

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ВЫДЕЛЕНИЯ И ОЧИСТКИ БЕЛКОВ

МОЛДЕКОВА И.Ж. , ЖУБАТЫРОВА А.Н. , МҰҚАШЕВА А.Б. , ГОРБИК Д.И. 

***Молдекова Ирина Жумабаевна** - Магистр естественно-научных дисциплин, старший преподаватель, Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова, г. Ақтөбе, Қазақстан

E-mail: imoldekova@zhubanov.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0000-5431-7896>

Жубатырова Аружан Нурбулатовна - Студентка 3 курса специальности 6В05102 - Биотехнология, Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова, г. Ақтөбе, Қазақстан

E-mail: zzzhubatyrov@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0003-4024-3461>

Мұқашева Айкөркем Бағланқызы - Студентка 3 курса специальности 6В05102 - Биотехнология, Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова, г. Ақтөбе, Қазақстан

E-mail: mukasheva@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-2854-3595>

Горбик Дильназ Ивановна - Студентка 3 курса специальности 6В05102 - Биотехнология, Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова, г. Ақтөбе, Қазақстан

E-mail: dilnazgorbik57@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0001-2100-8277>

Аннотация. Мы провели сравнительный анализ оптимальных методов выделения и очистки белков, применяемых на производствах при этом критериями для оценки были прежде всего, эффективность и экологичность. Применение метода сравнительного анализа заключается в сопоставлении различных способов изоляции и очистки белков по ряду ключевых характеристик — чистоте конечного продукта, выходу вещества, ресурсным затратам, технологической сложности и универсальности по отношению к различным типам белков. Такой подход даёт возможность определить преимущества и недостатки каждого метода и установить оптимальные условия, при которых их использование будет наиболее рациональным. Рассматриваются факторы, влияющие на стабильность, активность белков.

Оценка эффективности базируется на сочетании количественных и качественных показателей. К числу количественных относят выход целевого белка, расход реагентов, продолжительность процедуры и энергоёмкость процессов. Качественные параметры включают устойчивость метода к примесям, селективность, воспроизводимость результатов и сохранность нативных свойств белковой молекулы. Проведение подобных расчётов обеспечивает объективную характеристику практической значимости исследуемых методов и позволяет выработать универсальные критерии их оценки. Результаты анализа способствуют повышению качества биопродуктов при оптимизации биотехнологии.

Ключевые слова: выделение, очистка, рекомбинантные белки, эффективность, биологическая активность, экологичность.

Введение

В современных биотехнологических процессах ключевой задачей является достижение высокой эффективности выделения целевых белков при минимальных финансовых затратах и снижении воздействия на окружающую среду [1]. Поэтому наряду с технологической результативностью всё чаще рассматриваются экономические и экологические аспекты производственных процессов. Анализ рационально начать с рассмотрения наиболее распространённых методов выделения и очистки белков [2]. На выбор методов влияют физико-химические характеристики белковых молекул, для разработки оптимальных технологических схем необходимо учитывать особенности, определяющие поведение белков в различных условиях. Одним из наиболее значимых факторов выступает электрический заряд молекулы. Каждый белок имеет специфическую изоэлектрическую точку (pI), при которой его суммарный заряд равен нулю. Это свойство широко используется при ионообменной хроматографии, где кислотность раствора подбирают таким образом, чтобы целевая молекула имела нужный заряд и эффективно связывалась с сорбентом [3].

Не менее важным параметром является растворимость белка. Хотя большинство белков способны растворяться в воде или буферных системах, степень их растворимости варьирует в зависимости от ионной силы среды, значения pH и присутствия поверхностно-активных веществ. Корректный подбор этих факторов предотвращает денатурацию и агрегацию белковых молекул, сохраняя их нативную конформацию.

Гидрофобность — ещё одно ключевое свойство, определяющее поведение белков в водной фазе. Гидрофобные белки склонны к низкой растворимости, что создаёт дополнительные трудности при их выделении. Для стабилизации таких структур применяют гидрофобную хроматографию или специальные детергенты, которые взаимодействуют с неполярными участками молекулы, повышая её растворимость.

Существенное значение имеет и молекулярная масса белков, варьирующая в широком диапазоне — от 5 до 500 кДа. Этот параметр лежит в основе методов фракционирования, в частности, гель-фильтрации, где разделение происходит по размерам молекул. Такая технология особенно востребована при выделении целевых белков из многокомпонентных смесей.

Комплексное понимание свойств, таких как заряд, растворимость, гидрофобность и молекулярная масса, является необходимым условием для создания эффективных стратегий очистки и стабилизации белковых систем [4].

Материалы и методы исследования

Процессы выделения и очистки белков относятся к числу наиболее сложных и многоэтапных процедур в биотехнологии, требующих тщательного анализа для определения их результативности, ограничений и области применимости. Методологическая основа проведённого исследования базируется на применении сравнительного анализа, расчёте показателей эффективности, систематизации существующих подходов и разработке критериев оценки их результативности.

В рамках исследования были уточнены и адаптированы ключевые критерии, обеспечивающие возможность объективного сравнения эффективности различных методических подходов. Анализ данных процессов целесообразно начать с рассмотрения факторов, оказывающих влияние на получение белков высокой степени чистоты. Известно, что изоляция белковых молекул представляет собой крайне сложный процесс, поскольку белки отличаются нестабильностью и высокой чувствительностью к внешним воздействиям. Даже незначительные изменения температуры, pH или ионной силы среды способны привести к утрате их нативной структуры [5].

Выбор источника белка представляет собой критический этап, определяющий дальнейшую стратегию и методы, используемые на всех последующих стадиях. Источники белков могут быть природного (нативного) происхождения — клетки, ткани, биологические жидкости — либо получены рекомбинантным путём с использованием генно-инженерных систем.

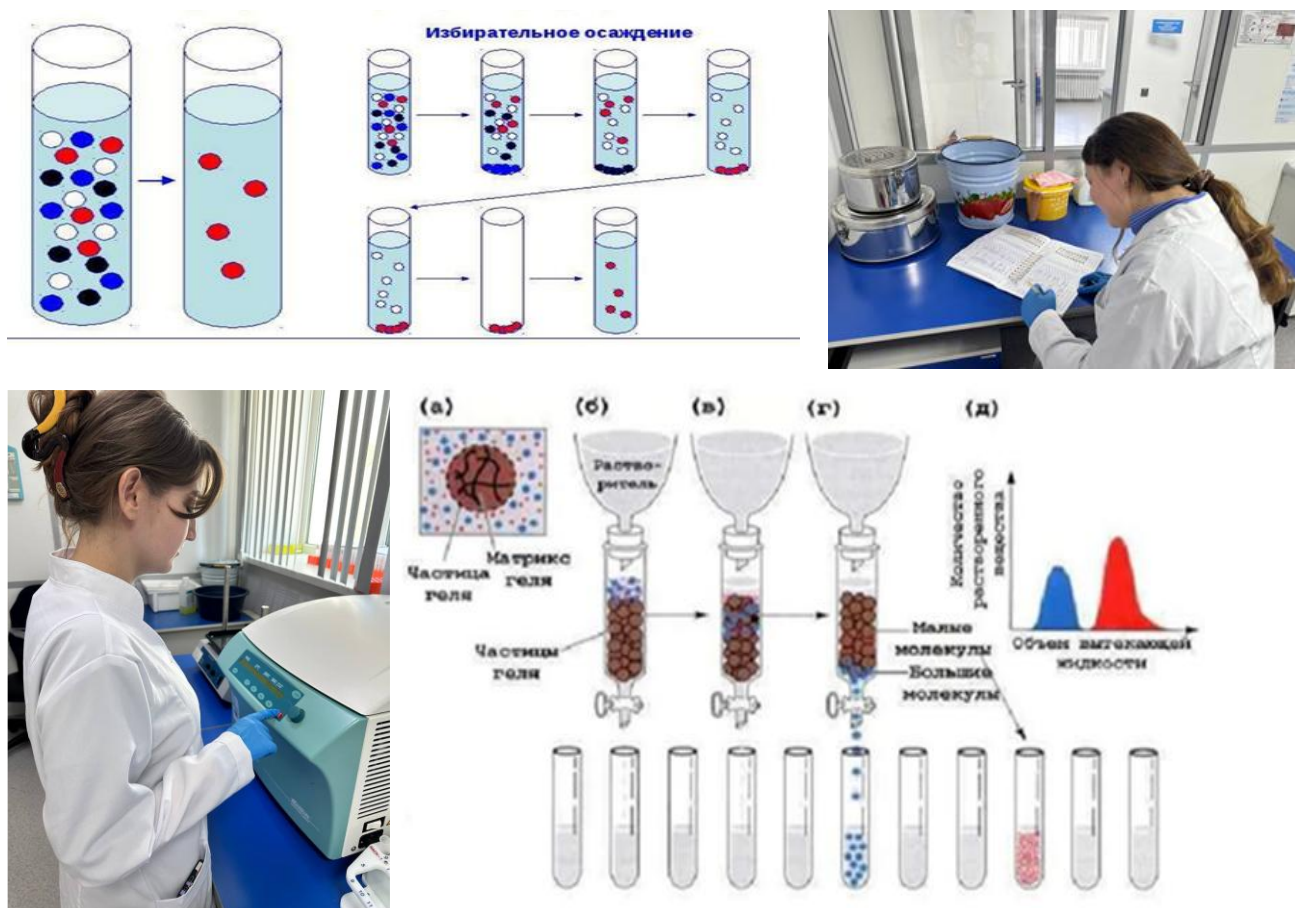
К естественным источникам относят ткани животных и растений, сыворотку крови, молоко, слюну, желчь и иные биологические жидкости. Например, миоглобин выделяют из мышечных тканей, фитогемагглютинины — из растительного сырья, а альбумин и иммуноглобулины — из сыворотки крови. Однако работа с нативными источниками сопряжена с рядом трудностей. Во-первых, в подобных системах присутствует большое количество сопутствующих соединений — липидов, нуклеиновых кислот, полисахаридов, что усложняет процесс очистки. Во-вторых, концентрация целевого белка нередко невелика, и для его выделения требуются дополнительные этапы концентрирования. В-третьих, достижение высокой степени чистоты из биологических матриц требует сложных и трудоёмких многоступенчатых процедур.

Рекомбинантные белки, синтезированные при помощи методов генной инженерии, служат эффективной альтернативой природным источникам. Использование специализированных продуцентов — бактерий, дрожжей или клеток млекопитающих — позволяет контролировать условия синтеза и получать белки с заданными свойствами. Классическим примером является экспрессия рекомбинантных белков в клетках *Escherichia coli*, отличающихся высокой скоростью роста и продуктивностью. Однако данный подход имеет ограничения — часто образуются нерастворимые агрегаты (тельца включения), требующие дополнительных стадий растворения и восстановления третичной структуры белка (рефолдинга).

Дрожжевые системы, такие как *Pichia pastoris* и *Saccharomyces cerevisiae*, считаются более сложными, но и более универсальными. Они способны секретировать синтезируемые белки в культуральную жидкость, что существенно упрощает их последующую очистку. Кроме того, дрожжи обеспечивают выполнение некоторых посттрансляционных модификаций, отсутствующих у прокариотических систем.

Клеточные линии млекопитающих, включая СНО (яичники китайского хомяка) и НЕК293 (эмбриональные клетки почки человека), применяются для экспрессии сложных белков, требующих специфических посттрансляционных модификаций, например гликозилирования. Эти системы обеспечивают получение белков с высокой степенью функциональной активности и структурной точности, однако характеризуются высокой стоимостью и сложностью культивирования.

Использование рекомбинантных систем имеет ряд преимуществ: стабильный высокий выход целевого продукта, возможность варьировать параметры экспрессии (pH, температура, состав среды), а также получать модифицированные белки с заданными свойствами. Всё это делает рекомбинантные технологии одним из наиболее перспективных направлений в современной биотехнологии, особенно при разработке терапевтических и диагностических белковых препаратов [6]. Далее рассмотрим получение белковых препаратов. Смотрите рисунок 1 этапы проведения исследования.



Источник: [2], автор

Рисунок 1. Этапы работы с белковой смесью.

Как изображено на рисунке 1 при работе с белковой смесью из процесса можно выделить два этапа. Сначала выполняют предварительное выделение белковой фракции из сложной смеси. На этом этапе уменьшают объем, концентрируют белок и удаляют часть примесей. Затем проводят тонкую очистку, цель которой состоит в получении белка высокой чистоты с сохранением его нативных свойств.

Результаты и их обсуждение

Помимо внутренней структуры белка и его источника, на процесс выделения и очистки существенное воздействие оказывают внешние условия. Неправильный выбор параметров среды способен привести к снижению выхода, потере активности или частичной денатурации белка. Нужно следить за соблюдением внешних параметров таких как, температура, рН среды и т.д. Температурный фактор играет одну из ведущих ролей. Повышение температуры вызывает нарушение пространственной структуры белка и способствует его агрегации. Для предотвращения подобных эффектов процессы проводят при пониженных температурах (обычно около +4 °C), а также вводят стабилизирующие добавки — глицерин, сахара и иные криопротекторы. Поддержание оптимального уровня рН имеет не меньшее значение. Каждый белок стабилен лишь в ограниченном диапазоне кислотности, выход за пределы которого приводит к изменению заряда и потере растворимости. Оптимальные условия обычно подбирают вблизи изоэлектрической точки, что способствует сохранению нативной структуры и биологической активности. Ионная сила среды также влияет на стабильность белков. Так, умеренные концентрации солей (например, NaCl) могут стабилизировать структуру за счёт экранирования зарядов, однако при избытке солей возможна коагуляция и выпадение белка в осадок. Для предотвращения агрегации мембранных белков часто используют детергенты, а для защиты от окислительных процессов — редуцирующие агенты, предотвращающие образование нецелевых дисульфидных связей между цистеиновыми остатками [2].

Таким образом, поддержание контролируемых внешних параметров — температуры, рН, ионной силы и состава среды — является необходимым условием успешного проведения стадий выделения и очистки белков.

Основная цель анализа конечного продукта после очистки заключается в определении степени его чистоты и сохранности биологической активности. В современных биотехнологических системах особое значение имеет возможность выявления даже минимальных количеств примесей — на уровне 1 % и ниже, поскольку они способны существенно повлиять на стабильность и функциональные свойства белка.

Одним из наиболее информативных методов оценки выступает электрофорез, проводимый как в нативных, так и в денатурирующих условиях. Он позволяет визуализировать распределение белков по заряду и молекулярной массе, что делает возможным обнаружение посторонних компонентов.

Электрофорез белков позволяет разделять белки в электрическом поле по заряду и молекулярной массе. Метод отличается высокой аналитической точностью и используется для контроля чистоты препарата, выявления примесей и определения молекулярной массы белка. Его главный недостаток состоит в малом масштабе и ограниченной пригодности для препаративной очистки.

Для более детальной идентификации применяют масс-спектрометрию, обеспечивающую точное определение молекулярной массы белка и выявление посттрансляционных модификаций. Изоэлектрическое фокусирование дополняет эти данные, разделяя белковые изоформы в зависимости от их изоэлектрической точки, что особенно полезно при анализе гетерогенных систем [4].

Дополнительные сведения о гомогенности белкового препарата можно получить с помощью N-концевого анализа, эффективность которого зависит от состояния N-концевой аминокислоты и отсутствия сходных примесей. Анализ аминокислотного состава также является индикатором чистоты: если соотношение количеств отдельных аминокислот не соответствует теоретически ожидаемым значениям, это свидетельствует о присутствии сторонних белков.

В ряде случаев кристаллизация используется как финальный тест гомогенности, хотя данный метод не всегда гарантирует однозначные результаты, поскольку даже смеси с примесями способны образовывать кристаллы.

После подтверждения чистоты приступают к характеристике белка, включающей

исследование его структуры, биологических функций и взаимодействий с другими молекулами. Эти сведения служат основой для последующего применения белковых препаратов в фармацевтике, медицине и научных исследованиях [5].

Экстракция является начальным этапом выделения белка, поскольку именно на этой стадии белок выходит из клеток в раствор. Этот метод дает высокий выход материала, но почти не обеспечивает чистоты, так как вместе с целевым белком в раствор переходят многие сопутствующие вещества. Центрифугирование и фильтрация применяются после экстракции для удаления клеточных обломков, взвешенных частиц и других нерастворимых примесей.

Давайте поведем сравнение методов смотрите таблицу 1

Таблица 1. Сравнительная характеристика трех методов

Метод	Предназначение	Недостатки
Экстракция	Перевод белка в раствор	Низкая селективность
Центрифугирование	Удаление частиц	Не разделяет растворимые белки
Фильтрация	Осветление образца	Не очищает от растворимых примесей

Источник: [2].

Исходя из данных таблицы 1 можно утверждать, что высаливание белков основано на снижении растворимости белков при повышении концентрации соли. При росте ионной силы вода активнее взаимодействует с ионами соли, гидратная оболочка белка ослабляется, усиливаются межмолекулярные взаимодействия, и белок выпадает в осадок. Метод используют для концентрирования белка и частичного фракционирования смеси смотрите рисунок 2.



Источник: автор, [2].

Рисунок 2. Схема высаливание белков

Из рисунка 2 видно процесс прохождения высаливания. Для высаливания чаще всего применяют сульфат аммония, сульфат натрия и хлорид натрия. Наибольшее практическое значение имеет сульфат аммония, так как он хорошо растворим, дает выраженное осаждение и часто сохраняет активность белка. Сульфат натрия может использоваться как высаливающий агент, но уступает по универсальности. Хлорид натрия обладает более слабым осаждающим действием и чаще служит для регулирования ионной силы, а не для эффективного осаждения белков.

Рассмотрим сравнение реагентов для высаливания в таблице 2

Таблица 2. Сравнение реагентов для высаливания

Реагент	Эффективность осаждения	Сохранность белка	Практическое значение
Сульфат аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	Высокая	Высокая	Основной реагент
Сульфат натрия Na_2SO_4	Средняя	Средняя	Основной реагент
Хлорид натрия NaCl	Низкая	Относительно мягкое	Основной реагент

Источник: автор

Из выше изложенной информации таблицы и рисунка 2 можно объективно судить о преимуществах и недостатках высаливания. Метод прост в выполнении, не требует сложного оборудования, легко масштабируется и отличается низкой стоимостью. При этом он обладает низкой селективностью. Белки со сходными свойствами часто осаждаются вместе, поэтому после высаливания необходимы дополнительные этапы очистки. Еще одним ограничением является необходимость удаления соли перед дальнейшей работой.

Рассмотрим преимущества и недостатки высаливания таблица 3.

Таблица 3. Преимущества и недостатки высаливания

Преимущества	Недостатки
Простота	Низкая селективность
Низкая стоимость	Требуется удаление соли
Масштабируемость	Нужна последующая очистка
Подходит для концентрирования	Не дает высокой чистоты

Источник: автор

Из данных таблицы 3 можно утверждать, что осаждение нейтральными солями относится к классическим и широко применяемым способам выделения белков. С экономической точки зрения метод выгоден: сульфат аммония доступен, недорог и не требует сложного оборудования, что существенно сокращает расходы. Кроме того, процесс отличается хорошей воспроизводимостью и стабильностью результатов. Однако существуют и ограничения. Осаждение не обеспечивает высокой степени чистоты, поэтому необходимы дополнительные этапы очистки — диализ или хроматография. При этом часть белка теряется, что снижает общий выход продукта.

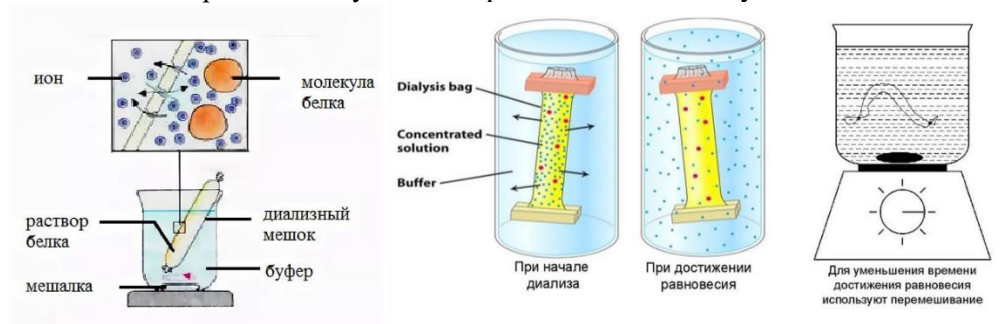
С экологической позиции данный метод считается относительно безопасным при условии правильной утилизации реагентов. Сульфат аммония не токсичен и менее вреден по сравнению с органическими осадителями, такими как ацетон или этанол. Тем не менее, при нарушении технологий утилизации возможно загрязнение сточных вод и нарушение экосистем из-за высокой концентрации солей [6].

Осаждение с использованием минеральных кислот основано на денатурации белковых молекул и последующем осаждении. Метод широко применяется, например, при гидролизе белков для аминокислотного анализа. Экономически этот подход выгоден благодаря низкой себестоимости реагентов и технологической простоте — процесс не требует сложного оборудования и может быть реализован даже в условиях ограниченных лабораторных ресурсов. Он характеризуется высокой производительностью, что делает его удобным для получения больших количеств белка.

Однако использование сильных кислот имеет и существенные недостатки: происходит денатурация белков и утрата их биологической активности, а также возникает необходимость в дополнительных стадиях обработки. Коррозионная активность кислот требует применения дорогостоящего оборудования с высокой химической стойкостью.

С экологической точки зрения преимуществом является отсутствие органических растворителей, что снижает токсическую нагрузку на окружающую среду и уменьшает риск для здоровья персонала. В то же время образующиеся кислотные отходы требуют обязательной нейтрализации с последующим образованием солевых растворов, нуждающихся в специализированной утилизации. Кроме того, работа с кислотами требует строгого соблюдения техники безопасности, использования индивидуальных средств защиты и соответствующей подготовки персонала.

Диализ основан на прохождении низкомолекулярных веществ через полупроницаемую мембрану более наглядно этот процесс представлен на рисунке 3.



Источник: [2; 3].

Рисунок 3. Процесс диализа

Из рисунка 3 видно, что белки остаются внутри мембранного объема, а соли и другие мелкие молекулы удаляются. Метод применяют после высаливания для удаления избытка соли и замены буфера. Диализ сохраняет структуру белка, но не разделяет белки между собой.

Хроматографические методы очистки белков является одним из ключевых методов современной биохимии и биотехнологии, обеспечивая получение высокочистых белков для фармацевтических, медицинских и пищевых целей.

Хроматография обеспечивает наиболее высокую степень очистки белков. Ионообменная хроматография разделяет белки по заряду. Гель фильтрация разделяет по размеру и одновременно сохраняет нативную структуру. Аффинная хроматография основана на специфическом связывании белка с лигандом и отличается максимальной селективностью

Давайте рассмотрим виды хроматографии смотрите таблицу 4

Таблица 4. Виды хроматографии

Вид хроматографии	Принцип разделения	Особенность
Ионообменная	По заряду	Универсальная и эффективная
Гель-фильтрация	По размеру	Мягкие условия
Аффинная	По специфическому средству	Наивысшая селективность

Источник: автор

Из таблицы 4 видно, что с экономической точки зрения этот метод характеризуется высокой эффективностью и селективностью, что сокращает расходы на последующие этапы очистки. Гибкость методики позволяет адаптировать процесс под различные типы белков, а возможность автоматизации снижает трудоёмкость и ускоряет проведение анализа. При этом минимизируются потери целевого продукта.

Главные экономические недостатки хроматографии связаны с высокой стоимостью оборудования и сорбентов, необходимостью периодической регенерации колонок и заменой расходных материалов. Энергозатраты процесса также значительны, поскольку требуется работа насосов, систем охлаждения и детекторов [1].

Проведем экономическую и экологическую оценку методов смотрите таблицу 5

Таблица 5. Экономическая и экологическая оценка методов

Метод	Степень очистки	Сохранность белка	Назначение	Стоимость
Диализ	Низкая	Высокая	Удаление солей	Низкая
Электрофорез	Средняя в аналитике	Зависит от условий	Анализ	Средняя
Хроматография	Высокая	Высокая или средняя	Основная очистка	Высокая

Подведя итог выше изложенной информации и данных в таблице 5 можно сделать вывод, что высаливание и диализ отличаются сравнительно низкой стоимостью и не требуют сложной аппаратуры. Электрофорез занимает промежуточное положение. Хроматография является самым затратным методом из-за стоимости сорбентов, колонок и буферных систем

Заключение

Проведённое исследование подтверждает, что высаливание занимает важное место на этапе предварительного выделения белков. Среди солей наиболее эффективным и универсальным реагентом является сульфат аммония. Диализ применяют для удаления солей и замены буфера. Электрофорез служит методом аналитического контроля. Основную роль в глубокой очистке белков играют хроматографические методы, среди которых особенно выделяется аффинная хроматография по степени селективности. Таким образом, анализ показал, что выбор метода выделения и очистки белков производится с учетом ряда факторов начиная с источника и природы, свойств белков до технологических характеристик процесса с учетом экологических и экономических аспектов. Осаждение солями и кислотами одно из классических направлений наиболее простое и экономичное содержащие ряд ограничений в применении при оценке результативности обнаруживается примеси и некоторая потеря активности белка. Современные хроматографические методы дают отличное качество, селективность при высоких финансовых и энергетических затратах.

Подведем итог для оптимизаций процесса выделения белка нужно проводить адаптацию согласно природным свойствам и условиям, при применении рекомбинантных систем экспрессии, энергоэффективных и экологически безопасных, при последовательном комбинировании нескольких методов, комплексного и рационального подхода с адаптивностью под биохимические, экономические и экологические параметры служащие базисом для развития инновации в белковой биотехнологии.

Список литературы

1. Горбик Д. И., Мұқашева А.Б., Жубатырова А.Н. Сравнительный анализ методов выделения и очистки белков. Материалы XXII Международной научно-практической конференции «Научно-технические исследования и инновационные технологии». — Ақтөбе: Ақтүбінскіі регіональнй университет імені Қ. Жұбанова, 2026. — С. 264–266.
2. Скрипова, А. А., Панова, Т. М. Производство белка методами биотехнологии. Материалы XVII Всероссийской (национальной) научно-технической конференции студентов и аспирантов. — Екатеринбург: УГЛУ, 2021. — С. 474–476.
3. Goodarzi, M. M., Jalalirad, R. Clear insight into complex multimodal resins and impurities to overcome recombinant protein purification challenges: A review. *Biotechnology and Bioengineering*. 2025 Vol. 122, № 1. – P. 5–29.
4. Громова М. С., Громов А. В., Грунина Т. М., Лящук А. М., Галушкина З. М., Субботина М. Е. [и др.]. Получение рекомбинантного RBD Spike-белка SARS-CoV-2 в клетках *Escherichia coli*, связывание с антителами и противовирусная активность // Молекулярная генетика, микробиология и вирусология. – 2023. – Т. 41, № 2. – с. 28–35.
5. Компанцев Д. В. и др. Белковые изоляты из растительного сырья: обзор современного состояния и анализ перспектив развития технологии получения белковых изолятов из растительного сырья //Современные проблемы науки и образования. 2016, №.1, с. 50-58.
6. Алаторцева Г. И. и др. Разработка рекомбинантного белка капсида вируса гепатита Е третьего генотипа: клонирование, экспрессия, очистка, оценка антигенных свойств // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. 2019, № 1, с.10-17.

References

1. Gorbik D. I., Mūqāsheva A.B., ZHubatyrova A.N. Sravnitel'nyj analiz metodov vydeleniya i ochistki belkov. Materialy XXII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Nauchno-tekhnicheskie issledovaniya i innovacionnye tekhnologii». — Aktobe: Aktyubinskij regional'nyj universitet imeni K. ZHubanova, 2026. — S. 264–266.

2. Skripova, A. A., Panova, T. M. Proizvodstvo belka metodami biotekhnologii. Materialy XVII Vserossijskoj (nacional'noj) nauchno-tekhnicheskoy konferencii studentov i aspirantov. — Ekaterinburg: UGLTU, 2021. — S. 474–476.

3. Goodarzi, M. M., & Jalalirad, R. Clear insight into complex multimodal resins and impurities to overcome recombinant protein purification challenges: A review. *Biotechnology and Bioengineering*. 2025,122(1), p. 5-29.

4. Gromova, M. S., Gromov, A. V., Grunina, T. M., Lyashchuk, A. M., Galushkina, Z. M., Subbotina, M. E., ... & Lunin, V. G. Poluchenie rekombinantnogo RBD Spike-belka SARSCoV2 v kletkah Escherichia coli, svyazyvanie s antitelami i protivovirusnaya aktivnost'. *Molekulyarnaya genetika, mikrobiologiya i virusologiya*. 2023, 41(2), s. 28-35.

5. Kompancev D. V. i dr. Belkovye izolyaty iz rastitel'nogo syr'ya: obzor sovremennogo sostoyaniya i analiz perspektiv razvitiya tekhnologii polucheniya belkovyh izolyatov iz rastitel'nogo syr'ya // *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2016, №.1, s. 58-58.

6. Alatorceva G. I. i dr. Razrabotka rekombinantnogo belka kapsida virusa gepatita E tret'ego genotipa: klonirovanie, ekspressiya, ochildka, ocenka antigennyh svoystv // *Zhurnal mikrobiologii, epidemiologii i immunobiologii*. 2019, № 1, s.10-17.

АҚУЫЗДЫ БӨЛІП АЛУ ЖӘНЕ ТАЗАРТУ ӘДІСТЕРІН ТАЛДАУ

МОЛДЕКОВА И.Ж.*, ЖУБАТЫРОВА А.Н., МҰҚАШЕВА А.Б., ГОРБИК Д.И.

*Молдекова Ирина Жумабаевна - Жаратылыстану-ғылыми пәндер магистрі, аға оқытушы, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе қ., Қазақстан

E-mail: imoldekova@zhubanov.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0000-5431-7896>

Жубатырова Аружан Нурбулатовна - 6B05102 - Биотехнология мамандығының 3 курс студенті, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе қ., Қазақстан

E-mail: zzhubaturov@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0003-4024-3461>

Мұқашева Айкөркем Бағланқызы - 6B05102 - Биотехнология мамандығының 3 курс студенті, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе қ., Қазақстан

E-mail: mukasheva@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-2854-3595>

Горбик Дильназ Ивановна - 6B05102 - Биотехнология мамандығының 3 курс студенті, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе қ., Қазақстан

E-mail: dilnazgorbik57@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0001-2100-8277>

Андатпа. Біз өндірісте қолданылатын оңтайлы ақуызды оқшаулау және тазарту әдістерінің салыстырмалы талдауын жүргіздік, тиімділік пен қоршаған ортаға зиянсыздық негізгі бағалау критерийлері ретінде қарастырдық. Салыстырмалы талдау әр түрлі ақуызды оқшаулау және тазарту әдістерін бірқатар негізгі сипаттамалар бойынша, соның ішінде соңғы өнімнің тазалығы, өнімділігі, ресурстарды тұтынуы, процестің күрделілігі және әртүрлі ақуыз түрлеріне қатысты әмбебаптығы бойынша салыстыруды қамтиды. Бұл тәсіл бізге әр әдістің артықшылықтары мен кемшіліктерін анықтауға және оларды ең тиімді пайдалану үшін оңтайлы жағдайларды белгілеуге мүмкіндік береді. Ақуыздың тұрақтылығы мен белсенділігіне әсер ететін факторлар қарастырылады.

Тиімділікті бағалау сандық және сапалық көрсеткіштердің үйлесіміне негізделген. Сандық көрсеткіштерге мақсатты ақуыз өнімділігі, реагент шығыны, процедура ұзақтығы және процестің энергия шығыны кіреді. Сапалық көрсеткіштерге әдістің қоспаларға төзімділігі, селективтілігі, нәтижелердің қайталануы және ақуыз молекуласының табиғи қасиеттерінің сақталуы кіреді. Мұндай есептеулерді жүргізу зерттеліп отырған әдістердің практикалық маңыздылығын объективті бағалауға мүмкіндік береді және оларды бағалаудың әмбебап критерийлерін әзірлеуге мүмкіндік береді. Талдау нәтижелері биотехнологияны оңтайландыру кезінде биоөнімдердің сапасын жақсартуға ықпал етеді.

Түйін сөздер: бөлу, тазалау, рекомбинантты ақуыздар, тиімділік, биологиялық белсенділік, қоршаған ортаға зиянсыздық.

ANALYSIS OF METHODS FOR PROTEIN ISOLATION AND PURIFICATION

MOLDEKOVA I.ZH.*, ZHUBATYROVA A.N., MUKHASHEVA A.B.,
GORBIK D.I.

***Moldekova Irina Zhumabaevna** - Master's degree in natural sciences, senior lecturer, K. Zhubanov Aktobe regional university, Aktobe, Kazakhstan

E-mail: imoldekova@zhubanov.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0000-5431-7896>

Zhubatyrova Aruzhan Nurbulatovna - 3th year students of specialty 6B05102 - Biotechnology, K. Zhubanov Aktobe regional university, Aktobe, Kazakhstan

E-mail: zzzhubatyrov@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0003-4024-3461>

Mukhasheva Aikorkem Baglankyzy - 3th year students of specialty 6B05102 - Biotechnology, K. Zhubanov Aktobe regional university, Aktobe, Kazakhstan

E-mail: mukhasheva@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-2854-3595>

Gorbik Dilnaz Ivanovna - 3th year students of specialty 6B05102 - Biotechnology, K. Zhubanov Aktobe regional university, Aktobe, Kazakhstan

E-mail: dilnazgorbik57@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0001-2100-8277>

Abstract. We conducted a comparative analysis of optimal protein isolation and purification methods used in production, with efficiency and environmental friendliness as the primary evaluation criteria. Comparative analysis involves comparing various protein isolation and purification methods across a number of key characteristics, including final product purity, yield, resource consumption, process complexity, and versatility in relation to various protein types. This approach allows us to identify the advantages and disadvantages of each method and establish optimal conditions for their most effective use. Factors influencing protein stability and activity are considered.

Efficiency assessment is based on a combination of quantitative and qualitative indicators. Quantitative indicators include target protein yield, reagent consumption, procedure duration, and process energy consumption. Qualitative indicators include the method's resistance to impurities, selectivity, reproducibility of results, and preservation of the native properties of the protein molecule. Conducting such calculations provides an objective assessment of the practical significance of the methods under study and allows us to develop universal criteria for their evaluation. The results of the analysis contribute to improving the quality of bioproducts during the optimization of biotechnology.

Key words: isolation, purification, recombinant proteins, efficiency, biological activity, environmental friendliness.