

Всероссийский конкурс юных исследователей окружающей среды имени Б.В.  
Всесвятского

Федеральный этап

ПОЛУЧЕНИЕ И КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ  
БЕЛКОВЫХ ИЗОЛЯТОВ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ ЖМЫХОВ

**Автор:**

Баранов Артур Михайлович

Россия, Мурманская область, г. Мурманск, Гимназия №7, класс 11 «А»

ГАНОУ МО «ЦО «Лапландия», Детский технопарк «Кванториум»  
Биоквантум. Проектная группа

**Научный руководитель:**

Соколан Нина Ивановна,  
педагог дополнительного образования детского технопарка «Кванториум»,  
ГАНОУ МО «ЦО «ЛАПЛАНДИЯ»

г. Мурманск

2025-2026 гг

## Оглавление

Введение .....	4
<b>1. Литературный обзор .....</b>	<b>5</b>
<b>2. Материалы и методы исследования .....</b>	<b>8</b>
2.1. <i>Объект исследования</i> .....	8
2.2. <i>Предмет исследования</i> .....	8
2.3.1 <i>Предварительное обезжиривание жмыхов</i> .....	8
2.3.2 <i>Получение изолята растительного белка из жмыха</i> .....	8
2.4.1 <i>Органолептические и физико-химические методы исследования полученных изолятов</i> .....	9
2.4.2 <i>Количественное определение содержания белка методом Кьельдаля</i> .....	9
2.4.3 <i>Количественное определение содержания жира методом Сокслета</i> .....	10
2.4.4 <i>ИК-спектроскопический анализ изолятов растительного белка</i> .....	11
<b>3. Результаты и обсуждения .....</b>	<b>12</b>
<b>4. Выводы .....</b>	<b>14</b>
<b>5. Заключение .....</b>	<b>15</b>
<b>Благодарность .....</b>	<b>16</b>
<b>Список литературы .....</b>	<b>16</b>
<b>Приложение 1 .....</b>	<b>18</b>

## ПОЛУЧЕНИЕ И КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ БЕЛКОВЫХ ИЗОЛЯТОВ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ ЖМЫХОВ

Баранов Артур Михайлович<sup>(1)(2)</sup>

<sup>(1)</sup>Россия, Мурманская область, г. Мурманск, Гимназия №7, класс 11 «А»

<sup>(2)</sup>ГАНОУ МО «ЦО «Лапландия», Детский технопарк «Кванториум»  
Биоквантум. Проектная группа

**Аннотация.** Актуальность темы получения изолята растительного белка из разных видов жмыха обусловлена несколькими ключевыми факторами. Растительные изоляты представляют собой экологически устойчивый источник белка, который может помочь удовлетворить спрос на биологически активные вещества. Использование жмыха для получения растительного белка может помочь улучшить эффективность использования ресурсов, поскольку жмых часто является побочным продуктом в сельскохозяйственной промышленности. Все эти факторы делают тему получения изолята растительного белка из разных видов жмыха актуальной для исследования.

Целью данной работы являются получение изолята растительного белка из различных видов жмыха и исследование полученных образцов.

В ходе исследования были получены образцы изолята растительного белка из горохового, подсолнечного и арахисового жмыхов из сырого и обезжиренного сырья, определен выход готового продукта и проведен комплекс исследований растительных белковых изолятов.

**Ключевые слова:** жмых, растительный белок, изолят, ИК-спектроскопия, горох, подсолнечник, арахис..

## Введение

В настоящее время потребность населения нашей планеты в продуктах питания удовлетворяется далеко не полностью. Особенно остро ощущается дефицит пищевого белка, который оценивается в 10-25 млн. тонн в год и в ближайшее время, вероятно, сохранится. Также в рационе человека не соблюдается необходимый баланс белков и углеводов, отмечено низкое содержание витаминов, минеральных веществ и пищевых волокон. Изыскание новых источников пищевого белка, биологически активных добавок, а также разработка технологии переработки жмыхов и шротов для получения продуктов повышенной биологической и пищевой ценности с функциональной направленностью - одна из актуальных задач пищевой промышленности [1].

Актуальность темы получения изолята растительного белка из разных видов жмыха обусловлена несколькими ключевыми факторами. Растительные изоляты представляют собой экологически устойчивый источник белка, который может помочь удовлетворить спрос на биологически активные вещества [2]. Использование жмыха для получения растительного белка может помочь улучшить эффективность использования ресурсов, поскольку жмых часто является побочным продуктом в сельскохозяйственной промышленности. Все эти факторы делают тему получения изолята растительного белка из разных видов жмыха актуальной для исследования.

Данная работа является продолжением уже проведенных исследований «Получение и исследование изолята растительного белка из разных видов жмыха», результатами которых стали образцы белковых изолятов из кукурузного, горохового и подсолнечного жмыхов. Данные образцы были получены методом высаливания белков и в дальнейшем исследованы их физико-химические свойства. В новой работе были продолжены исследования в направлении получения образцов изолята из новых видов жмыха (арахисовый жмых), использован новый метод получения изолятов (щелочной метод), а также исследовано влияние предварительного обезжиривания жмыха на выход изолята и на его свойства.

Подводя итог вышесказанному, целями нашего исследования являются получение изолята растительного белка из различных видов жмыха и исследование полученных образцов.

Чтобы достичь описанные цели, мы поставили перед собой следующие задачи:

1. Получение изолятов растительного белка из определенных жмыхов (арахис, горох, подсолнух) щелочным методом;
2. Сравнительный анализ образцов изолята, полученных с предварительным обезжириванием сырья и без обезжиривания;
3. Провести качественный анализ изолятов на содержание белка методом ИК-спектроскопии

## 1. Литературный обзор

Белок – один из важнейших компонентов питания человека. Являясь строительным материалом клеток, он входит в состав их мембран и межклеточного вещества. Ферменты и гормоны, антитела, защищающие организм от инфекции, а также переносчик кислорода гемоглобин по своему химическому строению также являются белками [2, С.19-20].

Растительные белки из-за отсутствия в их составе многих незаменимых аминокислот не могут полностью заменить животные. Но рациональное питание подразумевает сочетание животных и растительных продуктов, улучшающее сбалансированность аминокислот. Кроме того, растительные белки положительно влияют на органолептические показатели пищи: вид, цвет, вкус и текстуру – основные элементы, определяющие признание продукта конечным потребителем. Этим определяется характер применения растительных белков, выбор конкретных их видов и процентный уровень использования в продукте. Основные виды растительных белков производят из зерна гороха, кукурузы, пшеницы, сои, а также картофеля. Главное отличие состоит в количестве белка, содержании незаменимых аминокислот, а также функциональных свойствах [3].

В настоящее время известно множество продуктов питания, в которых присутствуют те или иные растительные белки. Основным направлением их использования является продукция мясоперерабатывающей промышленности, составляющая основу рациона питания, так как наряду с ценностью мясных продуктов по содержанию белков, они имеют и высокую энергетическую ценность. Кроме того, мясные продукты имеют высокое содержание жира. Главная задача мясоперерабатывающей промышленности – производство большего количества продукции высокого качества, в том числе, с пониженным содержанием жира и большим количеством белка. В настоящее время с этой целью применяется введение в колбасные изделия растительных белков. Целесообразность ввода в состав колбас диктуется как биологическими свойствами растительного белка, так и его многофункциональностью.

В качестве растительных белков чаще используют белки соевых бобов, производство которых сегодня достаточно хорошо налажено. Соевые белки получают в различных формах: соевая мука, соевый белковый концентрат (содержит до 70 % белка) либо в виде соевого белкового изолята (высокоочищенные белки, не имеющие вкуса и запаха).

Также источником растительных белков может являться и продукт переработки (отходы) растительного сырья, такие как шрота и жмыхи.

Потенциальным сырьем для производства продуктов повышенной пищевой и биологической ценности могут являться жмыхи и шроты, которые образуются в процессе переработки семян масличных культур. Утилизация и комплексное использование отходов, образующихся при переработке растительного сырья – одна из важнейших задач в масложировой промышленности. С одной стороны, ее решение позволяет повысить технико-

экономические показатели предприятий, создать безотходные технологии и улучшить экологическую обстановку, с другой - дает возможность использовать новые нетрадиционные ресурсы в производстве продуктов питания [4, С.299; 5].

В зависимости от вида перерабатываемого сырья жмыхи и шроты подразделяют на подсолнечные, льняные, хлопковые, арахисовые, конопляные, кунжутные, кориандровые, рапсовые, сурепные, клещевинные и др. Жмыхи и шроты различают по способу производства растительных масел. При выработке масла с помощью отжима семян под прессом получают жмых, а при извлечении масла экстрагированием - шрот. В жмыхах количество сырого жира составляет 5 - 10%, в шротах - 1,2 - 5%. Их особенность - наличие большого количества протеина (до 50%) при высокой энергетической ценности 220 -280 ккал [6, С.378-381].

В табл. 1. (Приложение 1) приведен химический состав жмыхов масличных культур на примере образцов сибирской селекции [7].

С ростом производства масел увеличивается выход жмыхов и шротов. В 2020 году по сравнению с 2015 годом их количество выросло на 43,2 % (с 6797,7 тыс. тонн до 9735,8 тыс. тонн) [8, С.7-10; 9].

Подсолнечник занимает наибольшие посевные площади в России среди масличных культур. Шрот и жмых подсолнечника имеют высокую кормовую ценность. В подсолнечном жмыхе сохраняется больше масла, содержание жиров около 7-10 %, белков – до 38 %, клетчатки – до 18 %, в шроте же содержание жиров значительно меньше (1-3 %), однако он имеет больше сырого белка (30-40 %) и сырой клетчатки (от 19 %). Также они отличаются высоким содержанием фосфора. В отличие от других жмыхов и шротов подсолнечные практически не содержат антипитательных веществ. Из факторов, ограничивающих применение подсолнечного шрота (жмыха) в качестве кормовой добавки, можно назвать хлорогенную и хинную кислоты, уровень которых составляет 1,56 % и 0,48 % соответственно. Также к недостаткам подсолнечных жмыхов и шротов относят высокий уровень клетчатки. Это обусловлено наличием лузги с большим количеством лигнина: при недостаточном её удалении повышается количество клетчатки, но понижается количество протеина, что может ограничить доступность питательных веществ и привести к проблемам с ЖКТ животных, в особенности – птиц. В настоящее время разработаны технологии производства подсолнечного шрота с высоким уровнем сырого протеина (ВПШНК) — 42–46 % и низким содержанием клетчатки — 8–12 %. Получают его из стандартного подсолнечного шрота путем механического удаления из него основной части лузги (более 80 %), таким образом сводя данный недостаток к минимуму [10, С.63; 11, С.177-120].

Арахисовый жмых образуется после удаления масла из семян арахиса (*Arachis hypogaea*) и применяется в основном как кормовая добавка, источник растительного белка и компонент промышленного назначения. Основные показатели состава варьируются следующим образом: сырой белок составляет около 40–50%, остаточное масло — примерно 5–20% (зависит от используемого метода экстракции), клетчатка достигает уровня 10–20%, минеральные соли (зола) составляют порядка 3–6%. По физиологическим характеристикам

белковый профиль арахисового жмыха отличается хорошей сбалансированностью аминокислот, хотя отмечается недостаток метионина, характерный для большинства бобовых растений. Наличие аллергенных белков семейства Ara h1-h9 существенно ограничивает возможности использования жмыха в пищу людям, страдающим аллергическими реакциями. Для улучшения технологических свойств и расширения сфер применения проводятся процедуры экстракции, выделения и ферментативного гидролиза белков, результатом которых становятся высокоэффективные белковые изоляты и гидролизаты с выраженными эмульгирующими и пенообразующими качествами. Вместе с тем наличие антипитательных компонентов, таких как фитаты, олигосахариды и ингибиторы протеаз, отрицательно влияет на усвояемость питательных веществ. Эти недостатки преодолеваются путём термообработки и ферментативных преобразований. Одним из главных недостатков является высокий риск заражения афлатоксинами, включая токсины группы В1 и В2, возникающий вследствие особенностей хранения сырья. Поэтому обязательным условием безопасного использования арахисового жмыха становится постоянный контроль качества на объект наличия микотоксинов. Применение арахисового жмыха разнообразно. Традиционно он используется в сельском хозяйстве как кормовая добавка. Перспективно получение пищевых добавок высокого качества после дополнительного обезжиривания и модификации белков. Потенциал биотехнологии заключается в создании пептидных препаратов с полезными биологическими функциями и получении очищенных гидролизатов. Кроме того, имеются промышленные приложения, включающие производство удобрений, биологического топлива (биогаза), активированных углей, клея и композитов. Переработка арахисового жмыха помогает минимизировать отходы масложирового производства и создает альтернативный источник доступного белка для местных рынков продовольствия и промышленников. Однако процесс сопряжен с экономическими затратами на подготовку и очистку материала, необходимость контролировать безопасность конечного продукта также увеличивает стоимость. В связи с этим необходимы дальнейшие исследования для совершенствования способов детоксикации, устранения антипитательных факторов и аллергенов, оптимизации процедур очищения от микотоксинов, разработки эффективных технологий выделения и модификации белков, анализа экономических выгод и оценки воздействия на окружающую среду произведенной продукции.

Использование вышеуказанных шротов и жмыхов в качестве кормовой добавки в животноводстве обосновано и с точки зрения экономической целесообразности. Проигрывая в содержании белка и питательности добавкам животного происхождения, таким как мясокостная мука, рыбная мука, отходы дрожжевого производства, а также соевому шроту и жмыху, продукты переработки подсолнечника, рапса и льна имеют при этом низкую стоимость, причём разница в цене может быть колоссальной.

Анализируя все вышеописанное, можно сделать вывод, что отходы переработки растительного сырья, а именно жмыхи и шроты являются богатым источником белков и могут подходить не только для животных кормов, но и для

создания функционального питания человека.

## 2. Материалы и методы исследования

### 2.1. Объект исследования

В качестве объектов исследования выступают жмыхи и изоляты их белков. Мы использовали следующие виды жмыхов: подсолнечный, гороховый, арахисовый. Данные виды жмыхов являются коммерчески доступными.

### 2.2. Предмет исследования

Предметом исследования является комплексное изучение влияния вида растительного сырья и степени его обезжиренности на выход, белковый состав и физико-химические свойства получаемых изолятов.

#### 2.3.1 Предварительное обезжиривание жмыхов

Проанализировав литературу по обезжириванию материалов выбрали методику для обезжиривания жмыхов [12, С.311] (Приложение 1, Рис.2):

- Обезжиривание сырья: жмыхи заливаются петролейным эфиром в соотношении 1:2 и обрабатываются в течение 1 часа;
- Фильтрация: после обработки петролейным эфиром сырьё фильтруется
- Сушка: Отфильтрованные жмыхи высушиваются при комнатной температуре 24 часа

#### 2.3.2. Получение изолята растительного белка из жмыха

Проанализировав литературу по получению изолята растительного белка [12, С. 312-313] мы остановились на следующем способе, состоящем из следующих этапов:

- Экстракция белковых веществ: сырьё (жмых) обрабатывается раствором NaOH (0,1 М) в соотношении 1:10-20 при температуре 60°C в течение 1 часа;
- Очистка: фильтрация полученной суспензии через ватно-марлевый фильтр и последующее центрифугирование в течение 5 минут при 4000 об/мин. Твердая часть отбрасывается, работаем с жидкой частью;
- Осаждение белка: осаждение проводится обработкой жидкой части раствором HCl (10%) до достижения pH 4,1-4,5 с образованием творожистой массы;
- Отделение белка: центрифугирование в течение 5 минут при 4000 об/мин. Жидкая часть отбрасывается, работаем с твердой частью;
- Промывка водой;
- Центрифугирование в течение 5 минут при 4000 об/мин;

- Нейтрализация полученной суспензии 5%-ным раствором NaOH до исходного pH=6,8;
- Сушка (при комнатной температуре в течение нескольких суток).

#### *2.4.1 Органолептические и физико-химические методы исследования полученных изолятов*

Для исследования свойств полученных изолятов использовались следующие методы:

- Органолептический метод: оценивался цвет, запах и внешний вид полученных образцов;
- Количественное определение содержания белка методом Кьельдаля [13];
- Количественное определение содержания жира методом Сокслета [14];
- Пенообразующая способность растительных белков [15];
- ИК-Фурье-спектроскопия

#### *2.4.2. Количественное определение содержания белка методом Кьельдаля.*

Данный анализ выполнялся на автоматической установке ЛК-500 для отгонки по Кьельдалю (АО "ЛОИП", г. Санкт-Петербург) (Рис.4., Приложение 1).

В чистую сухую колбу Кьельдаля помещали 0,2 г жмыха и 0,4 г полученных изолятов, взвешенных с погрешностью не более 0,001 г.

Минерализацию осуществляли в вытяжном шкафу с помощью следующим способом:

- добавляли в колбу Кьельдаля катализатора (несколько кристаллов  $\text{CuSO}_4$ ). После прибавления катализатора осторожно приливали 10-12 см<sup>3</sup> концентрированной серной.

Содержимое колбы Кьельдаля тщательно перемешивали легкими круговыми движениями, обеспечивая полное смачивание навески. Колбу устанавливали на нагреватель.

После того как жидкость обесцветилась (допускался слегка зеленоватый оттенок), нагрев продолжали в течение 30 мин. Далее отгонную колбу присоединяли к аппарату для отгонки аммиака и осторожно приливали в колбу с минерализатором раствор гидроксида натрия с массовой долей 33 %.

Раствор в отгонной колбе нагревали в анализаторе так, чтобы обеспечить равномерное кипение. Отгонка проводилась водяным паром. Чтобы исключить выделение аммиака, вода в парообразователе должна быть подкислена серной кислотой.

В начале отгонки аммиака цвет раствора в приемной колбе меняется на зеленый. При нормальном кипении объем раствора в приемной колбе через 15

мин обычно составляет 150-200 см<sup>3</sup>. Конец отгонки можно установить с помощью индикаторной бумажки (рН нейтральное).

Далее аммиак титровали из бюретки раствором серной кислоты (0,05 моль/л) до перехода окраски индикатора метилового красного из красного цвета в желтый. Одновременно с проведением испытания испытуемой пробы проводят контрольный опыт на загрязнение воды и реактивов аммиаком, исключая взятие навески образца.

Массовую долю азота в испытуемой пробе  $X$ , %, при проведении отгонки аммиака в серную кислоту вычисляют по формуле:

$$X = \frac{(V_1 - V_0) \cdot K \cdot 0,0014 \cdot 100}{m}, \text{ где}$$

$V_1$  — объем раствора гидроокиси натрия молярной концентрации  $c$  (NaOH) = 0,1 моль/дм<sup>3</sup>, израсходованный на титрование в контрольном опыте, см<sup>3</sup>;

$V_0$  — объем раствора гидроокиси натрия молярной концентрации  $c$  (NaOH) = 0,1 моль/дм<sup>3</sup>, израсходованный на титрование испытуемого раствора, см<sup>3</sup>;

$K$  — поправка к титру раствора гидроокиси натрия молярной концентрации  $c$  (NaOH) = 0,1 моль/дм<sup>3</sup>;

0,0014 — масса азота, эквивалентная массе серной кислоты, содержащейся в 1 см<sup>3</sup> раствора молярной концентрации  $c$  ( $1/2 \text{ H}_2\text{SO}_4$ ) = 0,05 моль/дм<sup>3</sup>, г/см<sup>3</sup>.

#### 2.4.3. Количественное определение содержания жира методом Сокслета

В патрон из фильтрованной бумаги отвешивали 10,0 г жмыхов. Сверху клали кусочек обезжиренной ваты. Затем обезвоженный продукт переносили в патрон. Приготовленный таким образом патрон помещали в экстрактор аппарата Сокслета так, чтобы он не был выше верхнего изгиба сифонной трубки. Колбу наполняли примерно на  $2/3$  объема эфиром и присоединяли к экстрактору. Пускали воду в холодильник, и колбу с эфиром нагревали на водяной бане. При этом эфир, находящийся в колбе, испаряется и в виде пара проходит через широкую трубку экстрактора в холодильник, где охлаждается и в виде капель поступает в экстрактор с патроном. При заполнении экстрактора эфиром до верхнего изгиба сифонной трубки последний переливается в колбу, унося с собой жир. В течение 1 ч должно было 7—9 сливов эфира. Экстракция длилась 8 ч. По окончании отгонки эфира отсоединяют экстрактор, колбу выдерживают на бане до испарения растворителя. Затем в колбу с жиром добавляют 2 см<sup>3</sup> ацетона и растворитель вновь упаривают. После испарения растворителя колбу помещают в сушильный шкаф и высушивают при температуре 105 °С в течение 1 ч, охлаждают в эксикаторе и взвешивают. Последующее взвешивание проводят после повторной сушки в течение 30 мин. Высушивание и взвешивание повторяют до тех пор, пока разность двух последовательных взвешиваний будет не более 0,001 г.

Массовую долю сырого жира  $X$ , %, вычисляют по формуле:

$$X = \frac{(m_2 - m_1) \cdot 100}{m}, \text{ где}$$

$m_2$  — масса колбы с сырым жиром, г;  
 $m_1$  — масса пустой колбы, г;  
 100 — коэффициент пересчета в проценты;  
 $m$  — масса пробы, г

### 2.2.3. Пенообразующая способность растительных белков.

Пенообразующая способность полученных образцов изолятов определялась по методике [15, 16, С.3-5].

Готовились растворы изолятов концентрацией 1% объемом 50 мл. Далее с помощью ультразвукового гомогенизатора Hielscher Ultrasonics UP200St (2018 г., Германия) растворы перемешивались в течении 1 минуты. С помощью цилиндров фиксировался объем образовавшейся пены.

Пенообразующую способность (П) в процентах вычисляли по формуле:

$$П = \frac{V_0 \cdot 100}{V_p}$$

где  $V_0$  — объем образовавшейся пены,  $см^3$ ;  $V_p$  — исходный объем раствора,  $см^3$ .

### 2.4.4. ИК-спектроскопический анализ изолятов растительного белка

Инфракрасное излучение, проходя через вещество, вызывает колебания молекул или их частей. В результате интенсивность прошедшего излучения снижается, однако это происходит не на всех длинах волн, а только там, где энергии соответствуют энергиям возбужденных колебаний молекул. Таким образом, длины волн (или частоты), при которых наблюдается наибольшее поглощение ИК-излучения, указывают на наличие определенных функциональных групп и структурных элементов в исследуемых молекулах. Этот принцип активно применяется в химической практике для определения строения веществ

ИК-спектроскопия позволяет идентифицировать различные функциональные группы в органических молекулах:- Алкены и алкины: наличие двойных и тройных связей ( $\sim 1600-2100 \text{ см}^{-1}$ ).- Ограниченные связи (C=O): карбонильные группы, присутствующие в кетонах, альдегидах, амидах и карбоновых кислотах ( $\sim 1700-1750 \text{ см}^{-1}$ ).- Гидроксильные группы (-ОН): характерные для спиртов и фенолов, обычно имеют широкий пик в области  $3200-3600 \text{ см}^{-1}$ .- Аминогруппы (-NH): в аминокислотах и аминах (широкие пики в области  $3300-3500 \text{ см}^{-1}$ ).

- Белки: позволяет изучать аминокислотные остатки и структуру белков через специфические пики, связанные с колебаниями пептидной связи.- Нуклеиновые кислоты (ДНК и РНК): используются для анализа конформации и взаимодействий, таких как гибридизация.- Липиды: анализ свободных и связанных жирных кислот, фосфолипидов и триглицеридов. [17]

Использование инфракрасной (ИК) спектроскопии для исследования изолята растительного белка имеет несколько важных оснований, связанных с его уникальными преимуществами и возможностями. Вот основные аспекты, которые обосновывают применение этого метода:

### 1. Идентификация функциональных групп

ИК-спектроскопия позволяет выявлять различные функциональные группы в молекулах и определять их наличие в изоляте растительного белка:

- Быстрое определение аминокислотных структур и характерных групп (например,  $-\text{NH}$ ,  $-\text{CO}$ ,  $-\text{OH}$ ) в белках.

- Выявление связанных водородов и определение состояния аминогрупп, что может быть полезно для понимания взаимодействий и стабильности белка.

### 2. Анализ вторичной и третичной структуры

ИК-спектроскопия используется для изучения конформационных изменений в белках:

- Учитывая, что разные фолдинговые структуры белков ( $\alpha$ -спирали,  $\beta$ -структуры и произвольные петли) имеют специфические спектры поглощения в области ИК, можно получить информацию о вторичной и третичной структуре белка.

- Определение изменений в структуре белка в результате модификаций или обработки (например, при денатурации или взаимодействии с лигандами).

### 3. Оценка чистоты и состав смеси

- В ИК-спектрах можно легко обнаружить загрязнители или примеси, что позволяет оценить чистоту препарата. Например, наличие углеводов, фенольных соединений или других компонентов растительного материала может быть выявлено благодаря характерным спектрам поглощения.

- Изучение поглощения на разных длинах волн позволяет выявить взаимодействия между белком и другими молекулами, такими как полисахариды или флавоноиды, что может иметь значение для функциональных свойств изолята.

Таким образом, ИК-спектроскопия представляет собой мощный инструмент для исследования изолятов растительного белка. Этот метод предоставляет ценную информацию о структуре, составе и свойствах белков, что может быть особенно полезно в таких областях, как пищевая наука, фармацевтика и биотехнология.

ИК-спектры записаны на ИК-Фурье-спектрофотометре ФСМ-2202 (Россия, г. Санкт-Петербург, 2022 г.) в области 4000-400 см<sup>-1</sup> (при помощи приставки нарушенного полного внутреннего отражения НПВО-Алмаз) в Научно-исследовательской лаборатории «Химия и технология морских биоресурсов» Мурманского Арктического университета.

## 3. Результаты и обсуждения

Полученные образцы изолятов представляли собой аморфные порошки от коричневого до бежевого цветов с запахами растительных масел. Выход образцов изолятов в пересчете на абсолютно сухое вещество составил 92,1 % из необезжиренного, 95,3 % из обезжиренного подсолнечного жмыха; 90,5 % из необезжиренного, 98,3% из обезжиренного арахисового жмыха и 88,5% из необезжиренного, 95,2 % из обезжиренного горохового жмыха. Результаты

органолептического анализа полученных образцов изолята представлены в Таблице 3 и на Рис.3 (Приложение 1).

Таблица 3 - Физико-химические и органолептические свойства образцов жмыха и изолятов растительного белка

Вид анализа	Растительный изолят белка из подсолнечника	Растительный изолят белка из арахиса	Растительный изолят белка из гороха
Цвет	коричневый	песочный	бежевый
Запах	Подсолнечное масло	Растительное масло	Растительн ое масло
Содержание белка в жмыхе, %, асв	6,0	26,1	14,3
Содержание белка в изоляте из СЖ, %, асв	24,4	52,2	43,7
Содержание белка в изоляте из ОЖ, %, асв	25,0	62,1	46,5
Содержание жира в жмыхе, %, асв	2,4	16,0	6,0
Пенообразующая способность, П, СЖ %	56,0	66,0	80,0
Пенообразующая способность, П, ОЖ %	-	40,0	20,0
<b>Выход изолята из СЖ, %, асв</b>	92,1	90,5	88,5
<b>Выход изолята из ОЖ, %, асв</b>	95,3	98,3	95,2

При количественном определении содержания белка методом Къельдаля были получены следующие результаты: процентное содержание чистого белка в изоляте из обезжиренного арахисового жмыха 26,0%, обезжиренного горохового жмыха - 14,3 %, из обезжиренного подсолнечного жмыха - 5,9%. По результатам исследования можно сделать вывод, что в изоляте из арахиса процент белка почти в два раза больше, чем в гороховом жмыхе. Однако оба этих значения далеки от стандартного содержания белка в растительном изоляте – 90-95% [18,19].

Анализ пенообразующей способности полученных изолятов показал, что данный параметр у изолята из необезжиренного и обезжиренного арахисового жмыха составил 66% и 40% соответственно, из горохового необезжиренного

жмыха 80%, обезжиренного 20% и из подсолнечного необезжиренного жмыха 40%. Необходимо отметить, что определение пенообразующей способности изолята из обезжиренного подсолнечного жмыха оказалось невозможным вследствие его недостаточной растворимости в водной среде [20, С. 535].

Полученные данные свидетельствуют о существенном негативном влиянии процесса обезжиривания на функциональные свойства белковых изолятов. Особенно выраженное снижение показателя пенообразования с 80% до 20% у горохового изолята, а также полная утрата функциональности подсолнечного изолята после обезжиривания позволяют предположить наличие значительных денатурационных изменений в белковой структуре. Наилучшие функциональные характеристики продемонстрировал изолят из необезжиренного горохового жмыха, что обусловлено, вероятно, сохранением нативной конформации белковых молекул и их высокой поверхностной активностью [20, С.536-538 ].

Анализ ИК-спектра изолятов показал, что минимум пропускания полосы исследуемого образца соответствует от 3330 до 3138  $\text{см}^{-1}$  (колебания связей ОН групп) у изолятов, полученного из сырых жмыхов; наблюдаемая в спектрах полоса в области 2850–3000  $\text{см}^{-1}$  соответствует валентным колебаниям С–Н связей в метильных (-CH<sub>3</sub>) и метиленовых (-CH<sub>2</sub>-) группах, характерным для углеводородных фрагментов молекул; от 3649 до 3130  $\text{см}^{-1}$  - из обезжиренных жмыхов. Другие основные полосы в спектре образца изолятов – это характеристическое поглощение при 1643, 1632 и 1633  $\text{см}^{-1}$  (колебания СО групп), 1538, 1531 и 1518  $\text{см}^{-1}$  (соответствует первичным и вторичным аминам). У гороховых изолятов также были обнаружены минимум пропускания от 1130 до 1066  $\text{см}^{-1}$  , что может говорить о колебаниях СО групп (есть две полосы: полоса антисимметрического колебания с более высокой частотой и полоса симметрического колебания с меньшей частотой).(Рис. 5 Приложение 1) [21].

#### 4. Выводы

Нами была определена методика получения изолята на основе экстракции белков раствором гидроксида натрия и дальнейшего осаждения белков соляной кислотой. Выход продукта из необезжиренного подсолнечного жмыха составил 92,1%, в то время как из обезжиренного подсолнечного жмыха этот показатель достиг 95,3%. Для арахисового жмыха выход изолята из необезжиренного сырья составил 90,5%, тогда как из обезжиренного арахисового жмыха было получено 98,3% изолята. В случае горохового жмыха выход из необезжиренного сырья составил 88,5%, а из обезжиренного - 95,2%. Полученные данные демонстрируют четкую закономерность увеличения выхода белка при переходе от необезжиренных форм сырья к обезжиренным. Максимальный показатель эффективности экстракции зафиксирован для обезжиренного арахисового жмыха, где выход изолята достиг 98,3%. Наименьшие значения выхода характерны для необезжиренных форм исследуемых жмыхов, особенно для горохового жмыха с показателем 88,5%.

Органолептические и физико-химические исследования показали, что содержание белка в изоляте из подсолнечника (25,0%) превышает аналогичный показатель горохового изолята (46,5%) при сравнении обезжиренных образцов, однако существенно уступает арахисовому изоляту (62,1%). Пенообразующая способность изолята из необезжиренного горохового жмыха (80,0%) значительно превосходит показатели подсолнечного (56,0%) и арахисового (66,0%) аналогов. Наблюдается закономерное снижение пенообразующей способности при переходе к обезжиренным формам изолятов: для арахисового жмыха с 66,0% до 40,0%, для горохового - с 80,0% до 20,0%. Выход изолята из обезжиренного сырья демонстрирует рост по сравнению с необезжиренными формами для всех видов жмыхов, достигая максимальных значений для арахисового жмыха (98,3%). Полученные данные свидетельствуют о существенном влиянии вида растительного сырья и степени его липидной экстракции на функционально-технологические свойства белковых изолятов, что может быть связано с особенностями белкового комплекса и степенью сохранения нативной структуры белков в процессе обработки. ИК-спектроскопия полученных образцов изолята имеет характерный вид ик-спектров белков и их производных, что согласуется с литературными данными.

## 5. Заключение

В результате нашего исследования были получены изоляты из растительных жмыхов с выходом от 88,5% до 98,3%. Физико-химические исследования полученных изолятов продемонстрировали комплексную зависимость функциональных свойств от вида сырья и степени его обработки. Наибольшей пенообразующей способностью характеризовался изолят из необезжиренного горохового жмыха - 80,0%, тогда как после обезжиривания этот показатель значительно снижался до 20,0%. Содержание белка в изолятах варьировалось от 24,4% до 62,1%, причем максимальные значения отмечались в обезжиренных образцах.

Была установлена четкая закономерность: процесс обезжиривания способствовал увеличению выхода изолята для всех видов жмыхов, достигая максимума для арахисового жмыха - 98,3%. Однако одновременно наблюдалось существенное снижение пенообразующей способности, что свидетельствует о комплексном влиянии липидной экстракции на функциональные свойства белков.

ИК-спектроскопическое исследование подтвердило наличие типичных спектральных признаков белков, что соответствует ранее опубликованным данным литературы.

Полученные данные подтверждают перспективность использования растительных жмыхов в качестве источника функциональных белковых ингредиентов. Несмотря на то, что содержание белка в исследуемых изолятах не достигает уровня концентратов и изолятов, полученных из основного сырья, разработанная методика позволяет эффективно утилизировать отходы пищевого производства и получать дополнительные источники белка с заданными

функциональными свойствами для различных отраслей пищевой промышленности.

### Благодарность

Выражаем большую благодарность за помощь в проведении химического анализа и ИК-спектроскопии сотрудникам Научно-исследовательской лаборатории «Химия и технология морских биоресурсов» Мурманского Арктического университета, Колотовой Дарье Сергеевны, к.х.н и руководителю лаборатории; Глухареву Андрею Юрьевичу, младшему научному сотруднику; Кучиной Юлии Анатольевне, к.т.н., старшему научному сотруднику. А также сотрудникам Кафедры пищевых технологий Мурманского Арктического Университета.

### Список литературы

1. 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. 58.
2. Михнева Л. С., Хорева М. И. Применение растительных белков в пищевой промышленности //ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ: ПОТЕНЦИАЛ НАУКИ И СОВРЕМЕННОГО ОБРАЗОВАНИЯ. – 2018. – С. 18-21.
3. Растительный белок [Текст]: Пер. с фр. В.Г. Долгополова; Под ред. Т.П. Микулович. – М.: Агропромиздат,1991. – 684 с. – ISBN 5-10-001276-5.
4. Шевцова Т. В. Изучение качественных показателей продуктов переработки семян подсолнечника и рапса //Наука и молодежь. – 2022. – С. 297-300.
5. Sim S. Y. J. et al. Plant proteins for future foods: A roadmap //Foods. – 2021. – Т. 10. – №. 8. – С. 1967.
6. Пахомова О. Н. Перспективность использования жмыхов и шротов масличных культур для повышения пищевой и биологической ценности продуктов питания //Научные записки ОрелГИЭТ. – 2011. – №. 2. – С. 377-381.
7. Пахомова О. Н. Разработка и использование функционального пищевого обогатителя из жмыха рапсового: дис. – Государственный университет-учебно-научно-производственный комплекс, 2014.
8. Виноградов Д.В. Экспериментальное обоснование технологии выращивания льна масличного сорта Санлин / Д.В. Виноградов, А.В. Поляков, А.А. Кунцевич // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2013. – № 2(18). – С. 7- 12.
9. Мониторинг цен на жмых, шрот - URL: <https://agro-bursa.ru/prices/zhmyh-shrot/> (дата обращения 10.02.2023).

- 10.Виноградов Д. В. Перспективы и основные направления развития производства масличных культур в Рязанской области / Д.В. Виноградов, П.Н. Ванюшин // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2012. – № 1(13). – С. 62- 65.
- 11.Сазонкин К.Д. Химический состав шротов и жмыхов масличных культур/ К.Д. Сазонкин, Е.И. Лупова, Д.В. Виноградов // Сб.: Теоретический и практический потенциал в АПК, лесном хозяйства и сфере гостеприимства: Мат. Нац. науч.-практ. конф. - Рязань: РГАТУ, 2021. - С. 116-120.
- 12.Брошко Д. В., Лушников М. С. Влияние обезжиривания на выход белка из рапсового и рыжикового жмыхов //Иновационные тенденции развития российской науки. – 2020. – С. 310-314.
- 13.ГОСТ 13496.4-2019.Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения азота и сырого протеина.
- 14.ГОСТ 13496.15-97. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания сырого жира.
- 15.Куцова А. Е. и др. Способ получения пены для пищевых продуктов. – 2019.
- 16.Брескин К. А., Розанова Е. Н., Жмыхов В. М. Изучение пенообразующих свойств белковых пенообразователей на основе гидролизатов кератинсодержащего сырья, полученных с использованием гидроксида натрия //Auditorium. – 2022. – №. 4 (36). – С. 1-6.
- 17.Тарасевич Б. Н. ИК спектры основных классов органических соединений. – 2012.
- 18.Безверхая Н. С., Ильчишина Н. В. СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ МОДИФИЦИРОВАННОГО БЕЛКОВОГО ИЗОЛЯТА ИЗ ПОДСОЛНЕЧНОГО ЖМЫХА. – 2013.
- 19.ЩЕРБАКОВ В. Г. и др. Способ получения изолята белка из шрота семян подсолнечника. – 1991.
- 20.Куличенко, А. И. Исследования влияния технологических параметров на свойства белковых продуктов, полученных из зерна пшеницы, для включения в рецептуры продуктов питания / А. И. Куличенко, С. В. Куличенко, Т. В. Мамченко. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2012. — № 11 (46). — С. 535-538.
- 21.Silverstein, R. M. Spectrometric identification of organic compounds / R. M. Silverstein, F. X. Webster, D. J. Kiemle – 7-th ed. – New York : John Wiley & Sons, Inc., 2005. – 532 p.

## Приложение 1

Таблица 1 - Химический состав жмыхов и шротов масличных культур сибирской селекции

Показатель	Наименование жмыха				
	Подсолнечный	Рапсовый	Сурепный	Льняной	Рыжиковый
Сырой протеин, г	34,38	35,16	34,58	37,14	37,21
Перевариваемый протеин, г	31,6	29,5	28,7	31,9	30,9
Сырой жир, г	18,57	14,88	19,68	15,64	14,27
Сырая клетчатка, г	14,94	8,5	6,3	5,7	9,2
Сырая зола, г	4,6	5,8	5,9	5,4	6,2
Макроэлементы:					
Кальций, г	0,34	0,65	0,6	0,33	0,35
Фосфор, г	0,63	0,84	0,9	0,84	0,77
Калий, г	0,91	1,09	0,98	1,37	1,14
Натрий, г	0,02	0,02	0,02	0,07	
Микроэлементы:					
Железо, мг	8,49	13,3	14,4	18,2	32,9
Медь, мг	2,08	0,53	0,53	1,19	0,85
Цинк, мг	5,66	4,03	5,74	6,57	5,12
Марганец, мг	1,7	3,46	3,06	2,66	2,27



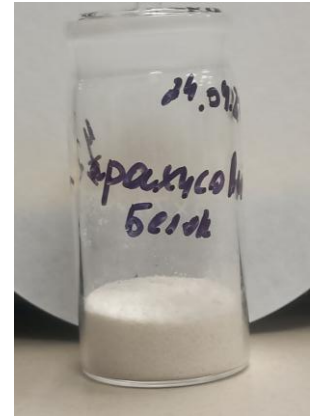
Рис. 2. Процесс обезжиривания образцов жмыха с помощью петролейного эфира (подсолнечник, арахис, горох)



Изолят из жмыха  
подсолнечника



Изолят из жмыха  
гороха



Изолят из жмыха  
арахиса

Рис.3. Полученные образцы изолята



Рис.4. Процесс определения количественного содержания белка методом  
Кьельдаля.

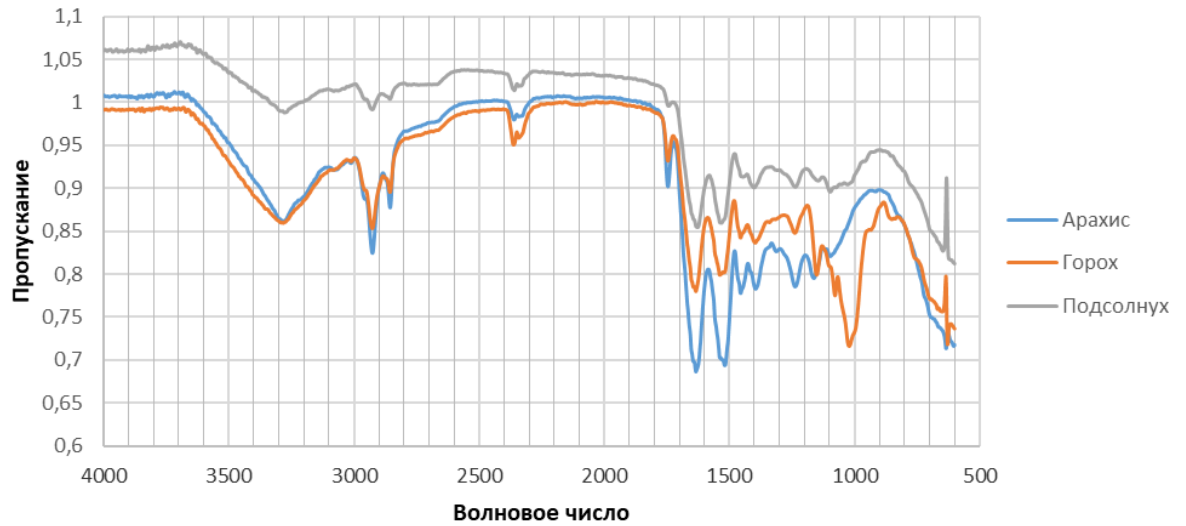
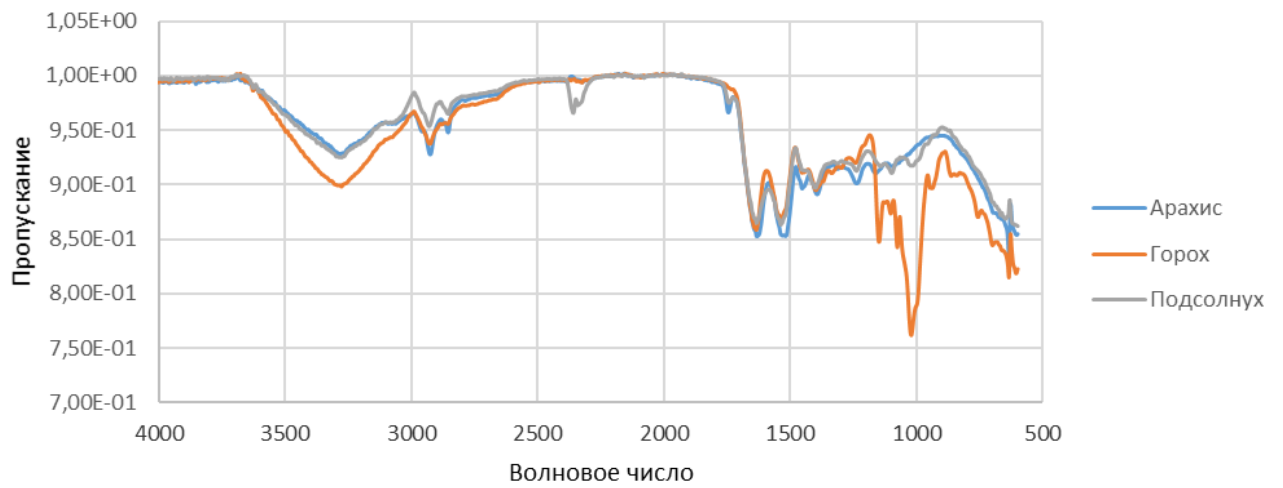
**ИК-спектры образцов необезжиренного изолята****ИК-спектры образцов обезжиренного изолята**

Рис.5. ИК-спектры образцов изолята растительного белка