

## ЭЛЕКТРОСОПРОТИВЛЕНИЕ МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ РАННИХ ПОСМЕРТНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ РЫБЫ

*Кандидат технических наук Т. И. Макарова*

Лаборатория контроля производства ВНИРО

В поисках быстрого метода определения свежести рыбы было применено измерение электропроводности непосредственно мышечной ткани, а также 10%-ной водной вытяжки из мяса рыбы. Для удобства результаты выражали величиной, обратной электропроводности, а именно, сопротивлением прохождению электрического тока, которое в дальнейшем мы будем называть электросопротивлением, или просто сопротивлением.

Вначале в лабораторных условиях была изучена динамика изменения электросопротивления водной вытяжки из мяса и мышечной ткани рыбы при хранении ее во льду и при положительной температуре (от 8 до 15°). Объектом исследования служил товарный прудовый карп. Рыбу доставляли в живом виде, оглушали ударом по голове и укладывали на хранение в специальные ящики. Через определенные промежутки времени сохраняемую рыбу осматривали и отбирали пробы для исследования.

Одновременно было проведено значительное количество опытов с целью уточнить технику измерения электросопротивления мышечной ткани и изучить влияние на ее величину различных факторов: строения и жирности ткани, температуры, способа умерщвления рыбы, расположения и конструкции электродов.

Результаты всех лабораторных наблюдений были затем проверены в производственных условиях при исследовании большого количества товарных образцов парной и охлажденной рыбы различной сортности. Эта работа проводилась в Волго-Каспийском районе на трех основных промысловых видах крупной частиковой рыбы — судаке, сазане и леще. Пробы для исследования отбирали на приемных плотах и в цехах производственных предприятий. Органолептическая оценка и определение сортности рыбы проводились опытными товароведами.

### Техника измерения электросопротивления

1. Электросопротивление водной вытяжки из мяса рыбы измерялось при 18° обычным для жидкостей способом с помощью прибора для электропроводности ЦНИЛКИП с гальванометром в качестве нуля-аппарата и питанием от осветительной сети.

2. Электросопротивление мышечной ткани рыбы измерялось непосредственно в теле целой рыбы с помощью того же прибора для определения электропроводности и специальных платиновых электродов копьевидной формы. Применяемые на всем протяжении ра-

боты электроды имели поверхность электрода (копья) около  $0,7 \text{ см}^2$ , расстояние между электродами —  $20 \text{ мм}$ , емкость сопротивления электродов — около  $0,5$ . Было также испытано несколько других видов электродов.

Электроды вводили в спинку рыбы, прокалывали ими освобожденную от чешуи кожу и легким нажимом погружали в толщу мышечной ткани. Плоскость электродов располагалась обычно поперек тела рыбы (направление тока вдоль волокон ткани), но в некоторых опытах также и вдоль тела рыбы (направление тока поперек волокон ткани). Сопротивление мышечной ткани измеряли в трех участках по длине тела рыбы — приголовке, средней части и хвостовой части (рис. 1). Измерения

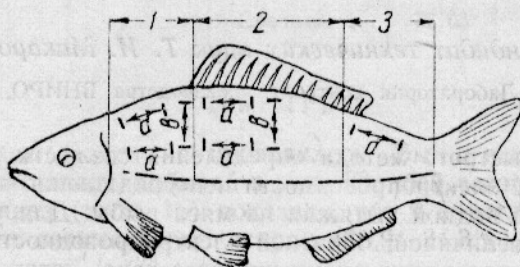


Рис. 1. Расположение электродов в рыбе при измерении электросопротивления мышечной ткани:

1 — приголовок, 2 — средняя часть, 3 — хвостовая часть. Штрихлиния обозначает места проколов ткани электродами. Стрелками показано направление тока между электродами: а — вдоль, б — поперек волокон ткани.

делали с обеих сторон тела рыбы. Из полученных результатов наблюдений вычисляли среднее значение удельного сопротивления для каждого участка тела.

Специальные опыты показали, что применение компенсации емкостного сопротивления мышечной ткани при измерении ее омического сопротивления повышает точность измерения, облегчает нахождение точки компенсации и оказывается особенно полезным при работе с рыбой ухудшенного качества. На основании этих опытов был собран магазин емкости в пределах от  $0,1$  до  $6,0$  микрофарад, который был присоединен к прибору для определения электропроводности параллельно реостату омического сопротивления. Такая установка применялась и оказалась весьма удобной при исследовании многочисленных проб судака, сазана и леща.

## Результаты исследования

В процессе работы сделаны следующие наблюдения.

1. Электросопротивление водной вытяжки из мяса мало изменяется по мере ухудшения качества рыбы вплоть до глубокой ее порчи. Размер и характер изменения сопротивления вытяжки зависят от температуры хранения рыбы. При хранении рыбы во льду сопротивление вытяжки постепенно увеличивается, а при хранении в тепле ( $8-14^\circ$ ) уменьшается тем сильнее, чем выше температура хранения (рис. 2). Это объясняется различием в ходе процесса распада белков мяса у рыбы, сохраняемой при различной температуре. Было найдено, что при температуре плюс  $8-14^\circ$  распад белков вследствие энергичного действия бактерий идет

глубже, чем при 0°, и сопровождается быстрым накоплением конечных продуктов распада, являющихся электролитами, и уменьшением альбуминовой фракции белков. При 0° процесс распада замедлен и характеризуется накоплением переходящих в водную вытяжку, не проводящих ток белковых веществ.

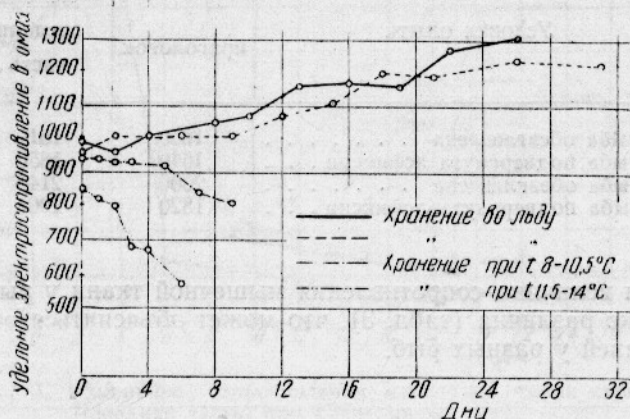


Рис. 2. Изменение электросопротивления 10%-ной водной вытяжки из мяса при хранении карпа в различных условиях.

2. Электросопротивление мышечной ткани в различных участках тела рыбы не одинаково и увеличивается от головы к хвосту. Наблюдения над только что убитым карпом (табл. 1) показали, что это не связано с наличием жира в мышечной ткани. Такое увеличение сопротивления объясняется особенностями строения мышечной ткани рыбы, а именно уменьшением размера септ и увеличением количества плохо проводящих ток перегородок соединительной ткани в направлении от головы к хвосту.

Таблица 1

Приголовок		Средняя часть		Хвостовая часть	
Удельное сопротивление (в омах)	Жирность (в %)	Удельное сопротивление (в омах)	Жирность (в %)	Удельное сопротивление (в омах)	Жирность (в %)
1940	3,35	2100	2,65	2390	2,86
1620	2,13	1750	1,72	2160	1,53

3. Мышечная ткань живой, а также недавно убитой или уснувшей рыбы имеет высокое удельное сопротивление, обычно от 1000 до 2500 ом при 15°.

У отдельных экземпляров рыбы одного вида наблюдаются индивидуальные колебания сопротивления мышечной ткани, зависящие, повидимому, в значительной степени от предсмертного состояния рыбы, в частности, от утомления при отсадке, перевозке и т. п.

Наблюдения над карпами показали, что величина сопротивления мышечной ткани весьма близка у экземпляров, поступивших одновременно, но заметно различается у разновременной полученной рыбы. При этом найдено, что способ умерщвления рыбы — быстрое обезглавливание

после изъятия из воды или смерть от асфиксии — влияет на величину сопротивления мышечной ткани (табл. 2).

Таблица 2

№ опыта	Условия опыта	Удельное сопротивление (в омах)		
		приголовок	средняя часть	хвостовая часть
1	Рыба обезглавлена . . . . .	1650	1810	2070
	Рыба подвергнута асфиксии . . . . .	1640	1850	2160
2	Рыба обезглавлена . . . . .	2000	2140	2450
	Рыба подвергнута асфиксии . . . . .	1820	2060	2520

Средняя величина сопротивления мышечной ткани у рыб разных видов несколько различна (табл. 3), что может объясняться особенностями строения тканей у разных рыб.

Таблица 3

Вид рыбы	Удельное сопротивление «средней части» при 15° (в омах)	
	от — до	среднее
Сазан . . . . .	1290—1580	1400
Лещ . . . . .	1040—1750	1290
Судак . . . . .	1320—2420	1860

4. При хранении рыбы как во льду, так и в тепле, электросопротивление мышечной ткани резко уменьшается (до 400—500 ом при 15°) в период разрешения посмертного окоченения, а далее вплоть до глубокой порчи рыбы изменяется очень мало (рис. 3 и 4).

Параллельные химические исследования рыбы показали, что снижение сопротивления мышечной ткани при разрешении посмертного окоченения не может объясняться химическими изменениями в мышцах. С другой стороны, было найдено, что при искусственно вызванном быстром нарушении окоченения путем растирания окоченевшей рыбы (леща) до размягчения происходит очень резкое снижение сопротивления мышечной ткани (табл. 4). Кроме того, когда измерение проводилось

Таблица 4

№ опыта	Рыба в полном окоченении			Окоченение рыбы нарушено		
	удельное сопротивление			удельное сопротивление		
	вдоль волокон $R_1$	поперек волокон $R_2$	$\frac{R_1}{R_2}$	вдоль волокон $R_1$	поперек волокон $R_2$	$\frac{R_1}{R_2}$
1	1250	1760	0,71	740	860	0,87
2	1240	1690	0,73	540	660	0,82
Среднее	1245	1725	0,72	640	760	0,85

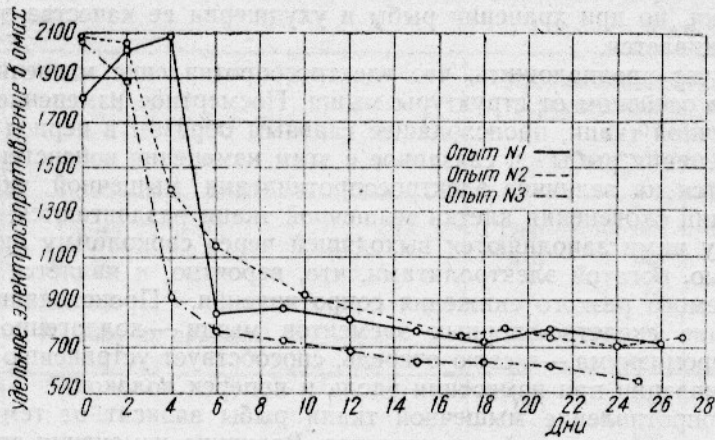


Рис. 3. Изменение сопротивления мышечной ткани карпа (средняя часть) при хранении во льду.

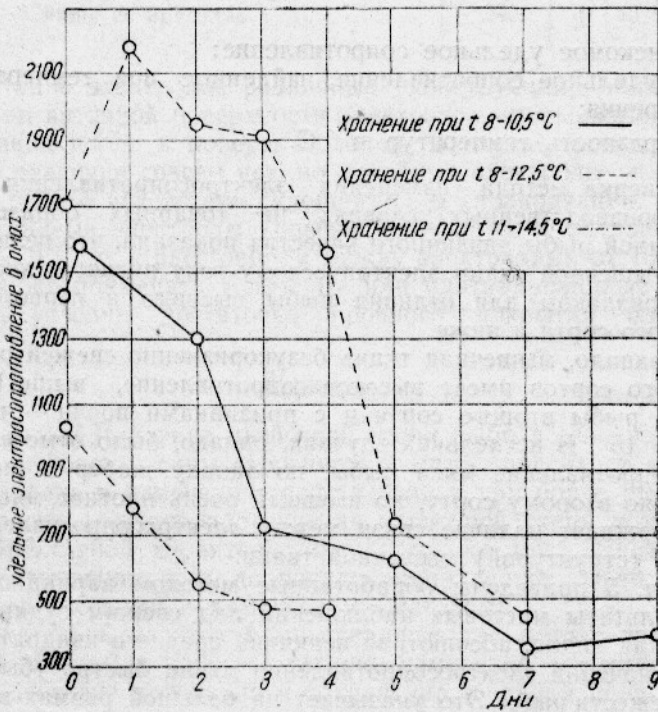


Рис. 4. Изменение электросопротивления мышечной ткани карпа (средняя часть); хранение при температуре 8—14,5°.

с электродами большой поверхности (около 0,7 см<sup>2</sup>), было обнаружено, что у совершенно свежей рыбы сопротивление мышечной ткани, измеряемое в направлении вдоль волокон, меньше, чем в направлении поперек волокна, но при хранении рыбы и ухудшении ее качества это различие сглаживается.

Следует предположить, что электросопротивление мышечной ткани зависит в основном от структуры мышц. Посмертное изменение структуры мышечной ткани, происходящее главным образом в период разрешения окоченения рыбы<sup>1</sup> и связанное с этим изменение консистенции мяса отражаются на величине электросопротивления мышечной ткани. При разрешении окоченения клетки мышечной ткани раздвигаются, и просветы между ними заполняются выходящей через сарколемму лиофильной жидкостью, богатой электролитами, что, вероятно, и является причиной наблюдаемого резкого снижения сопротивления. Происходящее далее разрушение скелетно-опорных элементов мышц — коллагенной основы септ и перемизума, — в свою очередь, способствует устранению различий в сопротивлении при измерении вдоль и поперек волокон.

5. Сопротивление мышечной ткани рыбы зависит от температуры, с повышением последней уменьшается. Величина изменения сопротивления в зависимости от температуры несколько различается у рыбы разной степени свежести и составляет в среднем 2,5% на 1°. Пользуясь этим коэффициентом, можно приводить найденные при температуре от 0° до 25° значения сопротивления к заданной постоянной температуре, лежащей в указанных пределах, по формуле:

$$R_x = \frac{R_t \cdot 100}{100 \pm 2,5\alpha},$$

где:

$R_x$  — искомое удельное сопротивление;

$R_t$  — удельное сопротивление, найденное при температуре измерения;

$\alpha$  — разность температур в °С.

6. Проверка метода измерения электросопротивления мышечной ткани в производственных условиях на товарных образцах свежей и охлажденной рыбы различного качества показала, что величина сопротивления мышечной ткани электрическому току является достаточно надежным признаком для отличия рыбы высшего и первого сортов от рыбы второго сорта и ниже.

Как правило, мышечная ткань безукоризненно свежей рыбы высшего и первого сортов имеет высокое сопротивление, выше 600—700 ом при 15°, а рыбы второго сорта и с признаками порчи — низкое, ниже 500 ом при 15°. В нескольких случаях, однако, было отмечено довольно высокое сопротивление мяса рыбы, по запаху жабер и внутренностей относимой ко второму сорту, но имевшей очень плотное мясо; это явление подтверждает наличие связи между электросопротивлением и консистенцией (структурой) мышечной ткани.

В табл. 5 приведены обработанные методом вариационной статистики результаты массовых наблюдений над свежим судаком, сазаном и лещом. Как видно, абсолютная величина среднего квадратического отклонения значений электросопротивления мышц быстро убывает со снижением свежести рыбы. Это указывает на большой размах в колебаниях консистенции мяса рыбы, относимой при экспертизе к первому и второму сортам (рыба живая и только что уснувшая и с законченным разреше-

<sup>1</sup> Г. Ф. Бромлей, Значение септ и перемизума рыбы в технических процессах, «Рыбное хозяйство», № 6, 1940.

нием окоченения). У рыбы третьего сорта и ниже средние квадратические отклонения незначительны, потому что к этим группам относятся рыбы с одинаковой консистенцией мяса (после разрешения окоченения).

Таблица 5

Вид рыбы	Качество рыбы	Удельное сопротивление "средней части" при 15° (в омах)		
		M	$\sigma$	$\pm M\sigma$
Судак	I сорт . . . . .	1280	$\pm 790$	2070—590
	II сорт . . . . .	340	$\pm 160$	500—180
	III сорт . . . . .	260	$\pm 40$	300—220
	В пищу не пригодна . . . . .	220	$\pm 30$	250—190
Сазан	I сорт . . . . .	1170	$\pm 520$	1690—650
	II сорт . . . . .	520	$\pm 190$	710—330
	III сорт . . . . .	330	$\pm 50$	380—280
	В пищу не пригодна . . . . .	260	$\pm 80$	340—180
Лещ	I сорт . . . . .	1000	$\pm 520$	1520—480
	II сорт . . . . .	490	$\pm 90$	580—400
	III сорт . . . . .	370	$\pm 80$	450—290
	В пищу не пригодна . . . . .	240	$\pm 60$	300—180

7. Испытание электродов различных конструкций показало, что с уменьшением активной поверхности электродов уменьшаются различия в сопротивлении вдоль и поперек волокон. В случае игловидных электродов этого различия совсем нет, но подобные электроды оказались неудобными в работе вследствие склонности к поляризации. Наиболее удобны платиновые электроды копьевидной формы с активной поверхностью в 0,2—0,3 см<sup>2</sup> и расстоянием между электродами от 10 до 20 мм. Возможно также применять золоченые или платинированные электроды из стали при условии достаточно прочного покрытия благородным металлом.

### Выводы

1. Электросопротивление мышечной ткани рыбы в основном обуславливается ее гистологическим строением и мало зависит от накопления продуктов распада и изменения свойств белков при порче рыбы.

2. Измерение электросопротивления мышечной ткани можно применять для объективной характеристики состояния мяса рыбы в начале посмертного изменения, т. е. до появления признаков порчи, открываемых органолептическими и химическими методами.

3. Положительными качествами предлагаемого метода являются быстрота (1—3 минуты) и простота техники измерения, отсутствие необходимости в подготовке материала и сохранение товарной ценности исследуемого объекта.

4. Для удобства массовых измерений омического сопротивления мышечной ткани рыбы может быть сконструирован специальный портативный прибор с компенсацией температуры и емкостного сопротивления рыбы и непосредственным отсчетом результатов на шкале прибора.