

КИНЕТИКА ПРОЦЕССА ПОСОЛА РЫБЫ

Кандидат технических наук Н. А. Воскресенский

Лаборатория контроля производства ВНИРО

Несмотря на то, что посол рыбы применяется очень давно и исследованию его посвящено много работ, теория этого процесса до сих пор еще не разработана.

Точной терминологии, характеризующей посол как процесс, не существует, например, нет определения понятий скорость посола, скорость просаливания, продолжительность посола и т. п.

В данной работе разбирается один из важных вопросов теории посола рыбы, а именно влияние различных способов посола на интенсивность процесса. Этот вопрос имеет большой и практический интерес, так как существует мнение, что посол в циркулирующих тузлуках увеличивает скорость процесса в 6,7 и даже в 15 раз по сравнению с сухим и смешанным посолом, распространенным в настоящее время в промышленности¹.

Следуя этим утверждениям, изобретатели и конструкторы пытаются создать устройство непрерывного действия не только для посола такой мелкой рыбы как тюлька, но и более крупных рыб. Не отрицая положительной роли тузлучного посола в механизации производственного процесса, мы считаем вышеприведенные утверждения о технологических преимуществах посола рыбы в циркулирующих тузлуках серьезным заблуждением, что является следствием неправильного представления о физической сущности процесса.

Теорию процесса посола следует разбить на три основных и в известной мере самостоятельных раздела:

1) Статику посола, т. е. изучение условий, при которых образуется равновесие между осмотическим давлением раствора соли, окружающего рыбу и находящимся в ткани рыбы.

2) Кинетику посола, т. е. исследование интенсивности протекания процесса, где основное значение имеет скорость посола.

3) Динамику посола, т. е. исследование особенностей (механизма) движения соли и влаги в рыбе, изучение физико-химической сущности процесса.

Исследования процесса посола были начаты с кинетики, так как в связи с решением проблемы посола в циркулирующих тузлуках скорость этого процесса имеет важное значение.

¹ «Рыбное хозяйство», № 2, 1940; «Рыбное хозяйство», № 11, 1943; А. В. Терентьев, Б. Н. Миллер, Н. Ф. Чернигин, Гидравлическая механизация в рыбной промышленности.

В данной работе мы считаем преждевременным подвергать полученные данные математическому анализу и стараемся их использовать главным образом как основание для соответствующих технических рекомендаций промышленности. Этой же цели подчинен и выбор методики, сущность которой заключается в том, что температура, вес кусков, концентрация тузлука и продолжительность процесса являются факторами постоянными. Нами совершенно сознательно выбрана предельная соленость рыбы 16%, которую мы считаем достаточной для производства стойкого при хранении продукта.

Методика

Свежего сома (вес от 4 до 6 кг), взятого из живорыбного садка, обесшкуривали, разделяли на филе с отрезанием тонкого мяса брюшка; спинную часть филе разрезали поперек на куски весом около 50 г и толщиной 16—18 мм, из тонкой хвостовой части куски не вырезали. Мясо сома содержало 80,84% воды и 2,33% жира, подкожный слой жира отсутствовал¹.

Куски сома солили в неподвижных (стоячих) и циркулирующих тузлуках уд. веса 1,2 и кристаллической солью.

Посол в неподвижных тузлуках проводился в фарфоровых банках емкостью 0,5 л; в каждую банку помещалось по одному куску рыбы нанизанному на проволочку с грузилом. Таким образом, поверхность кусочков рыбы со всех сторон окружал тузлук. Для предотвращения опреснения тузлука на дно банок насыпали соль, тузлук периодически перемешивали.

Посол в циркулирующих тузлуках проводился в специальной установке, состоящей из бачка емкостью 10 л, насоса производительностью 4 л/мин., концентратора, соединенных между собой резиновыми трубками с внутренним диаметром 8 мм (рис. 1).

Куски рыбы в количестве четырех штук нанизывали на медный прутки диаметром 2 мм и опускали в бачок, наполненный тузлуком, конец прутка закрепляли в зажиме штатива (рис. 2); куски между собой не соприкасались. Затем немедленно включали насос, производительность которого обеспечивала скорость движения тузлука вдоль поверхности кусков 0,25 м/мин².

При сухом посоле куски рыбы обваливали в соли помола № 3 и все одновременно помещали в одну банку емкостью 1 л, диаметром 10 см; каждый ряд кусков дополнительно пересыпали солью. Банку полностью заполняли рыбой.

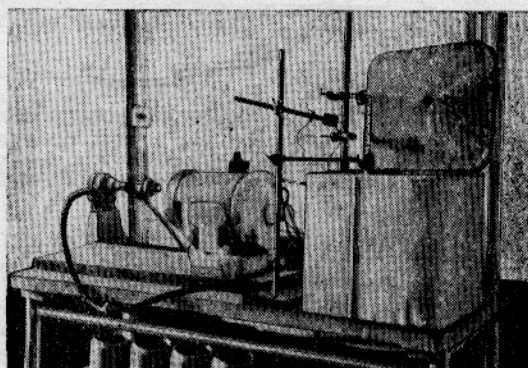


Рис. 1. Установка для посола рыбы в циркулирующих тузлуках.

¹ Сом (весеннего улова) в течение нескольких недель находился в садке Московской живорыбной базы Главрыбсбыта, откуда и был взят для опытов.

² Влияние скорости тузлука при его вытекании из отверстий трубки при подсчете скорости движения тузлука вдоль поверхности кусков не учитывалось.

Всего было проведено четыре серии опытов, причем в трех сериях пробы для химических исследований брали через каждые два часа, а в одной серии опытов — через час; посол продолжался восемь часов. Каждая серия опытов проводилась одновременно. В течение всего процесса посола удельный вес тузлука составлял 1,2, а температура колебалась в пределах 22—27°. При посоле в циркулирующих тузлуках к концу процесса вследствие работы насоса и интенсивной циркуляции тузлука его температура повышалась на 2—3°.

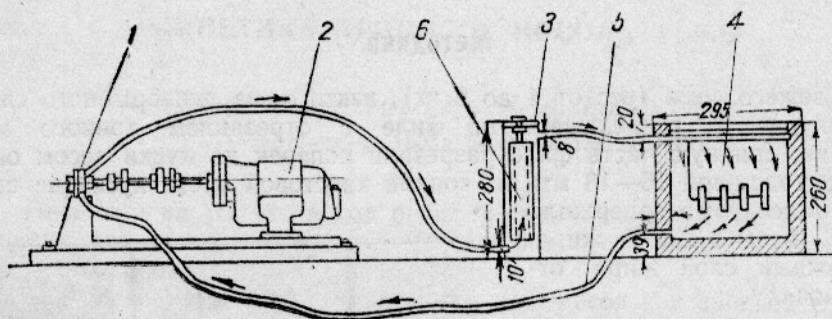


Рис. 2. Схема лабораторной установки для посола рыбы в циркулирующих тузлуках:
1 — насос; 2 — мотор; 3 — концентратор; 4 — бачок; 5 — резиновый шланг; 6 — соль (стрелками показано движение тузлука).

Вынутые из посола куски рыбы оставляли на 30 минут для стекания тузлука, затем взвешивали, измельчали в мясорубке и подвергали химическому анализу на соль и влагу¹.

Содержание соли в каждом куске рыбы определяли обычным титрованием водной вытяжки в присутствии индикатора хромовокислого калия.

Результаты исследования

Влияние различных способов посола на проникновение соли в рыбу

Кривые посола (солености)

Под кривой посола мы понимаем графическое изображение изменения количества соли в рыбе в зависимости от продолжительности процесса посола. Эту зависимость можно выразить следующим образом:

$$C = f(\theta),$$

где: C — количество NaCl , прошедшее в мясо рыбы,

θ — продолжительность посола.

На рис. 3 приведены кривые посола, характеризующие увеличение количества соли в рыбе (в %) при различных способах посола, верхняя кривая 1 характеризует процесс посола в циркулирующих тузлуках, средняя 2 — посол кристаллической солью (сухой посол) и нижняя 3 — в неподвижных тузлуках.

¹ Химические анализы выполнялись младшим научным сотрудником ВНИРО т. К. В. Мартемьяновой.

В табл. 1 помещены приведенные значения солёности рыбы, взятые из кривых посола рыбы (рис. 3) ¹.

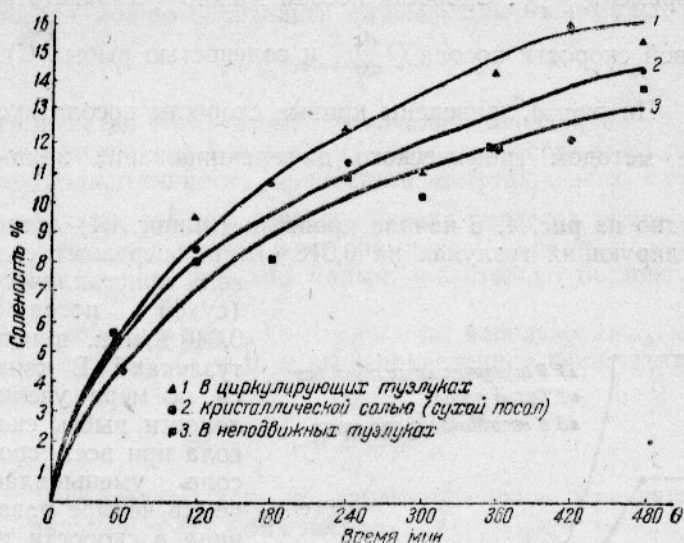


Рис. 3. Кривые посола (солёности).

Таблица 1

Способ посола	Количество NaCl (в %) в рыбе после посола в течение (в мин.)							
	60	120	180	240	300	330	420	480
В циркулирующих тузлуках	5,65	9,00	10,80	12,25	13,50	14,75	15,85	16,00
В неподвижных тузлуках	4,50	7,05	9,00	10,15	11,00	11,65	12,20	12,80
Сухой посол (кристаллической солью)	4,80	8,25	10,15	11,25	12,05	12,85	13,70	14,50

Как видно из табл. 1, содержание соли в рыбе после восьмичасового посола в циркулирующих тузлуках оказалось на 1,50% больше, чем при сухом посоле и на 3,20% больше, чем при посоле в неподвижных тузлуках.

Скорость посола

Скоростью посола мы называем количество соли (% , г , кг), проникшее в рыбу за единицу времени (минута, час, сутки) в определенный

¹ Индексом Δ — обозначаются истинные значения солёности рыбы при посоле в циркулирующих тузлуках, индексом 0 — кристаллической солью и индексом □ — в неподвижных тузлуках.

период (момент) процесса посола¹. Таким образом, скорость посола можно представить как первую производную количества соли в мясе рыбы по времени $\frac{dc}{d\theta}$. Скорость посола можно выразить графически в виде кривой скорости посола $\frac{dc}{d\theta}$ и соленостью рыбы (C), так как $\frac{dc}{d\theta} = f(C)$. На рис. 4 приведены кривые скорости посола кусков сома, полученные методом графического дифференцирования кривых посола (рис. 3).

Как видно из рис. 4, в начале процесса (линия AA_1) скорость посола в циркулирующих тузлуках на 0,018%/мин. опережает скорость посола кристаллической солью (сухой посол) и на 0,040%/мин. в неподвижных тузлуках². В конце процесса, по мере увеличения солености рыбы, скорость посола при всех способах посола уменьшилась более, чем в четыре раза, но разница в скорости при одинаковой солености образцов все же имела значительные расхождения (линия BB_1).

Если бы мы продолжили процесс посола и довели количество соли в рыбе до предела, надо полагать, что кривые скорости посола пересекли бы ось абсцисс.

Кривые скорости посола показывают, что скорость посола зависит от разности концентраций растворов соли, окружающего рыбу и находящегося в клеточном

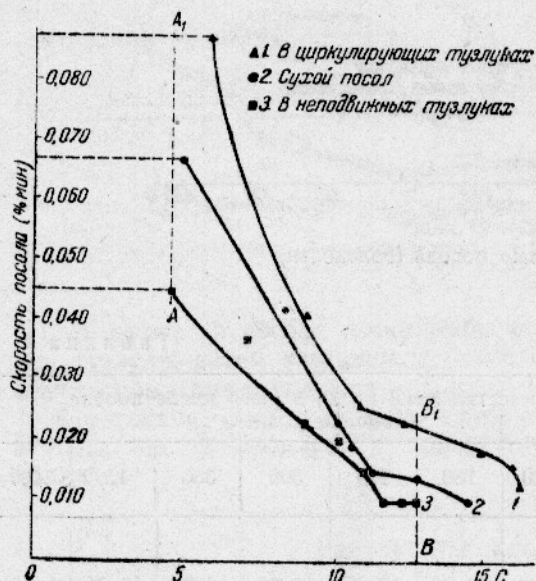


Рис. 4. Кривые скорости посола.

соке рыбы. При посоле в циркулирующих тузлуках движение тузлука вдоль поверхности рыбы, повидимому, может увеличивать скорость посола только за счет уменьшения толщины пограничного слоя тузлука и повышения концентрации тузлука в этом слое³. При сухом посоле кристаллы соли, находящиеся на поверхности рыбы, проявляют менее активное влияние на пограничный слой тузлука, чем движущийся тузлук, так как даже в начале посола, вследствие их неправильной формы, ими невозможно полностью покрыть поверхность рыбы.

По этим причинам скорость посола при сухом посоле меньше, чем при посоле в циркулирующих тузлуках.

¹ Лучше скорость посола характеризовать размерностью $\frac{г}{см^2мин.}$ или $\frac{кг}{м^2час}$ в данной работе мы несколько упрощаем анализ.

² Начать кривую скорости посола от начала координат мы не можем, так как располагаем данными о солености рыбы только после часового посола.

³ Пограничным слоем тузлука мы называем тонкую пленку тузлука на поверхности рыбы.

Средняя скорость посола

Под средней скоростью посола мы понимаем количество соли, проникшее в рыбу в процессе посола за единицу времени. Значение средней скорости посола можно определить из следующей формулы:

$$V_{\text{cp}} = \frac{C_2 - C_1}{\Theta},$$

где: C_1 — количество NaCl в рыбе в начале процесса, в %, г, кг;
 C_2 — количество NaCl в рыбе в конце процесса, в %, г, кг;
 Θ — продолжительность процесса в минутах, часах, сутках.

Таким образом, средняя скорость посола является величиной, характеризующей процесс в целом, в то время как скорость посола — только часть процесса за сравнительно малый, желательнее бесконечно малый, отрезок времени.

Для исследований, как уже говорилось, использовалась совершенно свежая рыба, поэтому $C_1 = 0$, и вышеприведенная формула примет следующий вид:

$$V_{\text{cp}} = \frac{C_2}{\Theta}, \text{ или } V_{\text{cp}} = \frac{C}{\Theta}.$$

В табл. 2 приведены данные, характеризующие среднюю скорость посола при различных способах посола.

Таблица 2

Способ посола	Содержание соли в рыбе (в %)	Продолжительность посола (в часах)	Средняя скорость посола (в %/час)
В циркулирующих тузлуках	16,00	8	2,00
В неподвижных тузлуках	12,80	8	1,50
Сухой посол	14,50	8	1,80

Как видно из табл. 2, средняя скорость посола в циркулирующих тузлуках в 1,12 раза превышает среднюю скорость посола при сухом посоле и в 1,35 раза в неподвижных тузлуках.

Если расчет средней скорости посола производить, исходя из конечной (равновеликой) солености рыбы, то разница в скоростях увеличится (табл. 3).

Таблица 3

Способ посола	Конечное содержание соли (в %)	Продолжительность посола (в часах)	Средняя скорость посола (в %/час)
В циркулирующих тузлуках	12,80	4,44	2,89
В неподвижных тузлуках	12,80	8,00	1,60
Сухой посол	12,80	5,87	2,18

Для расчета средней скорости посола выбрана конечная соленость рыбы, полученная при посоле в неподвижных тузлуках, как наименьшая (табл. 1).

Из данных табл. 3 можно установить, что средняя скорость посола кусков сома (посоленных до содержания соли 12,80) в циркулирующих тузлуках в 1,32 раза больше средней скорости посола при сухом посоле и в 1,81 раза в неподвижных тузлуках.

Таким образом, наши исследования не подтвердили рекомендации Н. Т. Березина, что посол в циркулирующих тузлуках, по сравнению с существующими способами посола, увеличивает скорость посола в 2,5 и даже в 8 раз.

Практически, особенно при посоле мелких рыб, даже полученную нами разницу в скорости посола вряд ли удастся выдержать, так как создать аппарат для посола рыбы, в котором движущийся тузлук полностью окружал бы поверхность рыбы, невозможно.

Для доказательства приведем данные, характеризующие среднюю скорость посола при посоле тюльки (сухой солью, в циркулирующих и перемешиваемых тузлуках) (табл. 4).

Таблица 4

Способ посола	C_1	C_2	$C_2 - C_1$	θ	V_{cp}	t
I. Законченный посол						
1. Чановый (сухой)	0	16,12	16,12	10,00	1,61	23
2. Тузлучная установка Тимофеева	0	17,45	17,45	10,00	1,74	26
II. Прерванный посол						
1. Чановый (сухой)	0	13,00	13,00	2,30	5,77	23
2. Тузлучная установка Тимофеева	0	12,46	12,46	2,00	6,10	25
3. Тузлучная установка Вечканова	0	12,00	12,00	2,50	4,80	19

Как видно из данных табл. 4, средняя скорость посола при законченном посоле в установке Тимофеева только в 1,08 раза больше, чем при чановом посоле. При незаконченном (прерванном) посоле средняя скорость посола только в установке Тимофеева несколько больше (в 1,04 раза) чанового (сухого) посола. В установке Вечканова средняя скорость посола меньше (в 1,2 раза), чем при чановом посоле. Данные в табл. 4 получены в результате испытаний промышленных тузлучных установок Тимофеева и Вечканова, принятых в 1950 г. в промышленную эксплуатацию.

Влияние различных способов посола на количество извлекаемой из рыбы влаги

Кривые влажности

Под кривой влажности мы понимаем графическое изображение изменения количества влаги в рыбе в зависимости от продолжительности процесса посола. Эту зависимость можно выразить следующим образом:

$$W = f(\theta),$$

где: W — количество воды в мясе рыбы,
 θ — время, в минутах, часах, сутках.

На рис. 5 приведены кривые влажности, характеризующие изменения количества воды в кусках сома (в %) в процессе посола при различных способах посола.

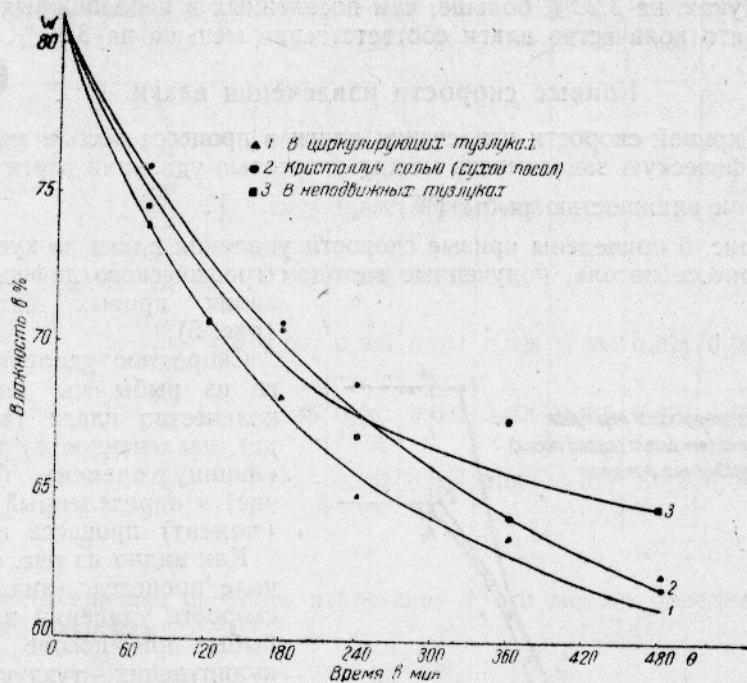


Рис. 5. Кривые влажности.

В табл. 5 помещены приведенные значения влажности и солёности кусков сома, взятые из кривых влажности (рис. 4) и кривых посола (рис. 2) в процессе посола при различных способах посола.

Таблица 5

Способ посола	Название вещества	Количество NaCl и воды (в %) в рыбе после посола в течение (минут)								
		0	60	120	180	240	300	360	420	480
В циркулирующих тузлуках . . .	Вода	80,85	78,65	70,75	67,45	65,50	64,40	62,85	61,80	61,00
	NaCl	—	5,65	9,00	10,80	12,25	13,50	14,75	15,85	16,00
Сухой посол . . .	Вода	80,85	76,00	72,50	69,80	67,55	65,80	64,20	62,80	61,70
	NaCl	—	4,80	8,25	10,15	11,25	12,05	12,85	13,70	14,50
В неподвижных тузлуках . . .	Вода	80,85	75,75	72,75	69,55	67,50	66,35	65,45	64,75	64,40
	NaCl	—	4,50	7,05	9,00	10,15	11,00	11,65	12,20	12,80

Как видно из табл. 5, количество воды в рыбе после восьмичасового посола в циркулирующих тузлуках оказалось меньше на 3,40%, чем при посоле в неподвижных тузлуках и на 0,70% меньше, чем при сухом посоле.

Весьма характерно, что после восьмичасового посола разность конечного содержания воды в кусках сома, посоленных различными способами, примерно равновелика разности конечного содержания соли. Например, конечная соленость кусков сома, посоленных в циркулирующих тузлуках, на 3,20% больше, чем посоленных в неподвижных тузлуках, но зато количество влаги соответственно меньше на 3,40%.

Кривые скорости извлечения влаги

Под кривой скорости извлечения влаги в процессе посола мы понимаем графическую зависимость между скоростью удаления влаги из рыбы $\frac{dw}{d\theta}$ и влажностью рыбы (W).

На рис. 6 приведены кривые скорости удаления влаги из кусков сома в процессе посола, полученные методом графического дифференцирования кривых влажности (рис. 5).

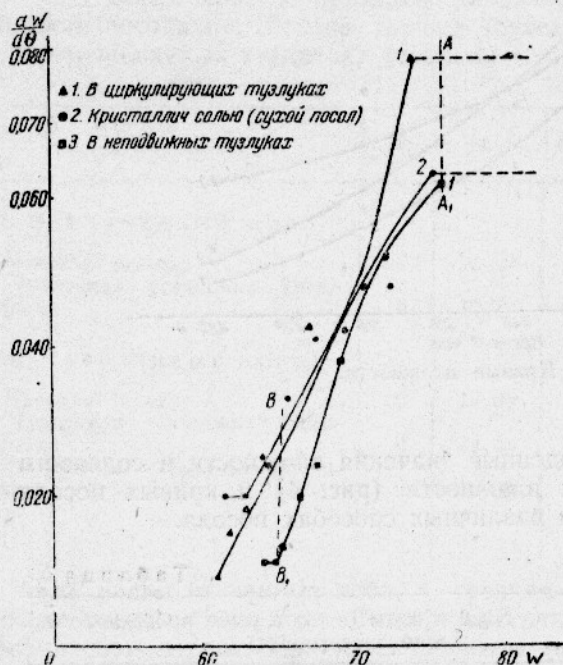


Рис. 6. Кривые скорости извлечения влаги.

Скоростью удаления влаги из рыбы мы называем количество влаги (в %, г, кг), извлеченное из рыбы за единицу времени (минута, час) в определенный период (момент) процесса посола.

Как видно из рис. 6, в начале процесса (линия AA) скорость удаления влаги из рыбы при посоле в циркулирующих тузлуках на 0,015%/мин. опережает скорость удаления влаги при посоле кристаллической солью и на 0,013%/мин. в неподвижных тузлуках.

В конце процесса по мере увеличения солености рыбы и уменьшения содержания в ней влаги скорость извлечения влаги при всех способах посола уменьшается более чем в три-четыре раза (линия BB).

С целью сравнения в табл. 6 помещены числовые значения скорости посола и скорости удаления влаги в процессе посола при различных способах посола.

Как видно из табл. 6, числовые значения скорости посола и скорости извлечения влаги в процессе посола имеют небольшие расхождения. Таким образом, и эти данные подтверждают наш вывод о том, что нет оснований надеяться на значительное уменьшение утечек при посоле рыбы в циркулирующих тузлуках¹.

Средняя скорость извлечения влаги

Под средней скоростью извлечения влаги² мы понимаем количество влаги, извлеченной из рыбы в процессе посола в единицу времени.

¹ Наши рассуждения относятся только к посолу в насыщенных тузлуках.

² В настоящем разделе мы устанавливаем среднюю скорость изменения содержания влаги в рыбе в процессе посола, т. е. несколько упрощаем задачу.

Способ посола	Продолжительность процесса посола (в мин.)								
	60	120	150	240	300	360	420	480	
В циркулирующих тузлуках	$\frac{dc}{d\theta}$	0,085	0,041	0,026	0,023	—	0,019	0,016	0,015
	$\frac{dW}{d\theta}$	0,078	0,052	0,032	0,025	0,022	0,018	0,016	0,009
Кристаллической солью (сухой посол)	$\frac{dc}{d\theta}$	0,067	0,042	0,023	0,015	—	0,014	—	0,010
	$\frac{dW}{d\theta}$	0,063	0,056	0,044	0,038	0,030	0,024	0,024	0,020
В неподвижных тузлуках	$\frac{dc}{d\theta}$	0,045	0,037	0,023	0,020	0,015	0,010	0,010	0,010
	$\frac{dW}{d\theta}$	0,063	0,052	0,038	0,024	0,020	0,013	0,012	0,012

Значение средней скорости извлечения влаги можно определить из следующей формулы:

$$V_{\text{ср}} = \frac{W_1 - W_2}{\theta},$$

где: W_1 — количество воды в рыбе в начале процесса, в %, г, кг;
 W_2 — количество воды в рыбе в конце процесса, в %, г, кг;
 θ — продолжительность процесса, в (минутах, часах сутках).

В табл. 7 приведены данные, характеризующие среднюю скорость извлечения влаги при различных способах посола.

Таблица 7

Способ посола	W_1 (в %)	W_2 (в %)	$W_1 - W_2$ (в %)	θ (в час.)	$v_{\text{ср}}$ (в %/час.)
В циркулирующих тузлуках	80,84	61,00	19,84	8	2,48
Сухой посол	80,84	61,70	19,14	8	2,39
В неподвижных тузлуках	80,84	64,40	16,44	8	2,06

Из данных табл. 7 можно установить, что средняя скорость извлечения влаги в циркулирующих тузлуках на 0,09%/час. больше, чем при сухом посоле и на 0,42%/час., чем в неподвижных тузлуках. Весьма характерна разность между средней скоростью извлечения влаги и средней скоростью посола рыбы (табл. 8).

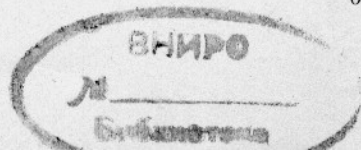


Таблица 8

Способ посола	Средняя скорость посола	Средняя скорость извлечения влаги	Разность между средней скоростью посола и средней скоростью извлечения влаги
В циркулирующих тузлуках	2,00	2,48	0,48
Сухой посол	1,80	2,39	0,59
В неподвижных тузлуках	1,50	2,06	0,56

На основании данных табл. 8 можно сделать два вывода.

Во-первых, разность между средней скоростью посола и извлечения влаги при различных способах посола имеет небольшое расхождение, что не дает основания надеяться на значительное уменьшение утечек при посоле в циркулирующих тузлуках.

Во-вторых, средняя скорость извлечения влаги пропорциональна средней скорости посола, что можно выразить следующей зависимостью:

$$v'_{\text{ср}} = K v_{\text{ср}},$$

где K — коэффициент пропорциональности, зависящий от способа посола, температуры и других факторов.

Если расчет средней скорости извлечения влаги производить, исходя из конечной (равновеликой) солености рыбы, то разница в скоростях увеличится (табл. 9).

Таблица 9

Способ посола	Количество воды, извлеченной из рыбы при содержании соли 12,80%	Продолжительность посола (в час.)	Средняя скорость извлечения влаги (в %/час.)
В циркулирующих тузлуках	15,95	4,54	3,59
Сухой посол	16,85	6,17	2,73
В неподвижных тузлуках	16,45	8,00	2,06

Из данных табл. 9 можно установить, что средняя скорость извлечения влаги при посоле кусков сома (до содержания соли 12,80%) в циркулирующих тузлуках в 1,31 раза больше, чем при сухом посоле и в 1,74 раза, чем в неподвижных тузлуках.

Значительная разница в скорости не может служить основанием к утверждению, что эта скорость может заметно повлиять на величину утечек, так как эта разница образовалась главным образом за счет неодинаковой продолжительности посола. Доказательством сказанному является количество извлеченной из рыбы влаги, которое при всех способах посола имеет близкое значение в пределах 15,95—16,85% (табл. 9).

При посоле сома в циркулирующих тузлуках, по сравнению с сухим посолом, количество извлекаемой из рыбы влаги уменьшается только в 1,05 раза.

Влияние различных способов посола на изменение веса рыбы в процессе посола

Вопрос об утечках при посоле для промышленности имеет не менее важное значение, чем скорость посола. Сторонники посола рыбы в циркулирующих тузлуках и в первую очередь Н. Т. Березин считают, что этот способ посола, по сравнению с сухим и смешанным способами посола, уменьшает утечку минимум в 1,6 раза¹. Поэтому, изучая кинетику процесса, мы сочли необходимым в программу исследований включить и этот вопрос.

Кривые веса

Под кривой веса мы понимаем графическое изображение веса рыбы в зависимости от продолжительности процесса посола. Эту зависимость можно выразить следующим образом:

$$Q = f(\theta),$$

где: Q — вес рыбы, в %, г, кг,

θ — время в минутах, часах, сутках.

На рис. 7 приведены кривые веса, характеризующие изменение веса кусков сома (в %) в процессе посола при различных способах посола. Как видно из рис. 7, кривые веса располагаются между собой на довольно близком расстоянии и в конце процесса убыль веса кусков рыбы при посоле кристаллическою солью и в циркулирующих тузлуках составляет примерно одинаковую величину (21,25—20,65%). Потеря веса при посоле в неподвижных тузлуках меньше — 19,32%.

С целью сравнения в табл. 10 приведены данные, характеризующие изменение количества соли, влаги в кусках сома и веса этих кусков в процессе посола различными способами.

Из данных табл. 10 видно, что при всех трех способах посола утечка в процессе посола увеличивается пропорционально количеству воды (в %), извлекаемой из рыбы. Эта закономерность наиболее последовательно выражена при посоле в тузлуках, особенно в циркулирующих. При посоле кристаллическою солью эта закономерность выражена менее отчетливо, по причине гигроскопичности соли, которая, особенно в первые часы посола, интенсивно обезвоживает поверхностные слои мяса рыбы, что, повидимому, несколько задерживает внутреннюю диффузию влаги из внутренних слоев мяса рыбы на поверхность. И только после того, как поверхность рыбы полностью покрывается тузлуком и слабеет, обезвоживающее действие кристаллической соли, несоответствие между количеством извлекаемой из рыбы влаги и потерей веса становится менее заметным (этот вопрос входит в раздел динамики посола).

Весовой баланс процесса посола

Средний вес куса сома в наших опытах составлял 50 г; исходя из этого веса, составлен весовой баланс процесса посола (табл. 11).

¹ „Рыбное хозяйство“, № 2, 1940.

Таблица 10

Способ посола	Наименование	Продолжительность посола (в мин.)								
		0	60	120	180	240	300	360	420	480
В циркулирующих тузлуках	а) количество извлеченной из рыбы влаги (в %)	0	13,20	20,10	27,40	31,35	35,45	38,00	39,05	41,05
	б) количество вошедшей в рыбу соли (в %)	0	5,65	9,0	10,80	12,25	13,50	14,75	15,85	16,00
	в) потери в весе (в %)	0	7,75	11,05	17,60	19,15	21,95	23,25	23,40	25,85
Кристаллической солью (сухой посол)	а) количество извлеченной из рыбы влаги (в %)	0	9,85	21,85	26,05	30,30	33,05	37,65	38,55	38,95
	б) количество вошедшей в рыбу соли (в %)	0	4,80	8,25	10,15	11,25	12,05	12,65	13,70	14,50
	в) потери в весе (в %)	0	4,55	13,20	16,60	19,65	21,65	25,00	24,80	24,45
В неподвижных тузлуках	а) количество извлеченной из рыбы влаги (в %)	0	10,50	15,10	23,30	28,35	33,20	33,60	35,10	36,15
	б) количество вошедшей в рыбу соли (в %)	0	4,50	7,05	9,00	10,15	11,00	11,65	12,20	12,80
	в) потери в весе (в %)	0	6,00	8,05	14,70	18,00	22,35	22,95	23,00	23,35

Способ посылки	Наименование	Продолжительность посылки (в мин.)									
		0	60	120	180	240	300	360	420	480	
В циркулирующих тузлуках	Вода (в г)	40,40	35,12	32,31	29,12	27,82	26,18	25,15	24,75	23,90	
	Плотные вещества (в г)	9,60	9,18	9,06	—	9,12	9,49	9,33	8,73	9,03	
	Соль (в г)	—	2,75	4,14	4,35	5,16	5,57	5,96	6,32	6,32	
	Всего (в г)	50,00	47,05	45,51	43,25	42,10	41,24	40,44	39,80	39,25	
Кристаллической солью (сухой посыл)	Вода (в г)	40,40	36,51	31,82	29,8	28,15	26,85	25,77	24,93	24,80	
	Плотные вещества (в г)	9,60	9,23	8,46	8,57	8,85	9,06	9,31	9,34	9,19	
	Соль (в г)	—	2,21	3,62	4,33	4,68	4,91	5,07	5,43	5,76	
	Всего (в г)	50,00	45,74	43,9	42,72	41,68	40,82	40,15	39,70	39,75	
В неподвижных тузлуках	Вода (в г)	40,40	36,17	34,17	31,05	29,36	27,09	26,99	26,22	25,92	
	Плотные вещества (в г)	9,60	9,57	9,50	9,59	—	9,25	9,46	9,34	9,14	
	Соль (в г)	—	2,24	3,31	4,01	4,41	4,49	4,80	4,94	5,14	
	Всего (в г)	50,00	47,65	46,98	44,65	43,50	40,83	41,25	40,50	40,20	

Количество плотных веществ определялось по разности.

Как видно из табл. 11, куски сома потеряли воду при восьмичасовом посоле: в циркулирующих тузлуках 16,50 г, или 40,80%, кристаллической солью 15,60 г, или 38,70%, в неподвижных тузлуках 14,48 г, или 35,80% от первоначального количества. Вышеприведенные числа согласуются с конечным содержанием соли в рыбе; тем самым еще раз доказывается справедливость утверждения, что количество извлекаемой влаги из рыбы при посоле зависит главным образом от конечной солености продукта и в значительно меньшей мере от способа посола.

Если разбить процесс посола на четыре периода по два часа в периоде, то можно установить активность процесса по периодам (табл. 12).

Как видно из данных табл. 12, наиболее интенсивно процесс посола протекает в первые два периода. За первые четыре часа посола (два периода) из рыбы извлекается влаги 75,70—78,70% от общего количества извлеченной влаги; количество проникшей в рыбу соли составляет 82,30—87,55% от общего количества соли, проникшей в рыбу; убыль в весе составляет 69,15—73,60% от общей убыли веса рыбы. Наиболее интенсивно происходит извлечение влаги при сухом посоле, особенно в первый период.

Полученные числа достаточно полно характеризуют особенность процесса посола, основанного на явлениях осмоса и диффузии. По мере протекания процесса посола разность осмотического давления растворов соли, окружающих рыбу и находящихся в клеточном соке мяса рыбы, уменьшается, что заметно отражается на интенсивности процесса.

Кривые скорости убыли веса

Под кривой скорости убыли веса в процессе посола мы понимаем зависимость между скоростью убыли веса рыбы $\frac{dQ}{dt}$ и весом рыб (Q).

Скоростью убыли веса в процессе посола мы называем уменьшение веса рыбы (% , г, кг) за единицу времени (минута, час) в определенный период (момент) процесса посола.

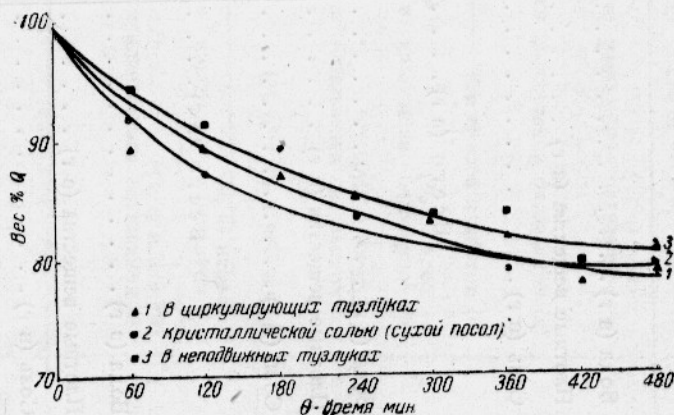


Рис. 7. Кривые веса.

На рис. 8 приводятся кривые скорости убыли веса кусков сома в процессе посола, полученные методом графического дифференцирования кривых веса (рис. 7). Как видно из рис. 8, в начале процесса (линия AA) скорость убыли веса рыбы при посоле в циркулирующих тузлуках и кристаллической солью имеет небольшие расхождения (соответ-

Таблица 12

Способ посола	Наименование	Периоды процесса посола								Всего	
		первый		второй		третий		четвертый		г	%
		г	%	г	%	г	%	г	%		
В циркулирующих тузлуках	1. Количество извлеченной из рыбы влаги	8,01	49,00	4,49	27,23	2,67	16,25	1,25	7,52	16,50	100,0
	2. Количество проникшей в рыбу соли	4,14	66,49	1,02	16,15	0,80	12,65	0,36	4,71	6,32	100,0
	3. Убыль в весе	4,49	38,25	3,41	28,90	1,66	14,15	1,19	18,60	11,75	100,0
Кристаллической солью (сухой посол)	1. Количество извлеченной из рыбы влаги	8,58	55,15	3,67	23,55	2,38	15,25	0,97	6,05	15,60	100,0
	2. Количество проникшей в рыбу соли	3,62	63,90	1,05	18,40	0,33	6,78	0,69	10,92	5,76	100,0
	3. Убыль в весе	6,01	53,55	2,22	19,75	1,53	13,65	0,40	13,05	11,25	100,0
В неподвижных тузлуках	1. Количество извлеченной из рыбы влаги	6,23	42,15	4,81	33,15	2,27	15,70	1,07	9,01	14,48	100,0
	2. Количество проникшей в рыбу соли	3,31	64,20	1,10	21,35	0,33	7,95	0,34	6,45	5,14	100,0
	3. Убыль в весе	3,02	38,15	3,48	35,55	2,25	23,05	1,05	3,25	9,80	100,0

ственно 0,083%/мин. и 0,091%/мин.), в неподвижных тузлуках значительно меньше — 0,062%/мин.

В середине процесса скорость убыли веса во всех случаях имеет близкое значение, затем, это равновесие между количеством соли, поступающей в рыбу, и количеством воды, извлекаемой из рыбы, нарушается и скорость убыли веса к концу процесса быстро уменьшается, достигая во всех трех случаях небольшой величины (0,003—0,008%/мин.).

С целью сравнения в табл. 13 помещены числовые значения скорости посола ($\frac{dC}{dt}$), скорости удаления влаги $\frac{dW}{dt}$ и скорости убыли веса ($\frac{dQ}{dt}$) в процессе посола различными способами.

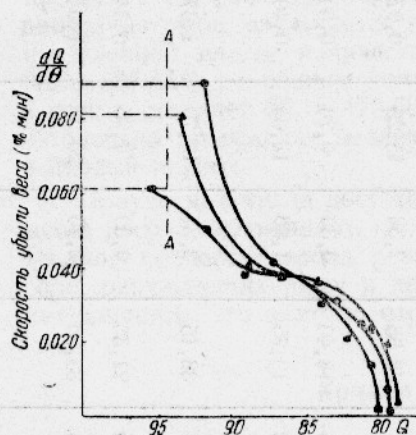


Рис. 8. Кривые скорости изменения веса рыбы:

1 — в циркулирующих тузлуках; 2 — кристаллической солью (сухой посол); 3 — в неподвижных тузлуках.

Сравнивая приведенные в табл. 13 данные, можно обнаружить ту же закономерность, которая была нами уже отмечена, а именно уменьшение интенсивности процесса посола по мере протекания процесса. Весьма характерно, что только в первые 60 минут скорости посола и извлечения влаги при посоле в циркулирующих тузлуках и кристаллической солью значительно больше, чем при посоле в неподвижных тузлуках, а затем значение скорости при всех способах посола фактически одинаково. Таким образом, можно предполагать, что пограничный слой тузлука оказывает влияние на процесс посола только в начале и весьма непродолжительное время, а затем этот фактор уже не имеет существенного влияния.

Средняя скорость убыли веса

Под средней скоростью убыли веса мы понимаем убыль веса в процессе посола за единицу времени.

Среднюю скорость убыли веса при посоле можно определить из следующей формулы:

$$V_{\text{ср}} = \frac{Q_1 - Q_2}{\Theta},$$

где: Q_1 — вес рыбы в начале процесса, в %, г, кг;

Q_2 — вес рыбы в конце процесса, в %, г, кг;

Θ — продолжительность процесса, в минутах, часах, сутках.

В табл. 14 приводятся данные, характеризующие среднюю скорость потери веса кусков сома в течение восьмичасового посола различными способами.

Как видно из данных табл. 14, средняя скорость убыли веса рыбы за одинаковый промежуток времени при посоле в циркулирующих тузлуках на 4,80% больше, чем при сухом посоле, и на 9%, чем в неподвижных тузлуках. Эта разница в скорости значительно увеличивается, если расчет средней скорости производить с учетом конечной солёности рыбы. В этом случае необходимо учитывать конечную солёность кусков

Продолжительность процесса посола (в мин.)

Способ посола	Продолжительность процесса посола (в мин.)									
	0	60	120	180	240	300	360	420	480	
В циркулирующих туз-луках	$\frac{dC}{d\theta}$	0,085	0,041	0,026	0,023	0,023	—	0,019	0,016	0,013
	$\frac{dW}{d\theta}$	0,000	0,078	0,032	0,025	0,022	0,022	0,018	0,016	0,009
	$\frac{dQ}{d\theta}$	0,000	0,083	0,043	0,038	0,037	—	0,027	0,020	0,007
Кристаллической солью (сухой посол)	$\frac{dC}{d\theta}$	0,000	0,077	0,042	0,023	0,015	—	0,014	—	0,011
	$\frac{dW}{d\theta}$	0,000	0,063	0,056	0,044	0,037	0,030	0,024	0,024	0,020
	$\frac{dQ}{d\theta}$	0,000	0,091	0,043	0,037	0,031	0,025	0,022	0,018	0,003
В неподвижных тузлуках	$\frac{dC}{d\theta}$	0,000	0,045	0,037	0,023	0,020	0,015	0,010	0,010	0,010
	$\frac{dW}{d\theta}$	0,000	0,063	0,052	0,038	0,024	0,020	0,013	0,012	0,012
	$\frac{dQ}{d\theta}$	0,000	0,062	0,055	0,039	0,033	0,028	0,021	0,015	0,005

Таблица 14*

Способ посола	Q_1 (в г)	Q_2 (в г)	$Q_1 - Q_2$ (в г)	θ (в час.)	$v''_{\text{ср}}$ (в г/час)
В циркулирующих тузлуках	50,00	39,25	10,75	8	1,34
Сухой посол	50,00	39,75	10,25	8	1,28
В неподвижных тузлуках	50,00	40,40	9,80	8	1,23

сома, посоленных в неподвижных тузлуках, так как при этом способе посола соленость рыбы была наименьшей (табл. 1).

В табл. 15 приводятся данные, характеризующие среднюю скорость убыли веса за промежуток времени, необходимый для достижения солености кусков сома в 12,80% при различных способах посола.

Таблица 15

Способ посола	Q_1 (в г)	Q_2 (в г)	$Q_1 - Q_2$ (в г)	θ (в час)	$v''_{\text{ср}}$ (в г/час)
В циркулирующих тузлуках	50,00	41,65	8,35	4,44	1,88
Сухой посол	50,00	40,24	9,76	5,87	1,66
В неподвижных тузлуках	50,00	40,20	9,80	8,00	1,23

Из данных табл. 15 можно установить, что средняя скорость убыли веса кусков сома, посоленных до содержания соли 12,80%, при посоле в циркулирующих тузлуках в 1,13 раза больше, чем при сухом посоле, и в 1,44 раза, чем в неподвижных тузлуках.

Выводы

1. Введением показателя «скорость посола» достигается возможность проследить за интенсивностью процессов посола и установить влияние на скорость посола разности осмотических давлений растворов соли, окружающего рыбу и находящегося в тканях рыбы.

2. Резкое изменение направления кривых в середине процесса при всех способах посола дает основание предполагать о наличии критических точек в процессе посола.

3. Посол в циркулирующих тузлуках, по сравнению с распространенным в промышленности сухим посолом, незначительно увеличивает скорость посола. Как показали лабораторные исследования (посол кусков сома) средняя скорость посола в циркулирующих тузлуках, по сравнению с сухим посолом, увеличивается максимум в 1,32 раза, а не в 6—7 раз, как утверждает Березин Н. Т.

4. По достижении одинаковой солености в кусках сома (12,80%) количество извлеченной из рыбы влаги при всех способах посола имеет близкое значение и колеблется в пределах 15,95—16,85%.

* Данные для расчета взяты из табл. 11.

При посоле сома в циркулирующих тузлуках, по сравнению с сухим посолом, можно рассчитывать на уменьшение количества извлекаемой влаги только в 1,05 раза. Поэтому нет оснований рассчитывать, что посол рыбы в циркулирующих насыщенных тузлуках может решить проблему увеличения выхода соленой продукции.

5. Скорость извлечения влаги из рыбы при существующих способах посола пропорциональна скорости посола. Это правило справедливо для случая, когда в течение всего процесса посола рыба находится в насыщенном растворе соли.

6. Наши лабораторные исследования не подтвердили выводов сторонников посола рыбы в циркулирующих тузлуках, что применением этого способа посола можно значительно повысить выход готовой продукции. При посоле сома (до содержания соли 12,80%) в циркулирующих тузлуках, по сравнению с распространенным в промышленности сухим посолом, можно уменьшить утечку максимум в 1,17 раза.

7. Если процесс посола расчленим, например, на четыре периода одинаковой продолжительности, то можно установить, что наиболее интенсивно он протекает в первые два периода. Так, при всех способах посола сома за первые два периода (первые четыре часа) посола из рыбы извлекается влаги 75,70—78,70% от общего количества извлеченной влаги, количество проникшей в рыбу соли составляет 82,30—87,55% от общего количества соли, проникшей в рыбу, убыль в весе составляет 69,15—73,60% от общей убыли веса рыбы.