

## Исследования кинетики и динамики просаливания рыбы

В.В. Димова<sup>1</sup>, А.М. Ершов<sup>2</sup>, В.А. Гроховский<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ЗАО "Арктиксервис"

<sup>2</sup> Технологический факультет МГТУ, кафедра технологии пищевых производств

**Аннотация.** В работе приведены экспериментальные кривые кинетики просаливания целых образцов и отдельных слоев по толщине мяса рыбы. Рассмотрены поля солесодержания в целой рыбе и филе, установлен характер изменения градиента солесодержания на поверхности различных видов рыб и филе. Дан анализ полученных экспериментальных кривых. Приведены результаты экспериментального исследования пограничного слоя.

**Abstract.** The experimental curves of brining kinetics of whole pieces and separate slices of fish have been given in the paper. The areas of salt content in an entire fish and fillet have been considered, the character of salt content gradient change on the blanket of different fish and fillet has been determined. The experimental curves have been analyzed. The results of boundary layer research have been given as well.

### 1. Введение

Хотя посол как способ консервирования известен около 2000 лет, разработка теории посола началась сравнительно недавно.

Независимо от способа посола (сухой, смешанный, тузлучный) через некоторое время образуется система из двух фаз: рыба и тузлук (при сухом и смешанном посоле кристаллическая соль растворяется и образует тузлук). Между рыбой и тузлуком происходит массообмен, результатом которого является просаливание рыбы.

Процесс просаливания представляет собой диффузию соли из тузлука в мясо рыбы и диффузионно-осмотический перенос воды из тканей рыбы в раствор соли. Диффузионный перенос – это самопроизвольное выравнивание концентрации соли во всем объеме системы под влиянием теплового движения молекул и ионов. Этот процесс продолжается до полного выравнивания концентрации соли, а так как в результате достигается максимальная энтропия системы, процесс необратим при постоянных внешних условиях.

При исследовании массообмена необходимо учитывать, что рыба является сложной системой, основу которой составляют гидрофильные коллоиды (белки), структурно-организованные в различные волокнистые и ячеистые ткани разной плотности, пронизанные жидкостью. В эту систему включен жир в виде мелких капель или значительных скоплений. Жир представляет собой обособленную фазу, поскольку нерастворим в воде, не смешивается с водой и солью.

Перенос соли и воды в рыбе усложняется неодинаковой проницаемостью тканей, которая к тому же изменяется под влиянием соли. Ткани живой рыбы, особенно кожа, непроницаемы для соли. После усыхания рыбы соль начинает проникать в тело, изменяя водоудерживающую способность мяса в зависимости от концентрации соли.

Изучение закономерностей диффузии соли в мясе рыбы и влияния на этот процесс различных параметров представляет наибольший интерес.

### 2. Некоторые закономерности кинетики и динамики просаливания рыбы

Для изучения диффузии соли в тканях рыбы анализировали изменение содержания соли в образцах по времени посола и распределение соли по толщине рыбы в различные моменты времени.

Исследования проводили с путассу, сайдой (филе), скумбрией (филе), угрем, окунем, мойвой. Столь различные виды рыб были выбраны для изучения влияния химического состава и размера образцов на процесс просаливания.

По экспериментальным данным были построены кривые кинетики просаливания как целых образцов  $S = f(\tau)$ , так и отдельных слоев по толщине мяса рыбы  $S_n = f(\tau)$  для всех исследуемых объектов. Также исследовали поступление соли в рыбу по мере просаливания  $m_c = f(\tau)$ , распределение солесодержания по толщине мяса рыбы  $S^c = f(x)$ . Здесь  $S$ ,  $S_n$  – соленость образца в целом и отдельных слоев по толщине рыбы, %;  $m_c$  – масса соли, поступившей в рыбу, кг/кг;  $S^c$  – солесодержание, кг/кг;  $\tau$  – время просаливания;  $x$  – толщина образца.

Из рис. 1 и 2 видно, что процесс просаливания имеет одинаковые закономерности для всех объектов посола (Димова, 1996). Интенсивнее просаливаются тощие рыбы с большой площадью удельной поверхности. Следует отметить, что просаливание центрального слоя начинается через

определенное время. Это время, в течение которого соль диффундирует с поверхности рыбы до центра образца. На рис. 1 приведены поля солесодержания для мойвы, окуня, филе скумбрии и сайды.

Просаливание филе имеет некоторые особенности. Наиболее медленно просаливаются подкожные слои мяса рыбы. Вероятно, это объясняется меньшей проницаемостью кожи по сравнению со срезом мяса и скоплением жира в подкожном слое, что снижает скорость внутренней диффузии соли.

Для путассу посолы также проводили при различных температурах 9, 18, 25 и 30°C. Были получены кривые распределения соли по толщине мяса рыбы  $S^c = f(x)$  и изменения средней солёности путассу  $S = f(\tau)$  и центрального слоя образцов  $S_{\text{ц}} = f(\tau)$  для различных температур.

С возрастанием температуры увеличивается скорость просаливания как образцов в целом, так и их центральных слоев. Но наиболее существенно температура влияет на скорость просаливания поверхностных слоев рыбы. На рис. 2 показано изменение градиента солёности в поверхностном слое путассу по мере просаливания для различных температур и различных видов продукции.

Значения градиента солёности на поверхности различных видов рыб были получены путем графического дифференцирования экспериментальных кривых распределения солесодержания по толщине мяса рыбы методом хорд (Фролов, 1978).

Для всех изученных рыб изменение градиента солёности на поверхности имеет аналогичный характер. В начале процесса он максимальный, далее в первый период посола резко снижается, и затем по мере просаливания рыбы уменьшается очень незначительно. Чем выше температура посола, тем больше градиент концентрации соли в приповерхностном слое рыбы в начале посола. Это объясняется увеличением интенсивности массообменных процессов при повышении температуры.

У филе изменение градиента концентрации соли на поверхности среза мяса и со стороны кожи различно. Со стороны кожи, где диффузионные процессы протекают медленнее, значение градиента меньше, изменение градиента концентрации соли по времени протекает более плавно.

### 3. Результаты экспериментального исследования пограничного слоя тузлука у поверхности рыб

Для анализа кинетики просаливания поверхностного слоя образцов и подтверждения предположений о возникновении пограничного слоя тузлука при просаливании рыбы были проведены экспериментальные исследования.

В экспериментах по изучению пограничного слоя определяли изменение концентрации солевого раствора у поверхности рыбы в процессе посола. Для этого использовали специально изготовленный датчик и мост переменного тока. Метод определения содержания соли в тузлуке основан на том, что электропроводность растворов электролитов, каким является раствор соли, при постоянной температуре зависит только от концентрации растворенного вещества.

Предварительно был получен тарировочный график, который отображал зависимость сопротивления раствора соли прохождению электрического тока от его концентрации.

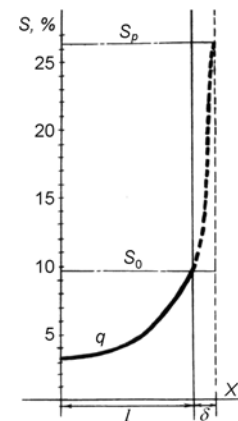
В ходе экспериментов у поверхности образцов был обнаружен пограничный слой тузлука с меньшей концентрацией соли. Данную концентрацию называли эффективной, так как именно она определяет движущую силу процесса диффузии соли в мясо рыбы. Под пограничным слоем понимали тонкий слой солевого раствора у поверхности просаливающейся в тузлуке рыбы, где происходит быстрое изменение концентрации раствора от эффективной до средней концентрации тузлука на удалении от объекта посола. Толщина пограничного слоя  $\delta$  мала и, предположительно, составляет несколько миллиметров. В пограничном слое происходит быстрое изменение концентрации соли не только по толщине слоя, но и по времени посола. Так как пограничный слой образуется в результате интенсивного перехода соли из раствора вблизи поверхности в мясо образцов и выхода влаги из рыбы, то наличие пограничного слоя особенно характерно для первого периода посола. Также в первый период посола наблюдается наибольшее отличие значений эффективной и средней концентраций тузлука. По мере просаливания до насыщения тканей рыбы солью происходит постепенное выравнивание эффективной и средней концентрации, пограничный слой исчезает.

Распределение содержания соли внутри объекта посола и концентрации солевого раствора в пограничном слое у поверхности рыбы показано в определенный момент первого периода посола на рис. 3. Поскольку диффузионные свойства мяса рыбы сравнимы по величине с диффузионными свойствами солевого раствора, то кривая распределения содержания соли в мясе рыбы, круто уходящая вверх от центра рыбы к поверхности (в первый период посола), может быть экстраполирована и далее за пределы мяса рыбы по толщине пограничного слоя (рис. 4). Изменение концентрации солевого раствора в пределах пограничного слоя происходит от величины эффективной концентрации  $C_0$  до концентрации тузлука  $C_p$ .

Эксперименты проводили с путассу, окунем и филе скумбрии. Рыбу солили в тузлуке плотностью 1.20 г/м<sup>3</sup> при температуре 18°C. Пограничный слой у филе скумбрии изучали со стороны среза мяса.

Рис. 3. Распределение солёности внутри объекта и в пограничном слое у поверхности объекта посола:

$l$  – полутолщина просаливающегося образца;  
 $\delta$  – толщина пограничного слоя тузлука у поверхности объекта посола;  
 $q$  – распределение солёности внутри объекта посола в определенный момент времени и далее пунктиром показана экстраполяция распределения солёности в пограничном слое;  
 $S_p$  – средняя солёность тузлука на удалении от объекта посола;  
 $S_0$  – эффективная солёность на границе объекта посола  $S_0 = aS_p$ ;  
 $a$  – полуэмпирический коэффициент.



Изготовленный датчик позволял изменять расстояние между поверхностью рыбы и выходами электродов. Измерение сопротивления солевого раствора резистивным датчиком проводили на расстоянии 1-2 мм от поверхности образцов. По измеренному сопротивлению с помощью тарировочного графика находили концентрацию тузлука в пограничном слое. Полученные результаты изменения эффективной концентрации в ходе просаливания для всех исследуемых видов рыб показаны на рис. 4. Из данного рисунка видно, что характер изменения эффективной концентрации тузлука по времени посола аналогичен у всех рыб. В начале просаливания концентрация солевого раствора в пограничном слое убывает довольно резко, достигая через определенное время наименьшего значения (время и значения отличные для каждого вида рыбы), далее плавно возрастает и, вероятно, к окончанию процесса посола, когда установится равновесная концентрация соли в системе, достигнет этой (равновесной) концентрации. При изучении пограничного слоя посолы до насыщения тканей рыбы солью не проводили, а ограничились просаливанием до достижения образцами солёности 7-10 % (первый период посола).

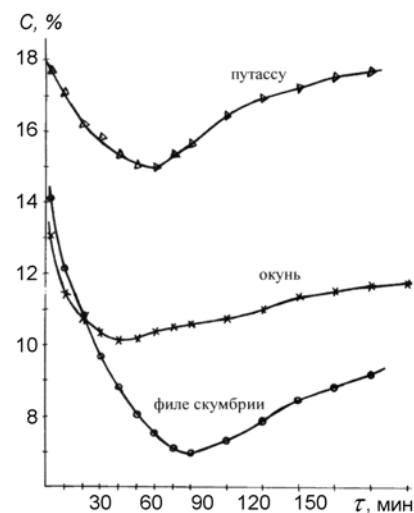


Рис. 4. Изменение эффективной концентрации солевого раствора при просаливании различных видов рыб

По экспериментальным данным были найдены средние значения эффективной концентрации тузлука за первый период посола для всех исследуемых видов рыб. Так, средние значения эффективной концентрации составили: окунь – 9.08 %, филе скумбрии – 11.13 %, путассу – 16.37 %. Используя выражение  $C_0 = aC_p$  ( $C_0$ ,  $C_p$  – эффективная и средняя концентрации тузлука;  $a$  – коэффициент), были определены экспериментальные значения коэффициента  $a$ . Для окуня, филе скумбрии и путассу поправочные коэффициенты соответственно равны 0.42, 0.34 и 0.62. Расчетные (полученные с помощью математической модели посола рыбы в тузлуке) и экспериментальные значения коэффициента  $a$  очень близки.

#### 4. Заключение

Результаты исследований позволяют охарактеризовать кинетику и динамику просаливания рыбы. Используя полученные кривые, возможно найти значения коэффициента диффузии соли в мясе различных видов рыб, установить характер его изменения по мере просаливания, подтвердить изменение диффузионных свойств рыбы в процессе просаливания данными экспериментов.

#### Литература

- Димова В.В. Закономерности процесса диффузии соли в мясе рыбы при посоле в тузлуке. *Апатиты, Кольский научный центр РАН*, с.18, 1996.  
 Фролов С.А. Начертательная геометрия. М., *Машиностроение*, с.383, 1978.

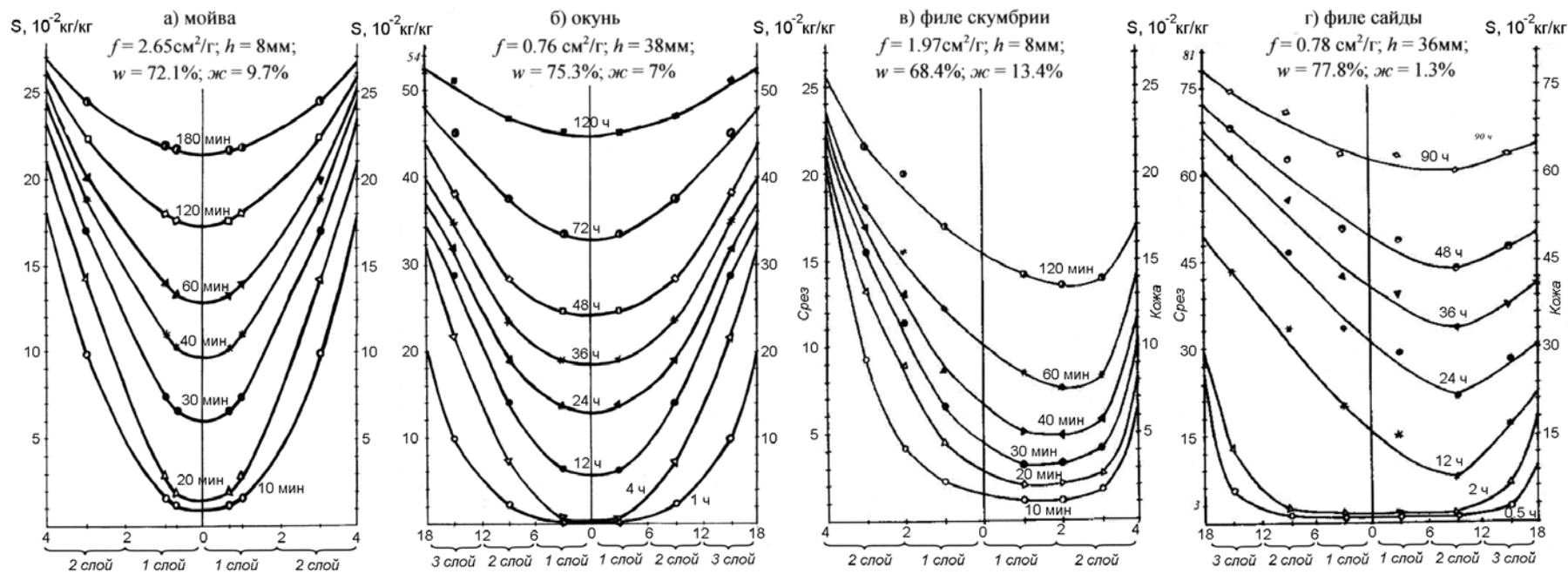


Рис. 1. Изменение солености по толщине мяса различных объектов посола ( $\rho = 1.20 \text{ г/см}^3$ ;  $t = 18^\circ\text{C}$ )  
 По горизонтальной оси отложено расстояние от центра образца в мм

Рис. 2. Изменение градиента солености в поверхностном слое различных видов рыб по мере просаливания

