

## АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА СТЕПЕНЬ УДАЛЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ

*А.Ф. Мирончик*

Приведены сведения о влиянии ряда технологических факторов обработки мышечной ткани на снижение содержания в ней радиоактивных веществ при максимально возможном сохранении пищевой ценности готовой продукции.

### Введение

При авариях на радиационно опасных объектах, к которым относятся, в первую очередь, атомные электростанции, основной задачей является обеспечение безопасности населения, проживающего на территориях, находящихся в зонах радиоактивного загрязнения. Радиоактивное загрязнение природной среды долгоживущими радионуклидами после катастрофы на Чернобыльской АЭС носит глобальный характер, но наибольшему загрязнению подверглась территория Беларуси. Радиоактивное загрязнение территории и продуктов питания дает существенный вклад в величину дозы облучения населения.

Накопленные в начальный период после Чернобыльской катастрофы на холодильниках мясокомбинатов и Госрезерва тысячи тонн загрязненного радиоактивными веществами мяса привели к необходимости разработки технологий, позволяющих использовать подобное сырье для производства качественных продуктов питания. Предложенный учеными России в первые месяцы после катастрофы на ЧАЭС метод разбавления загрязненного сырья условно чистым не приводил к снижению коллективной дозы облучения населения.

Учитывая продолжающееся производство загрязненного мяса, особенно в частном секторе, а также имеющий место законный и браконьерский отстрел диких животных, актуальность данного исследования сохраняется и ныне. Этому способствует и существующая вероятность возникновения в будущем аварийных ситуаций на ядерно-энергетических комплексах, а как известно, ни одно государство в мире не застраховано от трансграничных переносов радиоактивных выбросов.

### Результаты исследований и их обсуждение

Мышечная ткань на каждом этапе технологической обработки представляет собой сложную многофазную физико-химическую систему, характеризующуюся неравномерным распределением радионуклидов и питательных веществ. Поэтому особый интерес вызывает направленное воздействие различных параметров обработки на характер перераспределения радионуклидов при технологической переработке загрязненного мяса. Исследования проводили с жилованной охлажденной и дефростированной мышечной тканью (говядина I и II категории), загрязненной  $^{137}\text{Cs}$  до 33,3 кБк/кг. Мясо измельчали вручную или на мясорубке (в зависимости от требуемых размеров). Для каждого опыта использовали от 0,6 до 2 кг продукта. Необходимое соотношение разбавления достигали добавлением промывающего раствора в перемешивающую емкость. Конструкция узла лабораторной установки позволяла варьировать скоростью перемешивания – 0, 1, 2 и 3 с<sup>-1</sup>. Продолжительность перемешивания фиксировали секундомером, температуру сырья, воды и раствора – термометрами со шкалой деления 0,1°C. Каждый лабораторный эксперимент включал в себя 4-5 этапов очистки образца и 2-3-кратную повторность измерений. Если после перемешивания по условиям эксперимента предусматривался отжим, то его осуществляли через лавсановую ткань с постоянным по времени усилием в 49 или 98 Н. При проведении экспериментов без отжима промывной раствор сливали самотеком.

Удельную активность образцов измеряли на полупроводниковом спектрометре гамма-излучения фирмы «Ortec» (предел чувствительности 2,2 Бк/кг при массе пробы 0,4 кг, ошиб-

ка измерения не более 30 %), программном управляемом комплексе технических средств контроля загрязнения внешней среды с детектором БДЭГ-13П (предел чувствительности 18,5 Бк/кг при массе пробы 0,5 кг, ошибка измерения не более 10 %), при промышленных испытаниях – на спектрометре «Robotron – 20050» и на многоканальном анализаторе импульсов АИ 1024-95-17. Статистическая обработка результатов экспериментов проведена проверкой нулевой гипотезы (критерий Фишера) [1]. Для контроля качества мяса были использованы следующие методы и приборы: для определения общего азота – метод Кьельдаля; для определения содержания жира – метод Сокслета; для определения содержания влаги – метод высушивания; для определения аминокислотного состава – аминокислотный анализатор ААА-881; для определения микро- и макроэлементов – пламенный фотометр ПФМ; для определения водородных ионов (рН) – иономер универсальный ЭВ-74; для определения водосвязывающей способности – пресс-метод по Грау и Хамму в модификации ВНИИМП.

В ходе лабораторных исследований было проверено влияние химического состава и температуры промывающего раствора, измельчения, разбавления, условий замораживания и сроков хранения мясного сырья, продолжительности и скорости перемешивания массы на снижение концентрации радиоактивных веществ в мышечной ткани с одновременным контролем ряда показателей качества, таких как содержание белков, жира, влаги, микро- и макроэлементов, аминокислотный состав, кислотность и влагоудерживающая способность.

Для определения состава наиболее действенного раствора для снижения концентрации радиоактивных веществ в мясном сырье был использован ряд добавок к водопроводной воде. Опыты проводились с 1, 2, 5, 3, 12 и 24 %-ми растворами поваренной соли, 3 %-ми растворами лимоннокислого натрия, хлористого кальция, питьевой соды и 0,0125 %-м раствором марганцевокислого калия, т.е. с теми добавками, использование которых в ограниченном количестве не снижает пищевой ценности мясной продукции [2]. Несмотря на различие химического состава промывающего раствора (рисунок 1), можно с уверенностью утверждать, что существенного преимущества в количестве выведенных радионуклидов из мяса при прочих равных условиях ни одна из проверенных добавок по сравнению с водопроводной водой не дает. Это, на наш взгляд, подтверждает факт нахождения  $^{137}\text{Cs}$  в мышечной ткани преимущественно в несвязанной ионной форме, химически неактивной по отношению к использованным растворам.

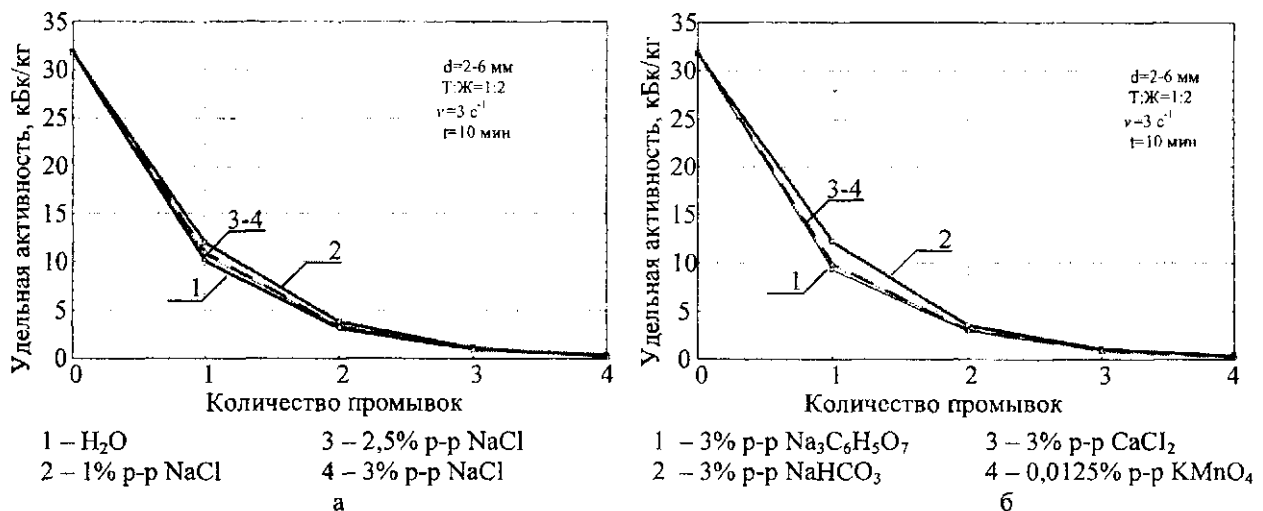


Рисунок 1 – Зависимость выведения  $^{137}\text{Cs}$  из мяса от химического состава промывающего раствора

Необходимо отметить, что при промывке мяса растворами поваренной соли, лимоннокислого натрия и питьевой соды значительно возрастает его влагосвязывающая способность, что затрудняет отжим смеси после перемешивания. Объяснение этому видится в аналогии с совокупностью различных по своей природе процессов, происходящих при мокром посоле мяса: массообмена (накопление в мясе в необходимых количествах посолочных веществ и их равномерное распределение по объему продукта, а также частичную потерю водосолеу-

творимых веществ мяса в окружающую среду); изменения белковых компонентов мяса; изменения массы; изменения влажности и влагосвязывающей способности мяса; изменения микроструктуры мышечной ткани в связи со специфическим развитием ферментативных процессов в присутствии посолочных веществ и из-за механических воздействий, а также некоторых других. Воздействия, ведущие к увеличению проницаемости ткани (например, механические или замораживание-размораживание), обуславливают более быстрое и равномерное распределение в ней добавок. Термодиффузионный процесс, который протекает при промывке охлажденного мяса в более теплом промывающем растворе, ускоряет процесс проникновения добавок вследствие совпадения направления теплового потока с направлением диффузионного потока. Диффузионный процесс проникновения добавок в мясо интенсифицирует также и механическое воздействие на систему, такое, например, как перемешивание, вызывающее перемещение раствора и мышечной ткани и направленное на более равномерное распределение добавки по объему продукта.

При процессе выведения  $^{137}\text{Cs}$  из мышечной ткани путем промывки раствором с добавкой (одновременно с ее перераспределением) перераспределяется и вода, что сопровождается изменением влажности и влагосвязывающей способности мяса. Влагосвязывающая способность мяса перед промывкой раствором с добавкой определяется его морфологическим и химическим составом, исходными свойствами с учетом кислотности (рН), степенью автолиза, видом холодильной обработки, режимом и характером предварительной механической обработки, ферментированием и др. [3].

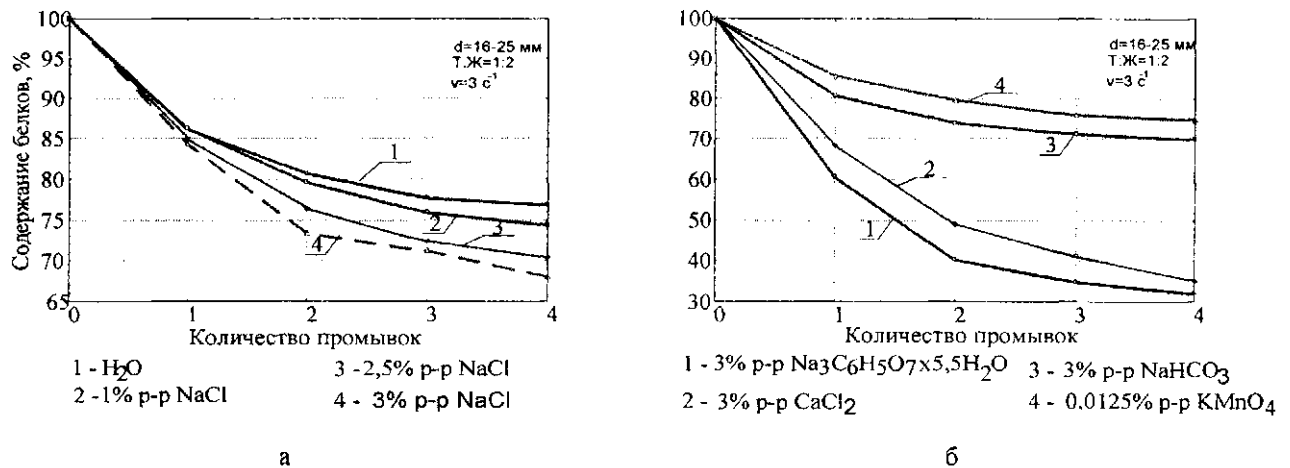
В процессе обработки мяса раствором соли в нем изменяются все формы связи воды. Хлорид натрия, взаимодействуя с мышечными белками, повышает количество адсорбционно-связанной влаги в результате увеличения заряда белка. Количество адсорбционно-связанной влаги выше при более высоком рН сырья и более быстром достижении контакта добавки промывающего раствора с белками. В начале процесса осмотическое давление раствора при концентрации в нем соли более 24 % выше осмотического давления тканевой жидкости, что обуславливает обезвоживание ткани. По мере развития диффузионного накопления добавки в мясе, а также низкомолекулярных продуктов распада мышечной ткани, осмотическое давление в ней растет, а в растворе, наоборот, снижается, что и обеспечивает повышение водосвязывающей способности мяса и постепенный переход от фазы начального обезвоживания к фазе оводнения. При промывке мяса в условиях механического воздействия количество капиллярно-связанной влаги растет более интенсивно. Это определяется более выраженными микроразрывами мышечной ткани с образованием значительного количества микропор.

Подводя итог по данному этапу исследования, необходимо отметить, что присутствие в промывающем растворе таких добавок, как поваренная соль, лимоннокислый натрий, питьевая сода ведет к образованию комплекса белок-добавка, осмотическое давление которого выше давления внешнего раствора. Так как комплекс гипертоничен к внешнему раствору, он поглощает воду и удерживает ее. Факторами, обуславливающими способность мяса поглощать и удерживать (связывать) воду, являются высокий рН мяса (6,4–6,8), мелкое измельчение мяса, низкая температура в процессе измельчения, введение в измельченное мясо раствора с добавками низкой концентрации, а также высокое содержание в мясе соединительной ткани. В конечном результате, почти все явления, связанные с увеличением водосвязывающей способности мяса, обуславливаются знаком и величиной электростатических зарядов белков мышечной ткани [4].

Биохимические исследования, касающиеся серии экспериментов по удалению  $^{137}\text{Cs}$  из мяса с добавлением в промывающий раствор указанных ранее химических ингредиентов показали, что, наряду с их проникновением в измельченное мясо, из последнего диффузно переходит в раствор значительно большее количество витаминов, белковых, экстрактивных и минеральных веществ по сравнению с применением только водопроводной воды.

Остановимся несколько подробнее на использовании поваренной соли. Отмечено, что количество потерь белков зависит от концентрации хлористого натрия в растворе, продол-

жительности контакта и температуры мяса. Совокупность этих факторов увеличивает общие потери питательных веществ на 10–12 % от их содержания в исходном сырье. Количество белкового азота в промывном растворе возрастает с повышением его температуры до 40°C (дальнейшее повышение температуры невозможно в связи с наступающей денатурацией белков в тканях). Величина потерь обусловлена переходом в раствор белков, заполняющих кровеносную систему, и белков из разрушенных в результате механического воздействия или биохимических процессов клеток (рисунок 2).



**Рисунок 2 – Влияние химического состава промывающего раствора на вымывание белков из мышечной ткани**

Согласно полученным результатам исследований можно утверждать, что при невысокой концентрации соли (1–3 %) в растворе наблюдаются потери белков, превышающие на 2–9 % их потери при промывках мяса водопроводной водой. Объяснение этому видится в том, что в результате электростатических свойств функциональных групп белков ионы соли окружают эти группы и, притягивая диполи воды, увеличивают гидратацию и растворимость белков. При непродолжительной выдержке в солевом растворе белки мяса претерпевают некоторые денатурационные изменения в результате частичного разрыва внутримолекулярных связей между пептидными цепями.

Растворы соли концентрацией до 20 % в основном способствуют растворению белков саркоплазмы, т.к. при таких концентрациях соли белки не осаждаются. При промывках в раствор переходят, главным образом, миоген, миоальбумин, миоглобин. Растворимость миозина дефростированного мяса понижена, т.к. он удерживается в структуре ткани в комплексе с актином. В результате протекающих физико-химических процессов увеличивается способность мяса к набуханию. Это обусловлено не только ионизацией белков, но и повышением осмотического давления внутри мышечных волокон. Ослабляется также удержание актомиозина в структуре миофибрилл вследствие внедрения ионов соли и молекул воды. Поэтому увеличение потери белков при пользовании подсоленными растворами особенно заметно, если впоследствии для промывки используется просто вода. Отмечено, что при использовании в растворе хлористого натрия для промывок охлажденного или дефростированного мяса изменений в углеводной системе, в частности в количестве накапливающейся молочной кислоты, практически не происходит.

Помимо белков, при осуществлении удаления радиоактивных веществ из мышечной ткани промывкой с использованием химических добавок, заметно уменьшается содержание ряда минеральных элементов и витаминов. Так, например, потери калия и фосфорных соединений составляют 30–50 % от их начального содержания, количество витамина В<sub>1</sub> уменьшается на 15–25 %, фолатина – на 30–35 %, а пантотеновой кислоты – на 10–12 %. Следовательно, с точки зрения изложенного материала, использование для удаления <sup>137</sup>Cs из мяса химических добавок, проверенных в данном исследовании, нецелесообразно, т.к. это противоречит одной из поставленных задач в работе, а именно, задаче максимально возможного сохранения качества мяса после очистки. Для увеличения влагоудерживающей способности

соль может быть добавлена при посоле колбасного сырья.

В ходе экспериментов определено существенное влияние измельчения на очистку мяса. Если, например, при промывке кусочков размерами 20×20×60 мм за две промывки при разбавлении 1:2 удаляется только 65–70 %  $^{137}\text{Cs}$ , то при измельчении 2–6 мм – 85–90 %. Подобное влияние отмечено и при увеличении разбавления мышечной ткани. При указанных выше условиях процент выведения  $^{137}\text{Cs}$  составил при соотношении мышечная ткань:жидкость Т:Ж = 1:2 и измельчении 16–25 мм 70–75 %, а при Т:Ж = 1:3 – 85–90 %.

В результате пяти перемешиваний продолжительностью 10 мин каждая со скоростью вращения мешалки  $2\text{ с}^{-1}$  и соотношением Т:Ж = 1:2 в промывной раствор при измельчении 2–6 мм (фарш) переходит до 28 % белков, а при измельчении 16–25 мм (шрот) при прочих одинаковых условиях – до 26 %. Причем усматривается закономерность, характерная и для удаления  $^{137}\text{Cs}$ : на первых этапах обработки мяса разница в вымывании белков большая; с ростом количества промывок она заметно уменьшается. Эта разница составляет 6, 4, 2,5, 2,2 и 2 % соответственно после 1, 2, 3, 4 и 5 этапа промывки. В присутствии промывающего раствора (воды) диффундирование из мяса растворимых форм как радиоактивных веществ, так и питательных вызывает разность парциальных давлений внутри мышечной ткани и над ее поверхностью. Из этого следует, что процесс диффузии будет более замедлен при большем разбавлении. Механическое воздействие (перемешивание) при определенных размерах мышечной ткани позволяет достигать более интенсивного снижения в ней концентрации  $^{137}\text{Cs}$ . В мышечной ткани происходит фильтрационно-диффузионный массообмен, а в период покоя – только диффузионный. Эффект массопереноса при перемешивании возрастает дополнительно из-за возникающих при этом микроразрывов в ткани, что вызывает повышение ее проницаемости. Проведенными опытами установлено влияние фактора общего времени промывки на степень выведения радионуклидов из мышечной ткани, причем с уменьшением продолжительности этапа промывки и скорости перемешивания его значение возрастает.

Из анализа экспериментальных кривых следует, что две промывки по 2,5 мин измельченного до размеров 16–25 мм мяса при скорости перемешивания  $1\text{ с}^{-1}$  позволяют удалить лишь 60–65 %  $^{137}\text{Cs}$ , две десятиминутные промывки снижают их концентрацию на 80–84 %, а две двадцатиминутные – на 86–88 %, в то время как при скорости  $3\text{ с}^{-1}$  и прочих одинаковых условиях 70–72, 83–90 и 87–95 % соответственно.

Увеличение эффективности очистки мяса от радионуклидов при росте скорости перемешивания позволяет уменьшить продолжительность промывок. Однако необходимо учитывать возрастающее разрушение структуры мышечной ткани, а следовательно, и потерю питательных веществ при скоростях перемешивания выше  $3\text{ с}^{-1}$ . Из анализа результатов этой серии экспериментов, в частности рис. 6, следует, что за одну десятиминутную промывку со скоростью  $2\text{ с}^{-1}$  мясо теряет 12–14 % белков от общего количества. В то же время за те же 10 минут перемешивания, но со сменой воды через 5 минут – 15–18 % белков.

Область изменения температуры промывающего раствора ограничена, с одной стороны, температурой водопроводной воды 8–10°C, а с другой стороны, термолабильностью белков мышечной ткани. При повышении температуры в мясе происходят специфические физико-химические изменения, глубина которых зависит от продолжительности теплового воздействия. Наиболее характерным и основным изменением белков является их денатурация, после чего они хуже растворяются, утрачивают биологические свойства. Скорость денатурации белков мышечной ткани в растворах неодинакова. Наиболее быстро, что и являлось в условиях проводимого эксперимента определяющим, денатурирует основной белок мышц – миозин уже при температуре 40°C [5]. До этой температуры растворимость белков возрастает сравнительно мало. Проведенная серия экспериментов в указанном диапазоне температур позволяет сделать вывод о незначительном влиянии температуры промывающего раствора на уровень выведения радиоактивных веществ из измельченной мышечной ткани.

Результаты экспериментов однозначно указывают на положительное влияние замораживания мяса на эффективность промывок и, следовательно, на снижение концентрации  $^{137}\text{Cs}$  в мышечной ткани. После двух пятиминутных промывок из охлажденного мяса при прочих

одинаковых условиях выводится до 65 %  $^{137}\text{Cs}$ , из однофазно быстрозамороженного – 70 %, а при двух десятиминутных промывках – до 76 и 78 % соответственно. Необходимо отметить, что при увеличении продолжительности и количества этапов промывок разница в количестве удаленных радиоизотопов сокращается. Следовательно, процесс замораживания, приводящий к образованию структурных повреждений во внутри- и межклеточном пространстве мышечной ткани, позволяет существенно ускорить процесс выведения из нее радиоактивных веществ. Анализ материала показывает заметное влияние способа замораживания на степень удаления  $^{137}\text{Cs}$  из мяса и потерю его массы. Причем более значительно это сказывается на первых этапах промывки.

Причина такого различия видится во времени изменения состояния и форм нахождения воды в мышечной ткани. Учитывая, что гидратационная влага, содержание которой почти всегда постоянно (около 10 % от общего содержания воды) и которая при замораживании продукта не участвует в фазовых превращениях, точнее будет говорить о свободной воде, которая находится в межклеточном пространстве продукта и является растворителем минеральных веществ. При температурах ниже криоскопической она превращается в лед. По мере вымораживания свободной воды растет концентрация солей в незамерзшем межклеточном растворе, что приводит к смещению его криоскопической температуры в область более низких температур. Поскольку замораживание ведется при постоянной температуре охлаждающей среды, то с ростом толщины замороженного слоя скорость замораживания его глубинных слоев уменьшается. Изменение скорости замораживания по толщине продукта не вызывает пропорционального изменения скорости диффузионных процессов, поэтому состав и структура льда на разной глубине замороженного мяса значительно отличается друг от друга. Размер, форма и распределение кристаллов льда, образующихся в продукте при замораживании, зависят от состояния клеточных оболочек, концентрации растворенных веществ отдельных структурных образований мышечной ткани, от степени гидратации белков и других свойств мяса. Вместе с тем эти характеристики кристаллов льда зависят от условий замораживания. Быстрое снижение температуры мышечной ткани предотвращает значительное диффузное перераспределение влаги в ней и способствует образованию мелких, равномерно распределенных кристаллов льда. При замораживании мяса в жидком азоте на его поверхности отмечается возникновение множества микротрещин [3].

При медленном замораживании мяса центры кристаллизации образуются раньше в межклеточном пространстве, т.к. межклеточная жидкость имеет несколько меньшую концентрацию, а значит, более высокое значение криоскопической точки, чем внутриклеточная. Но как только они образуются, концентрация межклеточной жидкости и ее осмотическое давление возрастают. Вода диффундирует из клетки в межклеточное пространство, при этом скорость теплоотвода относительно небольшая и в межклеточном веществе образуются крупные кристаллы. В клетках кристаллы не образуются, но клетки обезвоживаются. Образование крупных кристаллов является нежелательным: своими острыми гранями они разрушают соединительные прослойки, давят на клетки, вызывая их растяжение. При этом мышечные волокна не только деформируются, но иногда и разрушаются, ткань разрыхляется. От размеров образующихся кристаллов льда зависит степень сохранения целостности естественной структуры тканей. Чем больше нарушена структура тканей при замораживании, тем больше потери мясного сока при размораживании мяса и его последующей механической обработке (обвалке, жиловке), а также при удалении радионуклидов промывкой.

Быстрое замораживание мяса приводит к образованию кристаллов льда не только в межклеточном пространстве, но и в клетках. Скорость их образования выше скорости перемещения влаги, поэтому большая часть жидкости оказывается замороженной там, где она находилась до замораживания. В этом случае характер распределения вымороженной воды мало отличается от характера распределения ее в свежем мясе.

При дефростации полного восстановления первоначальных свойств мяса не происходит. Важным показателем качества размораживания служит потеря мясного сока, в результате чего мясо обедняется не только водой, но и всеми водорастворимыми веществами. Величина

потерь мясного сока при размораживании и дальнейшей обработке зависит от гидрофильных свойств тканей и от степени разрушения их структуры. Приведенное объяснение физических изменений, происходящих с мышечной тканью в процессе его замораживания-размораживания, позволяет объяснить факт более интенсивного вымывания радионуклидов из медленнозамороженного мяса по сравнению с быстрозамороженным.

В результате проведенных исследований по степени удаления  $^{137}\text{Cs}$  из мышечной ткани, подвергшейся замораживанию и длительному хранению, обнаружено незначительное влияние сроков хранения мяса (вымывание радиоизотопов при увеличении срока хранения с четырех месяцев до двадцати четырех максимально возросло на 8 % после двух пятиминутных промывок в соотношении Т:Ж = 1:2). Хотя и незначительное, но все же заметное количественное отличие в удалении радиоактивных веществ при увеличении сроков хранения объясняется некоторым изменением со временем размеров и количества кристаллов льда, движущей силой чего является разность давлений водяных паров на поверхности мелких и крупных кристаллов льда. Вследствие разности давлений частицы воды мигрируют от более мелких к более крупным кристаллам, что приводит к уменьшению количества мелких и росту крупных кристаллов льда. При низких температурах хранения процесс рекристаллизации протекает медленно, по мере повышения температуры продукта заметно ускоряется.

Проведенные биохимические исследования мяса подтверждают факт изменений, происходящих в его углеводной системе при замораживании и хранении, которые приводят к уменьшению количества гликогена и молочной кислоты. Причем при быстром замораживании процесс их накопления протекает продолжительнее, чем при медленном замораживании. В процессе замораживания и хранения мяса довольно длительный период не наблюдается значительного накопления аминного и аммиачного азота, что свидетельствует об отсутствии протеолитического расщепления белковых веществ. В однофазно медленнозамороженном сырье со сроком хранения 24 месяца содержание аминного азота составило 35–50 мг%, а аммиака – 8–12 мг%, что соответствует их содержанию в свежем мясе крупного рогатого скота. При замораживании наблюдается только перемещение растворимых белков из клеток в межклеточную среду, в основном, вследствие механического повреждения кристаллами льда клеточных оболочек. Этим объясняются значительно большие потери мясного сока, а следовательно, массы сырья, растворимых белков (рисунок 3а), минеральных и экстрактивных веществ, витаминов из оттаявшего сырья при его измельчении и перемешивании, чем из мяса, не подвергавшегося замораживанию.

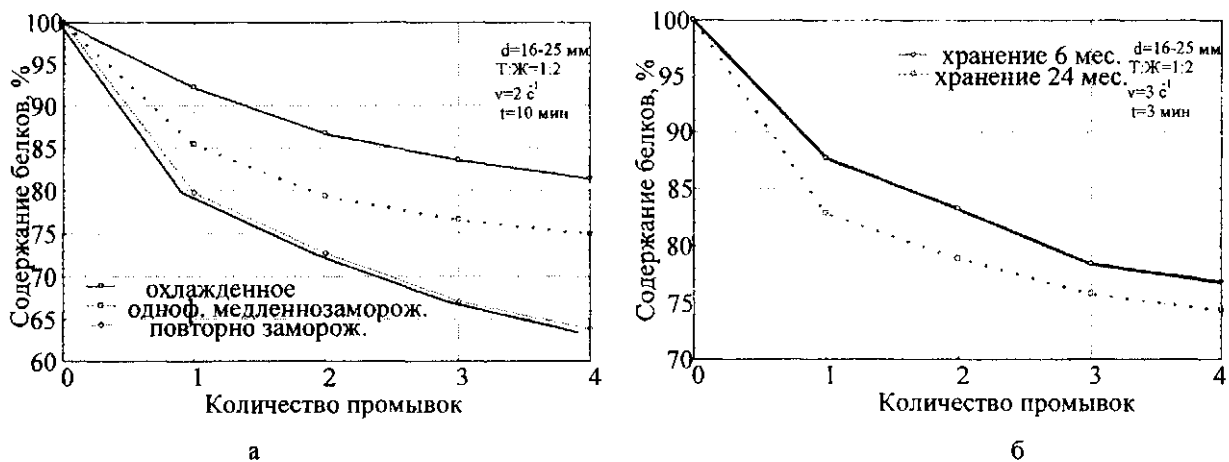


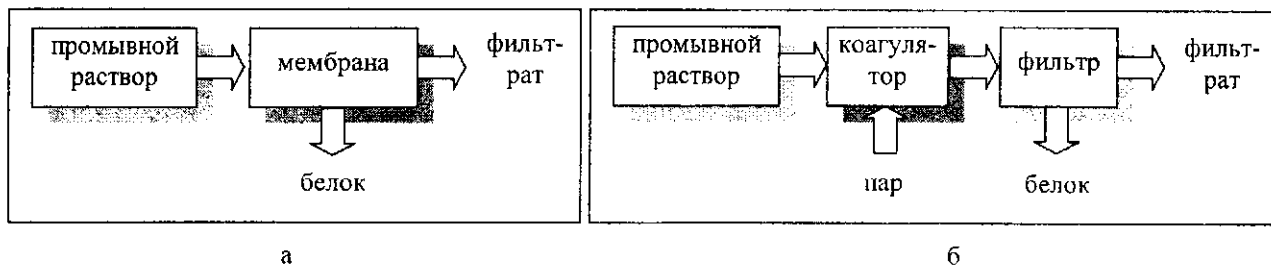
Рисунок 3 – Влияние условий замораживания мяса на вымывание белков

Потери мясного сока возрастают при медленном замораживании и длительном хранении, при нестабильном температурном режиме (потери тканевой жидкости составляют 0,5-3,5 % от массы сырья). Их можно снизить при условии соответствия скорости размораживания продукта скорости его замораживания. И еще, чем ниже температура замораживания мяса, тем выше его влагоудерживающая способность при оттаивании. В процессе длительного

хранения мяса эта зависимость сохраняется, но влагоудерживающая способность уменьшается в 1,4–1,8 раза.

Предлагаемый способ очистки мяса от радионуклидов позволяет устранить или уменьшить ряд недостатков, свойственных другим методам, однако потеря качества сырья и здесь играет существенную роль. Например, за две пятиминутные промывки из мышечной ткани в промывной раствор переходит 15–20 % белков от их исходного содержания при потере массы сырья 7–15 %, во втором промывном растворе находится 0,88 % белка (в первом растворе, который дополнительно пропускается через сорбент, содержание белков составляет 2,55 % от массы исходного мяса).

Для устранения этого недостатка в предлагаемом методе была исследована возможность извлечения питательных веществ из промывного раствора различными методами, наиболее перспективными из которых являются ультрафильтрация [6] и коагуляция (рисунок 4).



а – ультрафильтрация; б - коагуляция

**Рисунок 4 – Блок-схемы лабораторных установок по извлечению питательных веществ из промывного раствора**

Для ультрафильтрации была использована полупромышленная установка, созданная специалистами БГУ им. В.И. Ленина, производительностью 20 л/ч с использованием мембранных фильтров типа «Мифил» с размером пор  $0,8-1,5 \times 10^{-9}$  м. Принцип действия установки состоит в разделении полупроницаемой мембраной низко- и высокомолекулярных веществ раствора под влиянием избыточного давления. Мембранные фильтры «Мифил» разработаны в Институте физико-органической химии НАНБ. Они представляют собой пористые пленочные материалы из полиамидов, имеющие равномерную пористую структуру с контролируемым размером пор.

Результаты проведенных биохимических исследований (таблица 1) после ультрафильтрации, позволяющей отделить концентрат от фильтрата в соотношении 1:2, показывает, что в концентрате увеличивается примерно в 2,5 раза содержание общего белка и общих липидов, а сумма свободных аминокислот и глюкозы содержится на уровне промывной воды. В фильтрате по сравнению с промывной водой содержание белка уменьшается примерно в 25 раз, отсутствуют общие липиды. Сумма аминокислот уменьшается на 8 %, а глюкозы – на 11 %. Содержание белков в концентрате составляет 7,26 %, а в фильтрате – 0,48 % от общей массы промывного раствора. Учитывая потерю питательных веществ на каждом этапе очистки мышечной ткани, измельченной до размеров фарша, и ошибку эксперимента, общие потери белка в конечном продукте составляют до 4,7 %.

Таблица 1 – Извлечение белков из промывного раствора

Извлекаемый продукт	Ультрафильтрация			Коагуляция		
	промывной раствор	извлеченный белок	фильтрат	промывной раствор	извлеченный белок	фильтрат
Белок, %	100	79,62	20,38	100	90,33	9,67

Для проведения исследований по извлечению питательных веществ из промывного раствора коагуляцией был изготовлен коагулятор в виде емкости из нержавеющей стали с отводом для поступления пара и заливочно-сливным устройством. После поступления промыв-



ного раствора в емкость подавали пар. Учитывая термолабильность белкового комплекса мышечной ткани, максимальная температура коагуляции которого 60–65°C, раствор нагревали до 70°C, после чего подавали на фильтрующее устройство, где в качестве фильтра использовали лавсановую ткань.

Выявленные в ходе исследований зависимости снижения концентрации <sup>137</sup>Cs в мышечной ткани и уменьшения содержания белков в образцах позволяют выбирать приемлемую интенсивность процесса ее очистки в зависимости от конкретных требований к конечному продукту, т.к. при проведении подобных исследований возникает противоречие: чем большее количество радионуклидов удалено из мышечной ткани, тем ниже пищевая ценность конечного продукта. В домашних условиях, где ограничена возможность возврата потерянных с промывной водой белков, число промывок находится в непосредственной зависимости удельной активности <sup>137</sup>Cs в туше животного от действующего норматива содержания изотопа в данном виде сырья. На мясокомбинатах, благодаря использованию методов возврата питательных веществ из промывного раствора, количество промывок можно увеличивать, доводя тем самым содержание радиоактивных веществ до более низких значений без ощутимых потерь питательных веществ.

Таким образом, проведенное сопоставление результатов снижения удельной активности образцов и потерь белков при промывках мяса позволило определить рациональные параметры процесса (измельчение 16–25 мм, разбавление Т:Ж = 1:2) и рекомендовать в условиях производства две десятиминутные промывки, при которых возможно удаление примерно 85 % радиоцезия при 20 % потере белков. Увеличение кратности обработки мышечной ткани до четырех приводит к потере 27–30 % белков при вымывании до 98 % <sup>137</sup>Cs. Очистка сырья при соблюдении предлагаемых рациональных параметров протекания процесса, позволяет снизить содержание <sup>137</sup>Cs в мышечной ткани примерно в 5,6 раза, или на 78–82 %, в результате чего поступление радиоцезия в организм с мясными продуктами питания после технологической переработки уменьшается на 79–84 % (таблица 2).

Таблица 2 – Возможное снижение поступления <sup>137</sup>Cs в организм человека

Продукт	Потребление, кг/год		Снижение поступления, %	Продукт	Потребление, кг/год		Снижение поступления, %
	min	max			min	max	
Говядина	17	41,3	78-82	Субпродукты	2	10,2	78–82
Свинина	10	22	78-82	Консервы	2	6,7	83–87
Колбаса	3,3	10,5	84-92*	Мясо и мясные продукты в целом	36,3	105,2	78,6–83,8
Птица	2	12,5	78-82				
Дичь	0,3	40	78-82				

\* - в зависимости от рецептуры колбасы

Исходя из предпосылки того, что до 70–90 % суммарной дозовой нагрузки на организм человека формирует внутреннее облучение, а более 90 % дозы внутреннего облучения индивидуума приходится на продукты питания, до 60 % из которых в рационе взрослого жителя составляет молоко и мясо, рассчитана доля снижения воздействия облучения на организм человека в случае использования предложенных методов очистки мышечной ткани.

### Заключение

Определены рациональные параметры процесса технологической переработки мяса (измельчение 16–25 мм, разбавление Т:Ж = 1:2) и рекомендованы две десятиминутные промывки при проведении процесса в условиях производства, при которых возможно удаление примерно 85 % радиоцезия при 20 % потере белков. В результате использования предлагаемых параметров в процессе технологической переработки мяса поступление радиоцезия в орга-

низм с мясными продуктами питания уменьшается на 79–84 %. Результаты проведенных расчетов снижения дозы внутреннего облучения населения позволяют утверждать, что использование в производстве мяса, очищенного по предлагаемому способу, уменьшает дозу внутреннего облучения организма, обусловленную мясными продуктами питания, на 78–83 % [11].

### Литература

1. Мирончик, А. Ф. Снижение дозы внутреннего облучения организма путем переработки продукции животноводства в домашних условиях / А. Ф. Мирончик // Могилевский меридиан. – 2004. – № 2. – Т. 4. – С. 70–81.
2. Мысик, А. Т. Справочник по качеству продуктов животноводства / А. Т. Мысик, С. М. Белова, Ю. П. Фомичев и др.; сост. А. Т. Мысик, С. М. Белова. – М. : Агропромиздат, 1986. – 239 с.
3. Алехина, Л. Т. Технология мяса и мясопродуктов : учебное пособие для вузов / Л. Т. Алехина, А. С. Большаков, В. Г. Боресков и др. : под ред. И. А. Рогова. – М.: ВО «Агропромиздат», 1988. – 576 с.
4. Тышкевич, С. Исследование физических свойств мяса / С. Тышкевич. – М. : Пищевая промышленность, 1972. – 96 с.
5. Журавлева, Н. К. Исследование и контроль качества мяса и мясопродуктов / Н. К. Журавлева. – М. : Агропромиздат, 1985. – 215 с.
6. Щедушнов, Д. Е. Применение мембранной фильтрации в молочной промышленности: информационный бюллетень / Д. Е. Щедушнов. – М.: АгроНИИТЭИ, 1992. – № 16. – 58 с.
7. Пятнов, Ю. Н. Поведение  $^{90}\text{Sr}$  в трофических цепочках южных районов Гомельской области / Ю. Н. Пятнов, Э. Н. Цуранков, В. С. Аверин // Итоги научных исследований в области радиозоологии окружающей среды: под ред. С. К. Фирсаковой. – Гомель, 1996. – С. 99–103.
8. Молчанов, Г. И. Радиация: Питание и фитотерапия / Г. И. Молчанов, И. Ф. Сучков, М. С. Лукьянчиков. – М. : СП Парамедикал, 1992. – 80 с.
9. Совместный научный проект JSP-5: Анализ путей переноса и дозное распределение / под ред. П. Якоба и И. Лихтарева. – Брюссель. – 1995. – 129 с.
10. Нестеренко, В. Б. Радиологическая защита населения / В. Б. Нестеренко. – Минск: Право и экономика, 1997. – 172 с.
11. Мирончик, А. Ф. Влияние технологической переработки мясного и молочного сырья на снижение дозы внутреннего облучения населения / А. Ф. Мирончик // Европа – наш общий дом: экологические аспекты: тезисы междунар. конф. – Мн.: Научный совет при Исполнительном Комитете Союза Беларуси и России, НАН Б, РАН, 1999. – С. 268.

*Поступила в редакцию 12.11.2007*