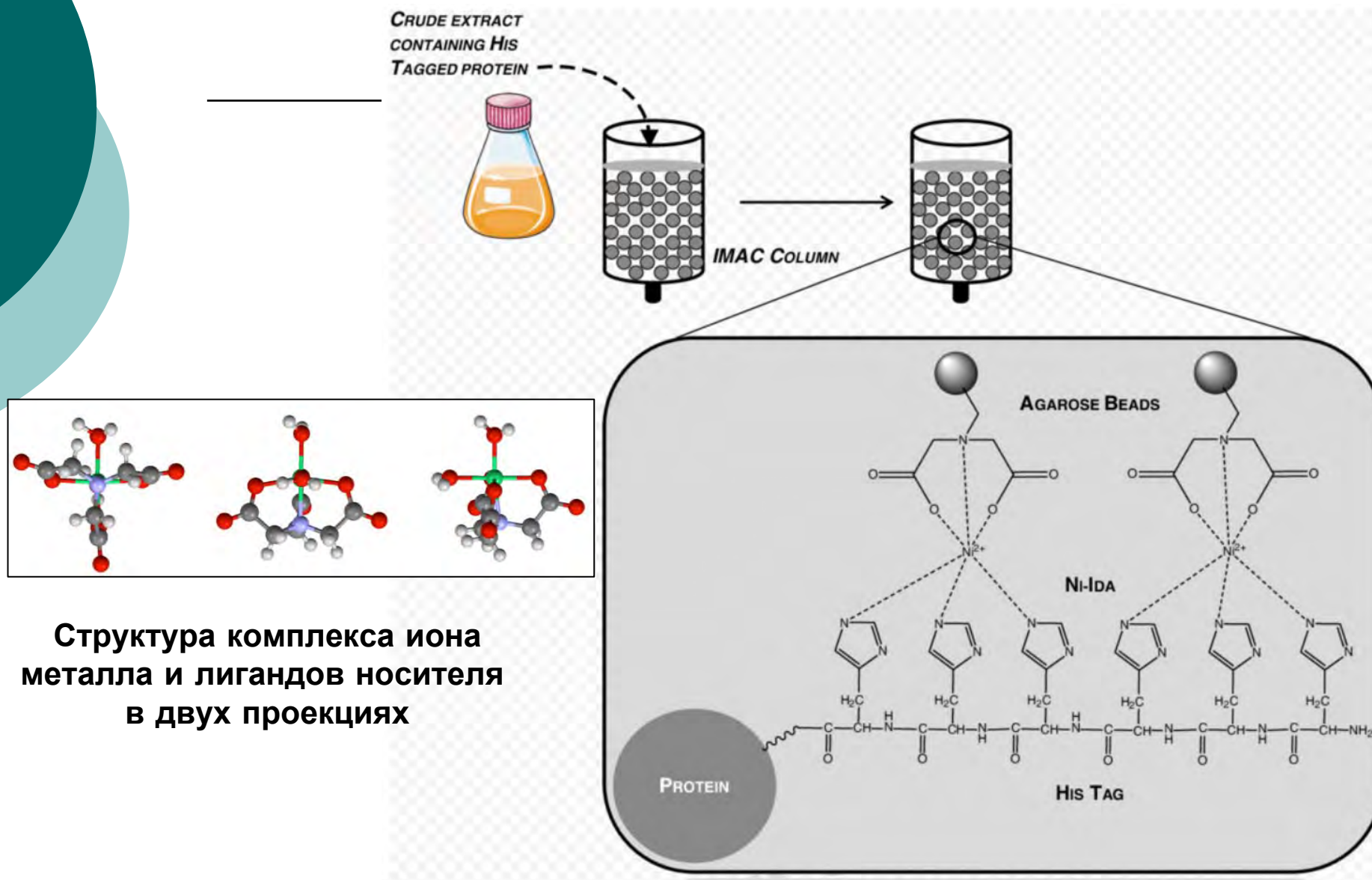
Гидрофобная хроматография

- - используются носители с гидрофобной группой – бутил-, октил-, фенил- и др.
- – сорбция белка на носитель проводится при **ВЫСОКОЙ** концентрации сульфата аммония, когда фермент не выпадает в осадок и связывается с носителем
- – десорбция происходит при понижении концентрации соли

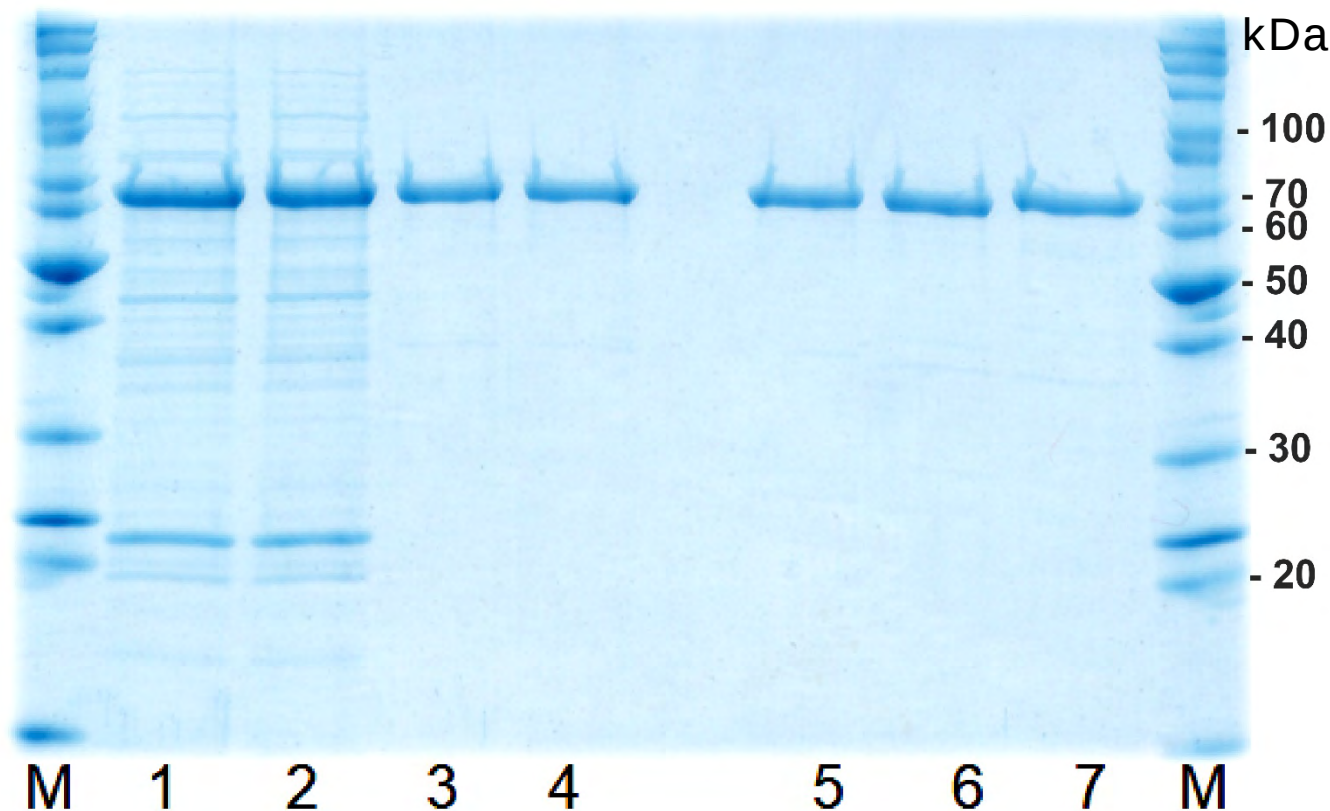
Аффинная хроматография



Металл-хелатная хроматография



ОЧИСТКА ФЕНИЛАЦЕТОНМОНООКСИГЕНАЗЫ (РАМО) на Ni-NTA-Sepharose

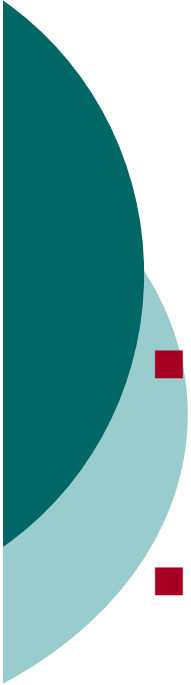


1,2 - бесклеточный экстракт N-His-tag РАМО

3,4, - N-Nis-tag РАМО после очистки (His-tag на N-конце)

5-7 – очищенная РАМО с His-tag на N- (5) и С- (6,7) конце фермента

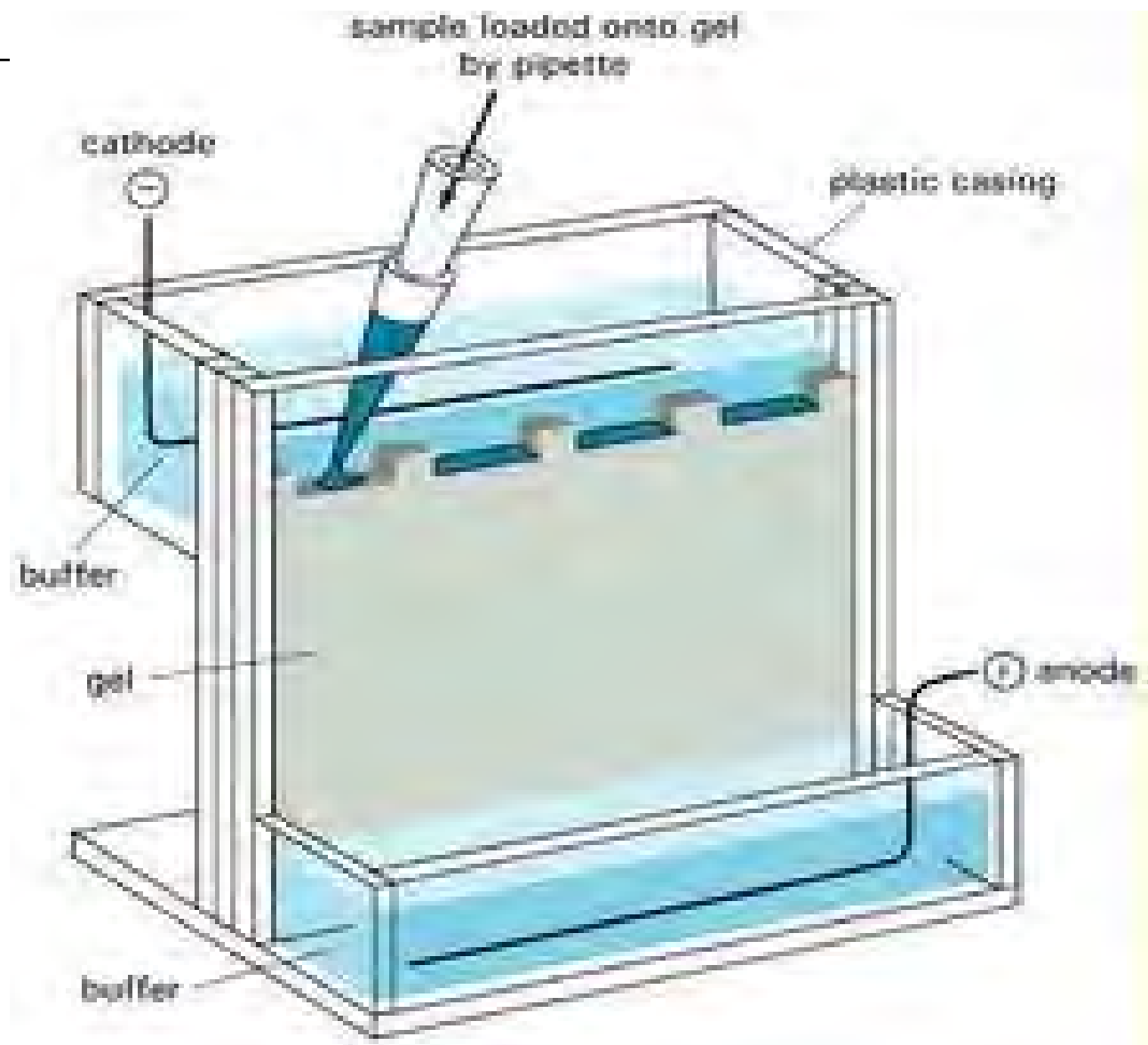
(Биохимия 2020)



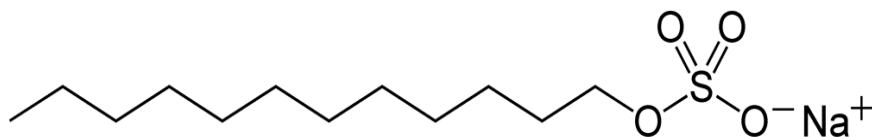
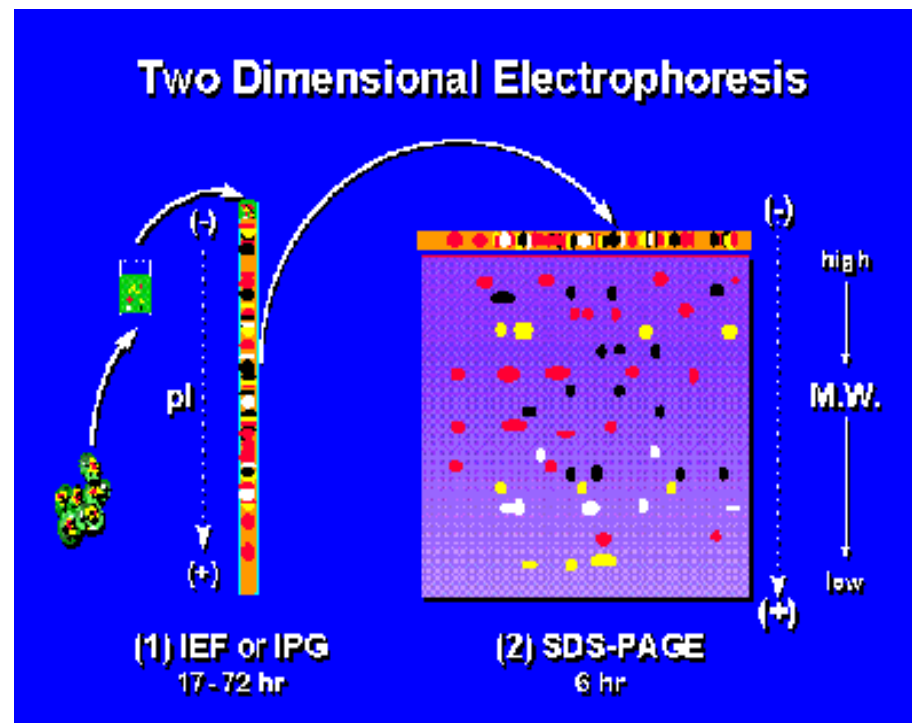
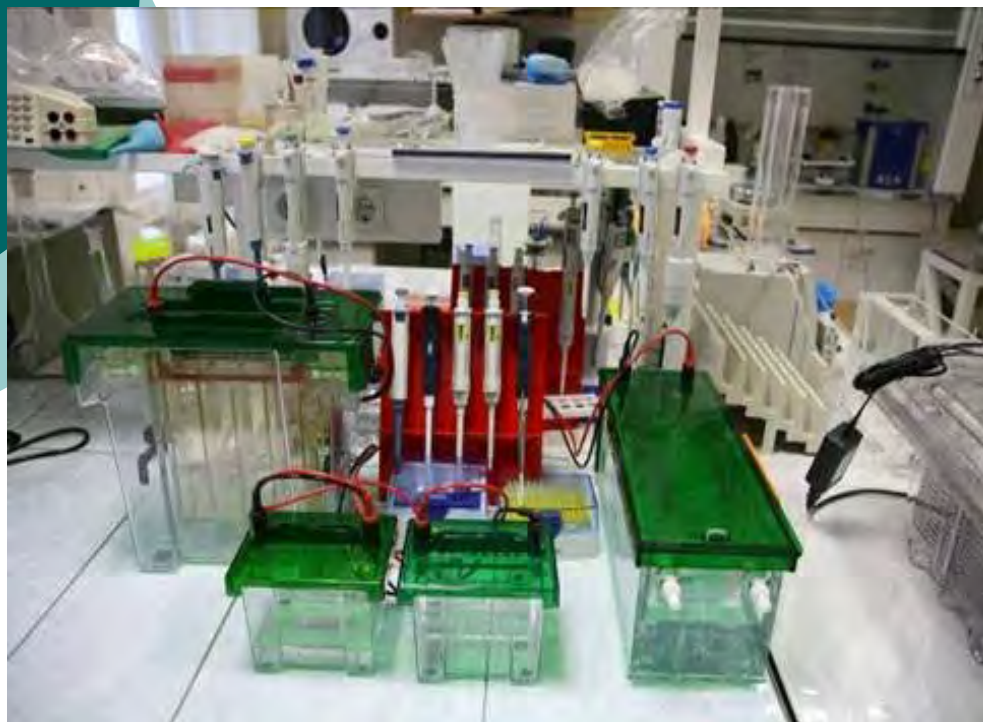
Электрофоретические методы

- **Электрофорез в денатурирующих условиях**
- полиакриламидный гель (ПААГ), пластины, столбики
(анализ чистоты белковых препаратов)
- **Нативный электрофорез**
- ПААГ с постоянной или градиент концентрации (4-30%)
(анализ белковых препаратов, выделение - редко)
- **Изоэлектрофокусирование (ИЭФ)**
(анализ белковых препаратов, на пластинах ПААГ))
- **Изотахорофорез (в капиллярах без геля, каждая зона – собственно сам белок)**
(анализ белковых препаратов)
- **Хроматофокусирование (ИЭФ на колонке)**
(очистка белков)

Электрофорез в пластинах ПААГ



Комбинация методов разделения (двумерный ЭФ)

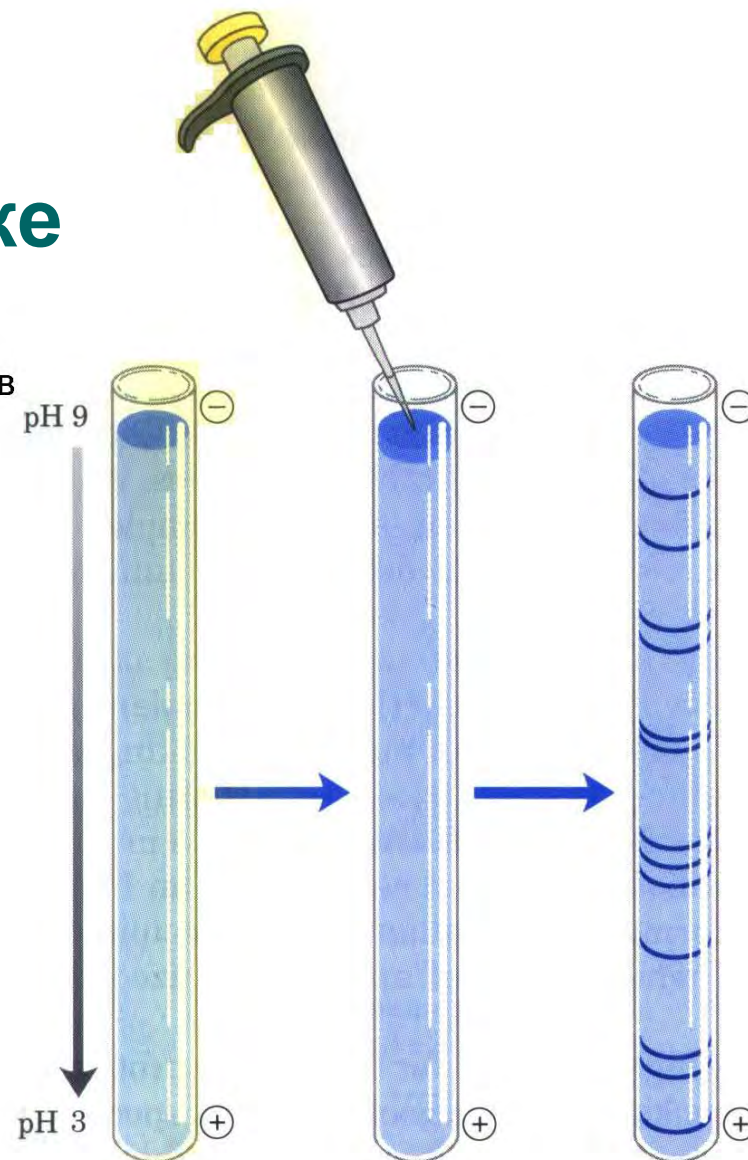


Додецилсульфат натрия

Пример последовательного анализа
смеси белков с помощью
изоэлектрофокусирования
и электрофореза

Изоэлектрическая фокусировка на колонке

раствор
амфолитов
включен
в гель



введен
раствор
белков

Пример протоколирования процесса выделения ферментов

	Объём, мл	Концентра- ция белка, мг/мл	Актив- ность, уе/мл *	Удельная активность, уе/мг	Суммарная активность, уе	Суммарный белок, мг	Выход, %	Степень очистки, раз
Гомогенат	78,1	7,4	11,9	1,4	927,7	577,1	-	-
После 1-го высалива- ния, 30% (NH ₄) ₂ SO ₄	33,5	5,6	25,7	4,6	861,2	187,6	93,2	3,3
После 2-го высалива- ния, 60% (NH ₄) ₂ SO ₄	13,3	8,4	63,6	7,6	845,3	111,1	91,1	5,4
После гель- фильтрации Sephadex G200	25,5	0,9	27,2	30,2	693,8	23,4	75,3	21,2
После хроматогра- фии на Toyopearl HW650 DEAE	2,0	2,2	317,7	144,4	635,5	4,4	68,5	103,2



Основные характеристики белковой молекулы

- **Молекулярный масса (вес)**
- **Изоэлектрическая точка**
(значение pH, при котором общий заряд молекулы равен нулю)
- **Аминокислотная последовательность**
(первичная структура)
- **Трехмерная структура**
 - третичная структура (одна субъединица)
 - четвертичная структура (олигомерный состав)



Проблемы получения ферментных препаратов

- 1. Низкое содержание целевого фермента в исходном биоматериале (особенно в природных источниках)
- 2. Высокая степень удерживания
- 3. Низкая стабильность
 - А СТАБИЛЬНОСТЬ БЕЛКОВОЙ ГЛОБУЛЫ
 - Б ОТДЕЛЕНИЕ (УДАЛЕНИЕ) СТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ФАКТОРОВ
 - В ХИМИЧЕСКОЕ ПОВРЕЖДЕНИЕ МОЛЕКУЛЫ ИЛИ ВСТРОЕННЫХ КОФАКТОРОВ
 - Г ЗАПУСК ДЕЙСТВИЯ ИНАКТИВАТОРОВ
 - Д ДРУГИЕ ФАКТОРЫ
- 4. Форма ферментного препарата