

597-V5: 597-111

УДК 597—111(262.5)

✓ **ИЗМЕНЕНИЕ УРОВНЯ ГЛИКЕМИИ  
У НЕКОТОРЫХ ЧЕРНОМОРСКИХ РЫБ  
ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА**

Л. А. Балаев, А. М. Котов

Известно (Нусенбаум, Фалеева, 1961), что постоянный электрический ток в зависимости от величины напряженности поля вызывает у рыб три последовательных ответных реакции: первую (ПР), анодную (АР) и состояние наркоза, или шок (Ш). Эти реакции свойственны всем рыбам, но у разных видов они проявляются по-разному.

В связи с тем что неизвестны механизм действия электрического тока на рыбу и изменения, вызываемые им в различных системах организма, неясны и причины возникновения этих реакций.

Поскольку сахар крови — один из самых лабильных компонентов организма, чутко реагирующий на изменение внешних условий (Лейбсон, 1962), мы задались целью проследить динамику гликемии в крови рыб при воздействии на них электрического тока и сопоставить эти изменения в экологическом аспекте.

Данных об изменении уровня сахара крови в результате действия электрического тока в литературе очень мало. Можно, например, сослаться на клинические исследования действия электросна на человека (Гиляровский и др., 1958), выявившие некоторое повышение уровня сахара (с 58 до 64 мг%) и уменьшение редуцирующих веществ (с 32 до 18 мг%) во время сна.

Относительно животных нет даже таких скудных сведений. Мы попытались проследить процессы, происходящие в организме рыб под воздействием сильных электрических токов.

#### Материал и методика

Эксперименты ставились на двух видах черноморских рыб, представляющих две разные экологические группы: пелагическую (ставрида — *Trachurus mediterraneus ponticus*, Aleev) и придонную (мерланг — *Odontogadus merlangus euxinus*, Nordmann). Единичные наблюдения проведены также над черноморской хамсой — *Engraulis encrasiolus ponticus*, Alexandrov и ласкирем — *Diplodus annularis* (L.).

Работа выполнена в АзчерНИРО и в Грузинском отделении ВНИРО. Отловленная рыба адаптировалась в течение суток к аквариальным условиям.

Содержание сахара в крови рыб определяли по Хагедорну — Иенсену (у ставриды и хамсы) и ортотолоуидиновым методом (у мерланга и ласкиря).

Опыт ставили в деревянном аквариуме, выстланном полиэтиленовой пленкой, размером  $400 \times 450 \times 1550$  мм. В качестве источника тока использовали диодный двухполупериодный выпрямитель, собранный на базе ВСА-12. Получаемый от него ток — прямой, пульсирующий, с частотой пульсации 100 периодов в секунду.

Величины напряженности поля соответствовали порогам трех перечисленных выше реакций: порогу первой реакции (ППР), порогу анодной реакции (ПАР) и порогу шока (ПШ). Каждую рыбу отдельно помещали в экспериментальный аквариум и включали (на 5, 30, 60 или 90 сек.) ток необходимой силы, после чего из хвостовой вены рыбы брали кровь на исследование.

Напряженность поля электрического тока для ставриды составляла 0,8; 5 и 12 в/м; для мерланга — 1,4; 8 и 32 в/м; для хамсы — 8 в/м; для ласкиря — 28 в/м. Параллельно исследовали контрольную рыбу той же партии, не подвергавшуюся воздействию тока.

Параметры электрического тока вычисляли на основании закона Ома в дифференциальной форме по формуле

$$E = \frac{\sigma}{\gamma},$$

где  $\sigma$  — плотность тока, А/м<sup>2</sup>;

$\gamma$  — удельная электропроводность воды, ом<sup>-1</sup>·м<sup>-1</sup>;

$E$  — напряженность поля, в/м.

Плотность тока определяли в соответствии с показаниями амперметра и площадью поперечного сечения аквариума, электропроводность воды (исходя из ее солености и температуры) — по океанологическим таблицам (Зубов, Чигирин, 1940).

Весь цифровой материал обработан статистическим методом с вычислением средней  $\bar{x}$ , среднеквадратического отклонения  $\sigma$  и среднеквадратической ошибки  $S\bar{x}$  (Рокицкий, 1961).

### Результаты исследований

Влияние тока на уровень гликемии ставриды показано в табл. 1. Материал статистически достоверен ( $P < 0,001$ ) и позволяет судить об уровне сахара крови ставриды после пребывания ее в поле электрического тока.

Поскольку 5-секундное действие пороговыми величинами тока, вызывающими все три реакции, не дало значимых различий в уровнях гликемии, эти данные были объединены. Как видим, уровень сахара крови от такого хотя и сильного, но кратковременного воздействия практически не изменился.

Точно так же ток ППР 30 и 60-секундной длительности не отразился на уровне гликемии. Лишь 90-секундное воздействие тока этой величины вызвало повышение уровня сахара крови в 1,2 раза ( $P < 0,001$ ).

После 30-секундного действия поля тока, вызывающего анодную реакцию, уровень сахара увеличился в 1,5 раза. Дальнейшее увеличение времени пребывания рыбы в поле тока той же напряженности повысило содержание глюкозы в меньшей степени (в 1,4 и 1,3 раза по сравнению с контролем).

Таблица 1

Уровень сахара крови ставриды (в мг%)  
до и после воздействия  
поля электрического тока

Длительность воздействия, сек.	n	$x \pm Sx$	$\sigma$
		Все пороги	
0	10	62±7	23
5	19	69±4	18
		ППР	
0	15	212±11	43
30	5	209±6	91
60	5	212±7	13
0	10	146±9	27
90	6	177±10	24
		ПАР	
0	10	106±11	33
30	6	160±3	7
60	6	149±17	47
0	10	146±9	27
90	6	185±14	34
		ПШ	
0	10	106±11	33
30	6	184±8	19
0	10	146±9	27
60	6	172±8	20

Таблица 2

Уровень сахара крови мерланга (в мг%)  
до и после воздействия  
электрического тока (n=10)

Длительность воздействия, сек.	$x \pm Sx$	$\sigma$	
		ППР	
0	90±4,6	14,5	
5	98±6,0	19,0	
30	100±9,6	30,4	
60	94±6,4	20,3	
90	92±9,2	29,4	
		ПАР	
0	98±7,6	24,0	
5	126±6,0	19,1	
30	100±11,5	36,3	
60	99±7,4	23,4	
90	68±5,9	18,8	
		ПШ	
0	119±14,8	46,7	
5	111±10,1	32,1	
30	115±12,0	38,0	
60	92±14,4	45,4	
90	89±7,1	22,3	

Наконец, после 30-секундного воздействия поля тока со значением напряженности, равным порогу наркоза, уровень сахара возрос в 1,7 раза. Однако через 60 сек ток той же напряженности вызвал повышение уровня сахара лишь в 1,15 раза.

У черноморской хамсы наблюдалась еще большая гликемия, чем у ставриды. При напряженности, вызывающей анодную реакцию, после 30 сек. выдерживания содержание сахара у нее возросло в 2,5 раза (соответственно  $28 \pm 5$  и  $66 \pm 10$  мг%).

У придонных рыб изменение уровня гликемии происходило иначе (табл. 2). Напряженность поля ППР независимо от длительности воздействия тока не вызвала никаких изменений в содержании сахара. Незначительные отклонения средней от контроля недостоверны. Однако после 5 сек воздействия тока ПАР уровень глюкозы поднялся почти в 1,3 раза ( $P < 0,01$ ). Дальнейшее увеличение времени действия тока восстановило исходное содержание сахара, а через 90 сек оно снизилось почти на 30% ( $P < 0,001$ ).

При действии поля тока ПШ повышения гликемии вообще не наблюдалось. Среднее содержание сахара постепенно снижалось, но разность с контролем стала достоверной лишь после 90-секундного воздействия ( $P < 0,05$ ).

Характерно, что у другой придонной рыбы — ласкиря (у него отсутствует анодная реакция) динамика уровня гликемии идентична (табл. 3).

Поскольку у ласкиря порог шока вдвое выше, чем у мерланга (68 в/м против 32 в/м), его подвергали действию тока более высокой напряженности (28 в/м против 8 в/м). Применительно к мерлангу такая напряженность превысила бы ПАР вдвое и рыба устремилась бы к аноду.

Таблица 5

Уровень сахара крови у ласкиря (в мг%) до и после воздействия на него электрического тока

Длительность воздействия, сек	$\bar{x} \pm Sx$	$\sigma$
0	60 ± 4,6	14,5
5	67 ± 1,1	3,9
30	45 ± 2,0	6,4
60	61 ± 4,1	13,0
90	42 ± 2,3	7,2

Хотя у ласкиря и нет анодной реакции, при указанных значениях тока он стремительно движется по аквариуму во всех направлениях, совершая резкие повороты в стороны. Результат этого незамедлительно сказывается на картине сахара крови. При 5-секундном воздействии тока содержание глюкозы незначительно повышается (разность с контролем недостоверна —  $P < 0,2$ ); при 30-секундном — резко (на 25%) снижается ( $P < 0,01$ ), и хотя при 60-секундном воздействии тока уровень сахара приходит в норму, при 90-секундном — снова возникает гипогликемия.

Видимо, именно активное движение рыбы в поле электрического тока является причиной снижения количества глюкозы в крови. Усиленная (до тетануса в состоянии шока) мышечная нагрузка требует большого расхода энергии. Подтверждением тому может служить почти двукратное увеличение содержания молочной кислоты в крови ласкиря при том же значении тока ( $32,8 \pm 1,1$  мг% против  $18,8 \pm 0,9$  мг%) за две минуты воздействия, свидетельствующее об интенсивном гликолитическом распаде углеводов.

При продолжительной мышечной нагрузке у ставриды отмечалось повышение содержания глюкозы в крови (Морозова, 1971). За первые 15 мин усиленной нагрузки сахар крови возрастал в среднем на 8 мг%/мин, а снижение его уровня наблюдалось лишь после нескольких часов работы. В нашем случае при действии сильных токов уровень глюкозы за первые 30 сек возрастал на 54—78 мг% (см. табл. 1), т. е. в 14—19 раз интенсивнее, а уже через минуту — лишь на 26 мг%, т. е. только в 3 раза интенсивнее.

Возможно, электрический ток нарушает процессы гликолиза и не позволяет использовать глюкозу, депонированную в мышцах и печени. Не исключено, что при напряженностях поля, не приносящих прямого вреда организму (например, при его значениях, вызывающих АР), смерть рыбы наступает вследствие гипогликемии.

Для более наглядного представления взаимозависимости трех меняющихся величин (значение тока, длительность его действия, изменение уровня гликемии) мы построили номограммы для ставриды и мерланга (рис. 1). На вертикальной оси номограмм отложен уровень сахара кро-

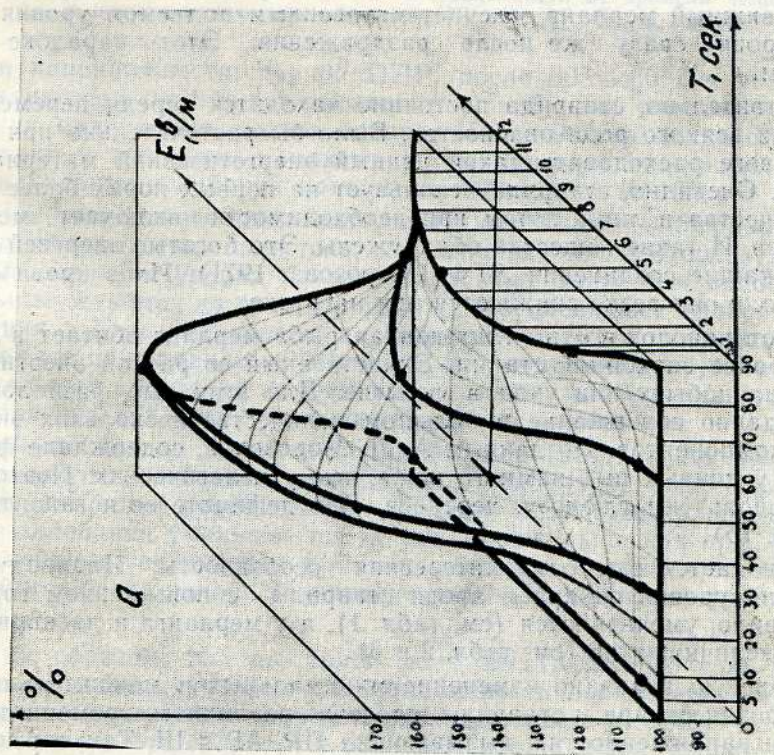
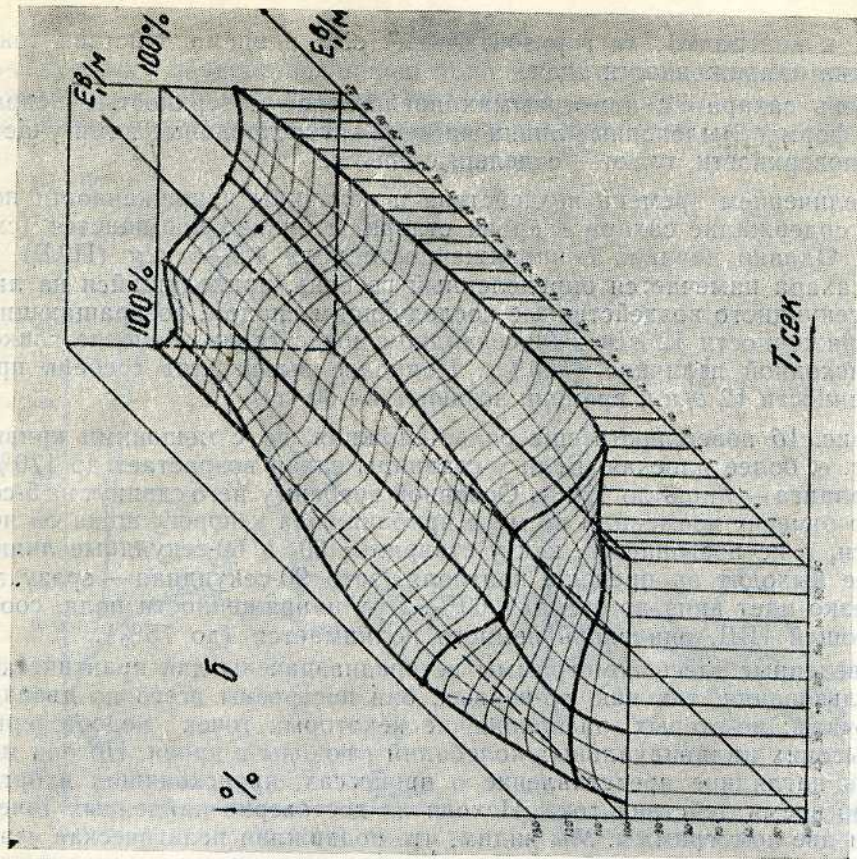


Рис. 1. Изменения уровня сахара в крови стариды (а) и мерланга (б) в зависимости от времени действия тока и напряженности

ви (в % к контролю), на горизонтальных осях — время действия тока и величина напряженности поля.

Уровень сахара на номограммах представлен поверхностью неправильной формы. Выделенные линии на ней — исследованные нами участки этой поверхности, точки — отдельные опыты.

С увеличением времени воздействия и величины напряженности поля тока содержание сахара в крови ставриды плавно повышается (см. рис. 1а). Однако начиная с напряженности поля 4,5—5 в/м (ПАР), в уровне сахара намечается определенный гребень, приходящийся на линию 30-секундного воздействия, с последующим спадом, возвращающим при напряженности 12 в/м и 90-секундном воздействии значение гликемии к исходной величине (100%). Наиболее высок этот гребень при напряженности 12 в/м и времени воздействия 30 сек.

На рис. 1б поверхность еще более сложная, но с меньшими кривизнами, т. е. более плоская. Если у ставриды сахар возрастает до 170%, то у мерланга — лишь до 128%. Основной гребень у него сдвинут на 5-секундную отметку времени, и по мере приближения к порогу шока он понижается, а не повышается, как у ставриды; 30- и 60-секундные линии почти не выходят за пределы контроля, зато 90-секундная — сразу за ППР резко идет вниз до отметки 69%. При напряженности поля, соответствующей ПШ, она вновь немного поднимается (до 75%).

Приведенные здесь номограммы не предназначены для практического использования, так как, во-первых, они построены всего по двенадцати точкам; во-вторых, расположение некоторых точек недостоверно из-за высоких индивидуальных колебаний глюкозы в крови. Но они могут дать наглядное представление о процессах, происходящих в организме во время действия тока. Исходя из достоверно найденных точек, сравним две номограммы. Мы видим, что подвижная пелагическая ставрида имеет заметную инерцию организма на кратковременное раздражение даже сильным током, в то время как придонный и сравнительно малоподвижный мерланг отвечает мгновенным подъемом уровня гликемии в крови сразу же после раздражения. Этот парадокс легко объяснить.

Действительно, ставрида постоянно находится среди переменчивых течений и всякого рода опасностей. Было бы расточительно при малейшей тревоге расходовать такой ценный энергетический материал, как глюкоза. Очевидно, ставрида использует на первых порах более «дешевые» вещества и лишь потом при необходимости включает механизм гликолиза. И такие вещества обнаружены. Это богатые энергией фосфоросодержащие соединения ЛГФ (Морозова, 1971). Их в крови ставриды много, и они резко снижаются при нагрузке.

В противоположность ей придонная рыба мерланг обитает в относительно более спокойной стадии. Единственный ее расход энергии — это бросок на добычу или уход в укрытие. Для этих рыб физиологически неоправданно содержание в большом количестве нескольких энергетических компонентов. По данным А. Л. Морозовой, содержание фосфора в крови у донных рыб намного ниже, чем у пелагических. Поэтому они сразу используют глюкозу, перенося при дефиците ее и гипогликемию (см. рис. 1б).

Наблюдается еще одна интересная особенность. Индивидуальные колебания уровня сахара в крови ставриды с повышением гликемии, как правило, уменьшаются (см. табл. 1), а у мерланга и ласкиря — наоборот, увеличиваются (см. табл. 2 и 3).

На рис. 2а показано изменение минимальных и максимальных значений уровня сахара у ставриды в течение различного времени действия тока при напряженностях, вызывающих ПР, АР и Ш. Так, в результате

5-секундного воздействия полем тока всех напряженностей эти индивидуальные колебания уменьшились почти на 20% за счет некоторого снижения максимальных и увеличения минимальных значений гликемии.

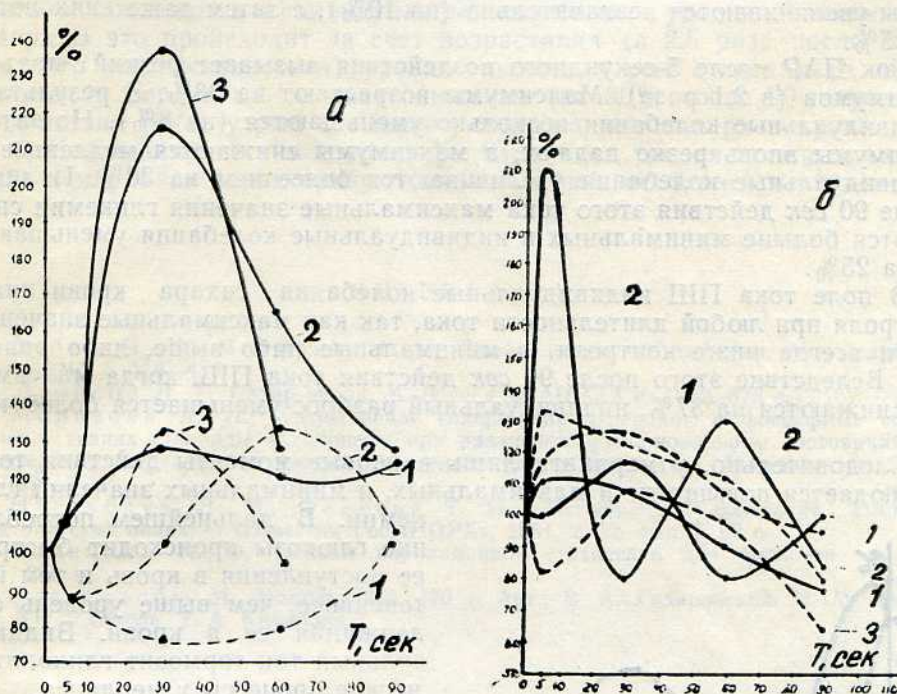


Рис. 2. Изменения минимальных (—) и максимальных (---) значений уровня глюкозы у ставриды (а) и мерланга (б) в зависимости от времени действия тока и напряженности, вызывающей ПР (1), АР (2) и Ш (3)

При напряженности, равной ППР, после 30 и 60 сек воздействия индивидуальные колебания уменьшились в 3 раза вследствие резкого снижения максимумов уровня сахара. После 90 сек воздействия тока возрастают и минимум, и максимум, но минимум в большей степени. Индивидуальные колебания меньше контроля лишь на 10%.

Резкое уменьшение индивидуальных колебаний наблюдалось при 30-секундном действии поля тока, вызывающего АР. В этом случае минимальные значения уровня сахара возрастают более чем вдвое, а максимальные остаются на прежнем уровне, что уменьшает индивидуальные колебания в 5 раз. Дальнейшее увеличение времени воздействия поля тока той же напряженности вызвало не уменьшение, а увеличение индивидуальных колебаний за счет возрастания максимумов и снижения (по сравнению с 30-секундным воздействием) минимумов.

Особенно велико возрастание минимумов (почти в 2,4 раза) после 30-секундного воздействия тока ПШ. Но максимумы также возрастают, и вершины кривых совпадают по времени. Вследствие этого индивидуальные колебания уменьшаются не так значительно, как при АР и ПР. С дальнейшим увеличением времени воздействия кривая минимумов и максимумов резко падает. Индивидуальные колебания меньше контроля на 25%.

Таким образом, под действием поля электрического тока у особей ставриды с низким уровнем глюкозы скорость поступления ее в кровь значительно превышает скорость расходования. У особей с высоким уровнем сахара эти скорости в основном равны, а иногда расходование даже превышает поступление.

У мерланга наблюдается обратная картина (рис. 2б). Ток ППР любой длительности вызывает увеличение индивидуальных колебаний вследствие возрастания (до 25%) максимумов, в то время как минимумы увеличиваются незначительно (на 10%), а затем даже снижаются на 25%.

Ток ПАР после 5-секундного воздействия вызывает резкий подъем минимумов (в 2,1 раза). Максимумы возрастают на 33%. В результате индивидуальные колебания несколько уменьшаются (на 8%). Но затем минимумы вновь резко падают, а максимумы снижаются медленнее и индивидуальные колебания увеличиваются более чем на 30%. И лишь после 90 сек действия этого тока максимальные значения гликемии снижаются больше минимальных и индивидуальные колебания уменьшаются на 25%.

В поле тока ПШ индивидуальные колебания сахара крови ниже контроля при любой длительности тока, так как максимальные значения почти всегда ниже контроля, а минимальные либо выше, либо равны ему. Вследствие этого после 90 сек действия тока ПШ, когда максимумы снижаются на 37%, индивидуальный разброс уменьшается более чем вдвое.

Следовательно, у мерланга лишь в первые моменты действия тока наблюдается повышение и максимальных, и минимальных значений гликемии. В дальнейшем потребление глюкозы происходит быстрее ее поступления в кровь и тем интенсивнее, чем выше уровень содержания ее в крови. Видимо, сильный ток тормозит гликолитические процессы у мерланга.

Сравнив табл. 1 и 2, можно заметить разницу в индивидуальных колебаниях гликемии этих двух видов рыб в зависимости от времени действия тока. Если у ставриды после 30-секундной вы-

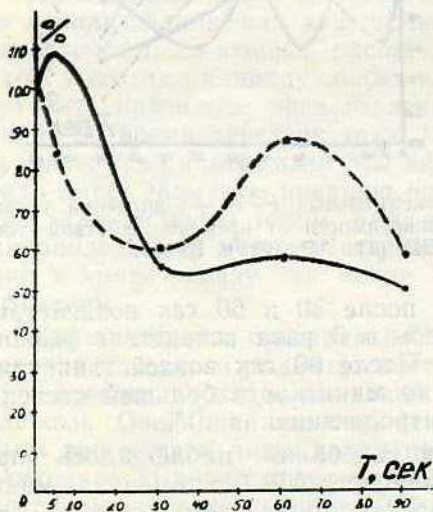


Рис. 3. Изменения минимальных (—) и максимальных (— —) значений уровня глюкозы у ласкиря в зависимости от времени действия тока напряженностью 28 в/м

держки наблюдается наименьший индивидуальный разброс, то у мерланга, как правило, — наибольший, а уменьшается он лишь после 90 сек воздействия тока, когда у ставриды индивидуальные колебания возрастают.

Аналогичные изменения наблюдаются и у ласкиря (рис. 3). Из-за того что ласкирь подвергался действию более высокого тока, его кривые максимумов и минимумов занимают промежуточное положение между АР и ПШ мерланга.

## Выводы

1. Кратковременное (до 5 сек) воздействие сильных токов (ПАР и ПШ) не отражается на картине сахара крови ставриды. У мерланга ток ПАР вызывает максимальное повышение уровня гликемии, а ток ПШ не влияет на ее уровень.



2. Величина тока, соответствующая ПАР, вызывает гипергликемию у ставриды через 30 сек и гипогликемию у мерланга через 90 сек.

3. Под действием сильных токов (ПАР и ПШ) и у ставриды, и у мерланга сглаживаются индивидуальные колебания уровня гликемии. У ставриды это происходит за счет возрастания (в 2,5 раза после 30-секундного воздействия тока) уровня глюкозы у рыб с низким ее содержанием; у мерланга — за счет снижения (на 30% после 90-секундного воздействия тока) у рыб с высоким содержанием сахара в крови.

4. Наблюдающиеся закономерные изменения уровня глюкозы у ставриды и мерланга характеризуют экологические особенности этих видов.

## ЛИТЕРАТУРА

Зубов Н. Н., Чигирин Н. И. Океанологические таблицы. М., Гидрометиздат, 1940, с. 116—117.

Лейбсон Л. Г. Сахар крови. М.-Л., изд-во АН СССР, 1962, 373 с.

Морозова А. Л. Исследование содержания углеводов и фосфорных соединений в тканях ставриды и скорпены при различном функциональном состоянии. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук. Л., 1971, 21 с.

Нусенбаум Л. М., Фалеева Т. И. Исследование поведения рыбы в электрических полях. — «Известия ГосНИОРХ», 1961, т. 52, вып. I, 93 с.

Рокицкий П. Ф. Основы вариационной статистики для биологов. Минск, 1961, 250 с.

Электросон. М., Медгиз, 1958, 170 с. Авт.: В. А. Гиляровский, Н. М. Ливенцев, Ю. Е. Сегель, З. А. Кирилова.

### Changes in the sugar content in some species of fish from the Black Sea due to electric current

L. A. Balaev, A. M. Kotov

#### Summary

Carbon metabolism in horse mackerel and whiting occurs under the effect of electric current as if in a counterphase.

The application of electric current for 5 seconds does not affect the sugar content in the blood of horse mackerel and, in contrast, the sugar content increases sharply in whiting. Under the effect of the d. c. field for 30 seconds or longer and an appropriate voltage which may cause shock and anode responses the sugar content in the blood of horse mackerel becomes 1.5—2 times and that of whiting decreases by 25—30%.

Electric current makes individual fluctuations in the glucose content more narrow due to some increase (horse mackerel) or decrease (whiting) in the sugar content in the blood.