

ISSN 0203-4646

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНСКОЙ ССР
ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ ЮЖНЫХ МОРЕЙ ИМ. А. О. КОВАЛЕВСКОГО

ЭКОЛОГИЯ МОРЕЯ

1871



37

1991

**VARIABILITY OF THE DEGREE OF SEXUAL DIMORPHISM
OF THE BODY LENGTH POPULATION OF PSEUDOCALANUS
MINUTUS (KRÖYER, 1848), COPEPODA, CALANIDAE
IN THE AVACHINIAN INLET (KAMCHATKA)**

Summary

A degree of sexual dimorphism in the population of *Pseudocalanus minutus* in the Avachinian inlet has been analyzed. Population is presented by two size forms: large and small. The degree of sexual dimorphism varies in both forms, more greatly varying in small forms. In the littoral part of the inlet variability of differences in lengths of males and females is higher than in the more stable central part. Variability of sexual dimorphism in Copepoda necessitates further investigation.

УДК 577.35.017.4:537.8+550.373

В. В. АЛЕКСАНДРОВ

**ПОВЕДЕНЧЕСКИЕ И ОРИЕНТАЦИОННЫЕ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ
РЕАКЦИИ ВЫСШИХ ГИДРОБИОНТОВ В УСЛОВИЯХ
ИЗМЕНЕНИЯ ФОНОВЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДЫ ОБИТАНИЯ**

Собственные электрические и магнитные поля гидробионтов оказывают заметное влияние на общий электромагнитный фон среды обитания. Высокая чувствительность водных организмов к внешним электромагнитным воздействиям сопровождается изменением двигательных поведенческих реакций. Эффекты внешних электромагнитных полей в поведении гидробионтов следует учитывать при решении практических задач рыболовства и рыборазведения.

Исследовалась чувствительность гидробионтов к электромагнитным полям среды обитания, их реакции на изменение фоновых характеристик этих полей. Это связано с практическими нуждами рыболовства и рыборазведения. Обычно пороговую электрическую чувствительность рыб получают по первичной реакции — слабые сокращения тела животного при включении или выключении электрического тока [10, 14, 15].

В ответ на действие электрического поля у всех исследовавшихся рыб возникали разнообразные поведенческие и нейрональные реакции: первичная реакция — вздрагивание при включении электрического тока, электротаксис — движение к аноду; электронаркоз, реакции избегания и затаивания, безусловные рефлексy, условные рефлексy на электрический сигнал, изменение импульсной активности рецепторов и центральных нейронов. Некоторые рыбы обладают электрорецепторами. Эти рецепторы иннервируются нервами боковой линии, они способны к регистрации полей внешних источников, а также полей, созданных собственной активностью — мембранные и индуцированные потенциалы при движении объекта в магнитном поле Земли.

Для большинства изученных рыб возникновение первичной реакции наблюдается при наличии градиента потенциала в среде в пределах 10—100 мВ/см. Однако пороговая чувствительность, определяемая первичной реакцией животного, оказалась недостаточной, когда были открыты у многих видов морских и пресноводных рыб специальные сенсорные образования — электрорецепторы [6, 16]. Пороговая чувствительность электрорецепторов для разных видов рыб находится в пределах 0,01—20,0 мкВ/см. Поэтому истинная электрическая чувствительность у рыб может быть установлена точно, если она подтверждается поведенческими опытами и электрофизиологическими данными; кроме того, высокой чувствительности должна соответствовать и анатомиче-

© В. В. Александров, 1991

**Пороги рефлекторных реакций рыб на электрическое поле
(по данным работы [15])**

Рыба	Реакция	Порог, мкА/см ²	Порог, мкВ/см
Серебристый карась	Затаивание	5,5	5500
Лосось балтийский	Условный рефлекс	5	—
Угорь, пресная вода	" "	0,08	2400
Угорь, морская вода	" "	9,5	710
Карликовый сомик	Пищевая реакция	—	30
Туркестанский сомик	Условный рефлекс	0,0005	0,75
Клариевый сом	" "	0,0005	0,75
Колючий морской сом	Затаивание	0,025	0,5
Пресноводные электрические рыбы	Условный рефлекс	—	0,15 : 0,3
Собачья акула	Моргательный рефлекс	0,005	0,1
		импульсный ток	
	Рефлекс брызгания	5 Гц	0,1
Шиповатый скат	Кардинальный рефлекс,		
Химера	импульсный ток, 5 Гц	0,005	0,1
	Условный рефлекс	0,0005	0,2
		—	

ская специализация сенсорных органов. Чувствительность рыб к электрическому полю, вероятно, определяется электрочувствительностью их специализированной рецепторной системы. Рыб, имеющих электрорецепторный аппарат, называют электрочувствительными [6].

Для большинства рыб, не имеющих специализированных электрорецепторов, пороги электровосприятия постоянных электрических полей составляют в среднем 0,5—100 мВ/см. Например, чувствительность *Carassius carassius* (L.), *Carassius auratus* (L.) — 5,5—16 мВ/см, *Mugil auratus* Risso — 45; *Rutilus rutilus* — 1,7; *Abramis brama* (L.) — 0,6; *Lucioperca lucioperca* — 0,87 мВ/см. Это на порядок ниже чувствительности любой рыбы с электрорецепторами [4]. Некоторые фактические данные о влиянии электрических воздействий на рефлекторные реакции рыб и пороговые значения поля постоянного и переменного токов показаны в таблице.

Пороги рефлекторных реакций при воздействии электрических токов у морских животных значительно (на 1—4 порядка) ниже, чем у пресноводных, что связано с высокой проводимостью морской воды. Из пресноводных неэлектрических рыб наиболее устойчивы к воздействию тока карповые, форель и щука. В опытах на лососевых не подтвердилось сообщение Раммеля и Макклоя о высокой чувствительности *Salmo salar* к слабым электрическим полям [9]. Электрорецепторов у лососевых рыб морфологически до сих пор не выявлено. Их электрочувствительность не превышает $1 \cdot 10^{-8}$ А/мм², тогда как пороговая чувствительность рыб, имеющих электрорецепторы, составляет $1 \cdot 10^{-10}$ — $1 \cdot 10^{-11}$ А/мм² и ниже. Следует подчеркнуть, что приводимые сведения различных исследователей нуждаются в дополнительных данных, связанных с методикой эксперимента, поскольку это существенно влияет на результаты. Так, электрочувствительность семги и горбуши, определенной по их первичной гальванореакции на включение тока, в значительной степени зависит от температуры и проводимости воды, размера рыб и их положения относительно линий тока; например, электрические пороги реакций семги при продольном расположении рыбы в 5 раз меньше, чем при поперечном, следовательно, при использовании в электрозаградителях продольного поля переменного тока затраты электроэнергии можно сократить в 1,5 и более раз. Для крупных рыб (50 см и более) требуемая плотность тока всегда в несколько раз меньше, чем для мелких (5—10 см). Это дает основание заключить, что скаты, валяющаяся из рек молодь лососевых, проходя через зону электрозаградителя, возможно, не будет испытывать заметного влияния электрического поля.

Большую научную и практическую значимость имеют данные по восприятию рыбами электрических и магнитных полей низкой интенсивности. Скаты (*Raja radiata*, *R. clavata*) показали необычайно высокую (0,01 мкВ/см) электрочувствительность, а также способность к восприятию магнитного поля Земли и его вариаций [6]. Так, градиент потенциала в морской воде в 0,01—1,0 мкВ/см позволяет акулам и скатам воспринимать электрическое поле биологического (поля пищевых объектов, хищников, особей своего вида) [16] и физического (поля течений, волновых и вихревых движений среды, магнитных возмущений, циклонов и др.) происхождения. Это играет огромную роль в ориентационной и коммуникационной реакциях рыб при постоянной изменчивости внешних факторов. Некоторые виды, например карликовый сомик, заметно реагируют на раздражение при напряженности поля 6×10^{-3} мкВ/см. Эту величину следует рассматривать как начало пороговой зоны, так как вероятность правильного обнаружения реакции при таких напряженностях поля близка к вероятности ложной тревоги [10]. Следовательно, точная оценка порога, являющегося операциональным понятием, невозможна, определить можно лишь пороговую зону. Отсюда возникает необходимость тщательного исследования фоновых характеристик электрических и магнитных полей акваторий.

В работах на пресных водоемах В. В. Александровым в 1973—1975 гг. было показано, что электрический фон — уровень «нормального электрического поля», например, в Ладожском озере в штилевую погоду колеблется в пределах 5 мкВ/см. Это близко по значению к уровню поля на о. Байкал, но превышает черноморский примерно на два порядка. Учитывая зависимость формирования естественного электрического поля водоемов от множества факторов, автором обоснована необходимость введения понятия обобщенного «критерия нормального электрического поля водоемов». Это понятие отражает в себе действие полей поверхностной пленки воды, полей электрических токов, потенциального поля водной системы, квазистационарных геолого-геоморфологических и геохимических полей озерной котловины и полей, обусловленных собственными колебаниями Земли [1].

В настоящее время, опираясь на экспериментально установленное значение фонового уровня «нормального электрического поля» для Ладожского озера (5 мкВ/см) и учитывая выводы Б. В. Солухи [10], отметим, что данная напряженность поля входит в диапазон 10^{-2} — 10 мкВ/см (так называемую пороговую зону). В этой пороговой зоне проявляются редкие, но сильные ориентировочные акты. Так, в эксперименте по мере повышения уровня магнитного поля сила реакций стальноголовых лососей, радужной форели и кижучей ослабевала, а частота увеличивалась. Поэтому амплитудная характеристика реагирования имеет высокую крутизну в начале пороговой зоны. Известны результаты экспериментов в бухте Титовское озеро Баренцева моря, по которым воздействие слабых полей $5 \cdot 10^{-3}$ — $1 \cdot 10^{-2}$ мВ/см вызывало энергичные, ориентированные по отношению к направлению силовых линий поля, передвижения сельди во всем пространстве бухты [11]. Эти ориентирующие пороговые поля соответствуют фоновым значениям квазипостоянной величины поля, измеренной в Ладожском озере, что свидетельствует об эволюционной роли слабых полей в жизни гидробионтов и выработке рефлекторных поведенческих реакций в ответ на изменение фона.

Любое изменение фона, приводящее к повышению напряженности поля, например, за счет грозовой деятельности или сейсмической активности Земли, может быть отмечено поведенческой реакцией электрочувствительной рыбы (карликовый сомик) — так называемой сигнальной психометрической функцией гидробионтов. В период грозы рыбы уходят в глубокие части водоемов. Показано влияние грозовых разрядов на поведение осетровых в районе нижнего бьефа Волжской ГЭС [8]. Так, плотность рыб в основном месте их концентрации, располо-

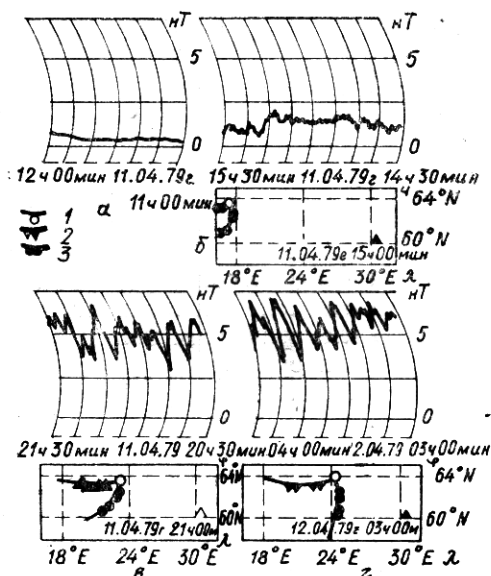
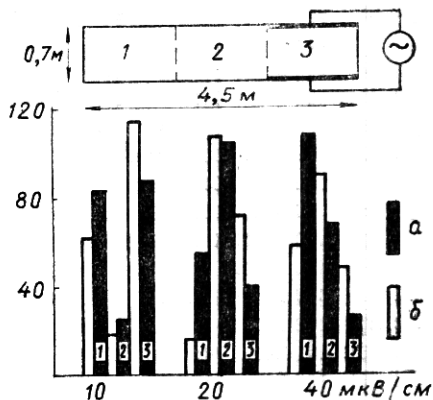


Рис. 1. Изменение естественного электромагнитного поля в период приближения циклона к месту наблюдения (по [9]):

а — фон; б, в, г — колебания поля на расстоянии 1300, 750 и 640 км от центра циклона до точки наблюдения, нТл

Рис. 2. Гистограммы реакции баренцевоморских скатов на электрические поля «модели циклона» в аквариуме (по [9]):

ось абсцисс — интенсивность стимула, ординат — число посещений скатами каждой из трех зон. Цифры у основания гистограмм — номера зон; а — контроль, б — опыт. Вверху — схема экспериментального аквариума



женном в зоне циркуляционных течений, ниже водосливной плотины, сразу после грозы уменьшилась в 3—4 раза. Изменился и горизонт их нахождения. Сразу после окончания грозы осетровые выявлены в основном в местах с наибольшими глубинами и находились у самого дна. Ультразвуковые наблюдения показали, что резко снизилась плотность скоплений рыб за счет морского ухода вниз по течению. Через 8—10 ч после грозы плотность их в приплотинной зоне стала возрастать и через 15—18 ч достигла предельного значения. На Ладожском озере во время грозы удалось зарегистрировать на поверхности воды и даже на глубинах более 10—15 м напряженность поля на 1—2 порядка выше, чем перед грозой [1]. Интересные данные получены по восприимчивости электромагнитных полей циклонов и их действию на баренцевоморских скатов и треску в частотном диапазоне 0,5—100 Гц (рис. 1, 2) [9]. Авторы приходят к выводу о прямом воздействии электромагнитных полей циклонов на электрочувствительных рыб через индуцированные токи в морской воде, что позволяет животным заранее покинуть опасную прибрежную и приповерхностную зоны моря.

В одной из последних работ об электрокоммуникации у слабоэлектрических рыб отмечена физиологическая роль фоновых изменений электропроводности воды в течение сезонов года. В эксперименте с *Brienomyrus niger* показано, что дистанция прекращения разрядов электрических органов и направление генерируемого поля зависят от вариаций электропроводности (χ) воды. Так, при повышении χ с 10 до $36 \cdot 10^3$ мкСм/см амплитуда и дистанция прекращения разрядов электрических органов уменьшились. Механизм эффекта, видимо, заключается в повышении порога чувствительности рецепторов, а биологическое значение — в увеличении дистанции воздействия привлекающих разрядов в репродуктивный период (дожди) и снижении дистанции — в сухой период при росте проводимости χ [17].

Исследование структуры электрического поля в поверхностном слое воды крупных озер северо-западной части СССР показало, что она зависит от морфологического строения озерной котловины в точке измерения: в глубоководной части акватории, при отсутствии существенных гидродинамических возмущений, поле однородно, кривая градиента имеет плавный ход; на мелководье (банки, подводные гряды и рифы при глубине менее 10 м) регистрируется знакопеременная, пульсирующая кривая градиента поля. В этом случае карта эквипотенциальных линий характеризует четкую локализацию поля над мелководьем. Это геофизическое явление связано с плохо изученной активной ролью электрохимических процессов геолого-минералогической этиологии на мелководье [1]. В последних исследованиях по электрическим полям отмечено, что в районе мелководья характеристика суммарного электрического поля рыбного косяка иная, чем на глубине. Изучение взаимодействия полей этих источников — биологического и геофизического — может прояснить многие неизвестные аспекты поведенческих реакций водных животных. Поэтому необходимо рассмотреть влияние на рыб электрических и магнитных полей различных геофизических источников. Исследование электрической чувствительности рыб и степени ее участия в поведенческих реакциях даст возможность понять нейрофизиологические основы электрорецепции и пути ее эволюции в связи со средой обитания и развитием двигательного аппарата водных животных.

Рассмотрим спектральные характеристики электровосприимчивости неэлектрических рыб в онтогенезе. Эксперименты показали, что в процессе индивидуального развития рыб наблюдается изменение частотного спектра не только собственных разрядов рыб, но и их электровосприимчивости, причем наиболее значительные изменения происходят в первые месяцы жизни [4, 7]. Так, в ходе онтогенеза осетра от личинки до семилетнего возраста меняется частота и характер излучаемого поля (рис. 3, а). Одновременно с увеличением частоты переменного электрического поля от КНЧ-диапазона до импульсного внутри каждой разрядной посылки происходит увеличение периодичности между появлением этих посылок. На рис. 3, б даны спектральные характеристики сигналов, воспринимаемых окуневыми в процессе онтогенеза. У свободных эмбрионов до перехода на внешнее питание зона максимального электровосприимчивости приходится на область пониженных частот — не выше 20 Гц. В ходе дальнейшего развития происходит расширение и сдвиг зоны частотного максимума: на кривых энергетического спектра $S(\omega)$ мкВт/см³ появляется плато, которое охватывает интервал частот 50—800 Гц у окуня и 100—500 — у щуки. Наиболее значительное расширение частотного спектра зарегистрировано у леща — 50—5000 Гц. У леща и окуня плато достигает максимальной ширины во время первого этапа малькового периода развития. В дальнейшем спектр электровосприимчивости сужается и на втором мальковом этапе развития у леща, окуня и девятом этапе у щуки приобретает характерную для взрослых рыб форму с максимумом 100—200 Гц. После этого порог ответных реакций в процессе онтогенеза практически не связан с частотным спектром электровосприимчивости.

Сравнение литературных данных по частотным спектрам электровосприимчивости взрослых особей щуки, окуня и карася и данных по спектрам электрических разрядов тех же видов рыб показывает, что максимумы этих спектров совпадают по частоте [4, 7]. Это подтверждает предположение о единстве структур, ответственных за восприятие и генерацию электрических сигналов [7]. Известно, что основными аппаратами восприятия сравнительно слабых токов у неэлектрических рыб являются система органов боковой линии и свободные нервные окончания кожи. Так, выключение рецепторов поверхности тела посредством новокаиновой анестезии у щук резко ухудшает их электрочувствительность, повышая порог реакции возбуждения на 65%, и в то же время почти не влияет на порог электронаркоза [4, 6]. В отличие от реакции

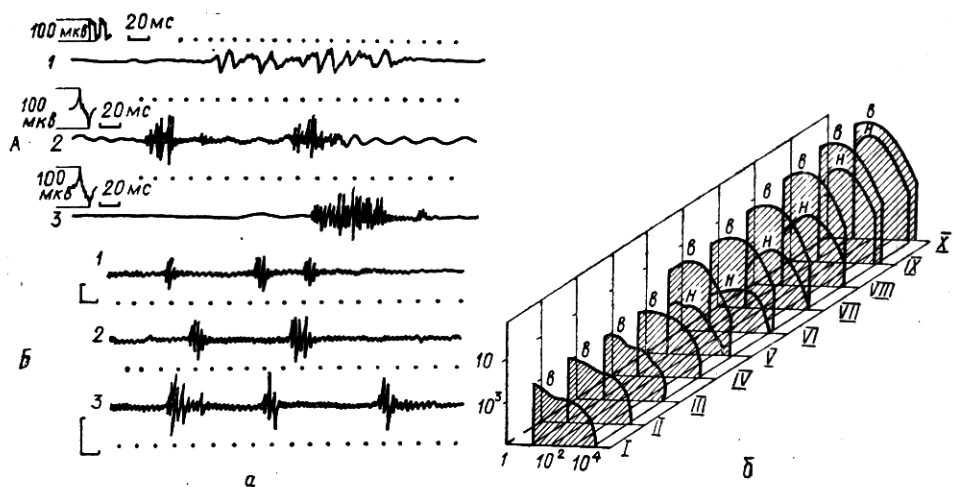


Рис. 3. Изменение спектральных характеристик излучаемых и воспринимаемых электрических полей рыбами в онтогенезе:

а — осциллограммы разрядов рыб в онтогенезе (по [4]) (А — электрические разряды *Asipenser guldenstadti* Br. (цифры в кружках): 1 — личинки 1 см (3—5 дн), 2 — малька 3 см (15—20 дн), 3 — малька 10 см (2 г), 2 — особи 25 см (4 г), 3 — особи 40 см (7 лет)); б — частотные спектры электровосприятия окуня в процессе онтогенеза (по [7]) (В, Н — порог реакции возбуждения и электроанаркоза соответственно. Возраст и длина тела рыб: I — 1 сут, 5,8 мм; II — 3 сут, 6 мм; III — 5 сут, 6,2 мм; IV — 7 сут, 6,5 мм; V — 19 сут, 12 мм; VI — 28 сут, 16 мм; VII — 42 сут, 22 мм; VIII — 3,5 мес, 55 мм; IX — 5 лет, 184 мм; X — 9 лет, 271 мм. Ось ординат — удельная мощность порогов реакций, мкВт/см²; ось абсцисс — частота, Гц)

возбуждения, рефлекторной по природе, реакция электроанаркоза вызывается в большей степени непосредственным воздействием тока на нервные центры, т. е. реакции эти связаны с раздражением разных подсистем организма, различных морфологических структур. И поскольку максимум частотного спектра электровосприятия в процессе индивидуального развития в случае обеих реакций смещается в область повышенных частот, можно думать, что в онтогенезе увеличивается характеристическая частота самих чувствительных элементов (кожных рецепторов) и двигательных нейронов.

Пороги реакции возбуждения у рыб, не имеющих специализированных рецепторов, соизмеримы с порогом чувствительности одиночного рецептора боковой линии, который, например, у японского угря составляет 10—20 мВ/см. Поэтому наиболее вероятная причина расширения зоны максимального электровосприятия — присутствие среди рецепторов поверхности тела элементов, характеризующихся повышенным уровнем функциональной подвижности и отзывающихся на более высокие частоты раздражителя (рис. 3, б) [7].

В последнее время более четко сформулировано представление об электрорецепторном аппарате рыб как о специфической системе, дающей животным многообразную информацию о внешней среде, которая по своей значимости не уступает информации от органов зрения, слуха, обоняния. Пассивная электроориентация опирается на обнаружение рыбой слабых электрических полей биологического и геофизического происхождения. Поэтому чрезвычайно важно знание как слабых электрических полей окружающей среды (среды обитания), так и входящих в общий спектр полей, генерируемых гидробионтами. Благодаря высокой электрической чувствительности ампулированных электрорецепторов имеется перспектива управлять поведением электрочувствительных рыб с помощью слабых электрических полей.

Установлено, что магнитное поле влияет на жизнедеятельность животных организмов. Многочисленные эксперименты и многолетние наблюдения над животными, человеком, микроорганизмами показали, что колебания напряженности геомагнитного поля оказывают существенное влияние на развитие практически всех живых существ биосферы Земли.

Возникла и утвердилась область науки — магнитобиология. Механизм воздействия слабых магнитных полей естественного амплитудно-частотного диапазона окончательно не выяснен. Рыбы с этой точки зрения являются наиболее интересным объектом исследования. Существуют гипотезы о том, что для многих рыб магнитное поле Земли является ориентирующим фактором при миграциях тем более, что на электрорецепторах баренцево-морских скатов зафиксированы электрические токи, вызванные геомагнитной бурей [6]. Поскольку магнитных рецепторов пока не обнаружено ни у одного животного, Ю. А. Холодов с соавторами полагает, что рецепция магнитного поля осуществляется у рыб либо электрическими рецепторами, либо непосредственно нервными клетками. По мнению большинства исследователей, рецепция магнитного поля происходит на клеточном или молекулярном уровне. Многие реакции на действие магнитного поля, по-видимому, сходны как у микроорганизмов, так и у более высокоорганизованных живых существ. Ряд авторов связывают это с наличием магнетита естественного происхождения в тканях организма [13].

Биомагнитные исследования последнего десятилетия показывают, что большую часть данных составляли сведения о магнитных полях, создаваемых переменными токами биообъектов, как фоновыми, так и вызванными различными стимулами. Зарождается ветвь биомагнетизма, которая призвана изучать магнитные поля, связанные с постоянными или с очень медленно меняющимися токами биомагнитного происхождения [13]. Экспериментально доказана биологическая значимость электромагнитных полей, возникающих в момент разряда электрических органов электрических рыб (например, электрический сом). Магнитная составляющая при разряде зафиксирована индукционным магнитометром в различных поведенческих ситуациях в звуковом диапазоне частот и с уровнем сигнала порядка 10^{-12} Тл. Квантовыми магнитометрами с оптической накачкой, составляющими своеобразный градиентометр, удалось зафиксировать магнитные поля электрического сома (*Malapterurus electricus*), располагающегося головой к датчику при ее механическом раздражении. Амплитуда исследуемого магнитного сигнала рыбы зависела от расстояния между датчиком и аквариумом, где находился электрический сом (не более 1 см), затем с удалением на 22 и 49 см сигнал пропорционально затухал и на 90 см исчезал. Кроме того, сообщалось о возникновении магнитного поля у неэлектрических рыб (щуки) во время болевого раздражения и ее передвижения под феррозондовым датчиком [13]. Этот сигнал, достигающий 6 нТл, как полагает Ю. А. Холодов, следует отнести к магнитным полям, связанным с постоянными токами. Такого рода данные требуют многократных и всесторонних подтверждений. Расчеты, приводимые авторами этой работы, свидетельствуют о возникновении магнитного поля порядка 20 нТл на расстоянии 10 см от электрической рыбы длиной 20 см и площади поверхности 314 см^2 при ее электрическом разряде.

Таким образом, различными магнитометрами удалось бесконтактным способом в воздушной среде регистрировать магнитную компоненту электромагнитного поля электрических и неэлектрических рыб, что выдвигает новые задачи, связанные с проблемами электромагнитной экологии, ряд общих задач современного магнетизма и магнитобиологии [13]. Все это обостряет интерес к вопросу об определении реальной чувствительности рыб к геомагнитному полю и его аномалиям. Интересные работы в этом плане были выполнены группой сотрудников Всесоюзного института разведочной геофизики (ВИРГ), лаборатории биофизики АН БССР и Атлантического НИИ рыбного хозяйства и океанографии. Объектом исследования был выбран европейский угорь в возрасте двух лет, что обусловлено нерестовыми миграциями, при которых рыбы пересекают Атлантический океан. Известно, что угри встречаются в северной части океана, Балтийском море, Ладожско-Онежском бассейне, опускаясь на юг вплоть до Балканского полуострова. Такой

ареал распространения не объясняется лишь пассивным переносом за счет системы течений, зачастую миграция идет против течений. Возможным ориентирующим фактором здесь являются электрическое и магнитное поля. Для проверки предположений о том, что магнитное поле является одним из основных ориентирующих факторов при миграции, проводили специальные наблюдения в лаборатории в аквариуме-лабиринте. Требования к экспериментальной установке были весьма жесткими: аквариум (36 ячеек-шестигранников с ребром 100 мм) не должен быть дополнительным раздражителем, не вносить искажений в магнитное поле, конструкция должна обеспечить удобную и достоверную регистрацию перемещения рыб. Поэтому он помещался в систему колец Гельмгольца, которая компенсировала при необходимости геомагнитное поле и создавала имитационное магнитное поле заданной напряженности и направления. Во внутреннем объеме установки поле было однородным или убывающим в пространстве напряженностью от 0 до 2,5 Э (0—198,9 А/м) по известному и заданному закону. Опуская детали методики эксперимента, проведенного на 2000 угрях, отметим полученные результаты [12]:

магнитное поле не является единственным раздражителем, действующим на рыбу;

магнитное поле играет роль фактора, связанного лишь с рефлексом ориентации животных во время их движения, и не имеет отношения к поиску пищи, уходу от опасности;

при блуждании рыб в лабиринте угол ориентации по отношению к меридиану сохраняется для разных групп угрей и не зависит от конструктивных особенностей экспериментальной установки;

при компенсации геомагнитного поля ориентация угрей исчезает так же, как и при предварительном воздействии электромагнитным полем с индукцией около 0,27 Тл, т. е. ориентация является двигательной реакцией стекловидного угря на изменение естественного магнитного поля Земли;

обладая системой восприятия геомагнитного фона, угри способны различать направления север—юг, запад—восток в изолированном помещении. Характер движения их зависит от напряженности и направления вектора магнитного поля;

основным информационным параметром магнитного поля для рыб является направление вектора геомагнитного поля;

характер кривой спектральной чувствительности рыб не меняется под действием шума (электрических помех).

По заключению многих исследователей анализатором воспринимаемых электрических сигналов служат мозжечок и продолговатый мозг, представляющие собой высшие центральные отделы органов боковой линии рыб. Высокая степень развития спектральной чувствительности подтверждается, например, способностью нильской щуки выделить полезные сигналы на фоне весьма сильного шума в том же диапазоне частот [12]. Предварительный вывод сводится к утверждению о том, что электрические рыбы воспринимают электромагнитное поле за счет рецепции индуцированных в воде электрических переменных токов, а неэлектрические реагируют на изменение направления электромагнитного поля Земли. Можно считать доказанным, что бionические принципы поиска источников изменения электрических и магнитных полей в будущем удастся реализовать в геофизике — электроразведке. Пока наиболее удобным объектом для изучения биологических электромагнитных систем являются рыбы, поскольку только у них наблюдаются высокоразвитые поисковые электромагнитные органы, позволяющие проводить технические наблюдения.

Восприятие электромагнитных колебаний Земли мелкими формами гидробионтов — планктоном — изучено недостаточно. В работах [1—3] проанализированы элементы связи между динамикой планктона по вертикали и геомагнитными пульсациями и их суточным ритмом в прес-

ной и морской воде. Результаты анализа заставляют обратить особое внимание на возможную прямую зависимость явления миграции от внешнего воздействия. Биоманнитные эффекты на уровне слабого геомагнитного поля (32 А/м) объясняются резонансом биотоков механической системы [5]. В этом случае следует учитывать, что амплитуда возбуждаемых этим полем механических колебаний должна зависеть от угла между направлением локального биотока и направлением вектора геомагнитного поля. Не исключено, что именно этим резонансным механизмом объясняется предполагаемая способность некоторых животных ориентироваться в геомагнитном поле, и это требует новых направленных экспериментов.

Заключение. Исследование электрофизических свойств биообъектов в их связи и взаимодействии с электромагнитными полями среды обитания — сравнительно молодой раздел биологии и эволюционной физиологии животных. Однако практические нужды народного хозяйства ставят перед ним конкретные задачи: познать фундаментальные закономерности образования и существования электрических полей гидробионтов и на основе этого дать рекомендации по их использованию в реализации продовольственной программы, разработке биотехнологии, внедрении новых биоиндикаторов состояния окружающей среды, разработке новых следящих и управляющих систем в бионике. Поэтому необходимы расширение и проведение тематических исследований в этой области биофизики водоемов и объединение усилий академических и ведомственных учреждений.

1. Александров В. В. Электрофизика пресных вод. — Л.: Гидрометеиздат, 1985. — 184 с.
2. Александров В. В., Кутикова Л. А. Флуктуации естественных электромагнитных полей и ритм суточных вертикальных миграций зоопланктона в пресной воде // Биофизика. — 1984. — 29, № 6. — С. 1025—1030.
3. Александров В. В., Кутикова Л. А., Николаева И. П. и др. Электрическая индикация пространственно-временных неоднородностей трофогенного слоя пресноводных озер // Электрические свойства гидробионтов. — М.: Наука, 1986. — С. 165—198.
4. Басов Б. М. Электрические поля пресноводных неэлектрических рыб. — М.: Наука, 1985. — 72 с.
5. Белов К. П., Бочкарев Н. Г. Магнетизм на Земле и в Космосе. — М.: Наука, 1983. — 192 с.
6. Броун Г. Р., Ильинский О. Б. Физиология электрорецепторов. — Л.: Наука, 1984. — 247 с.
7. Извеков Е. И. Частотные характеристики реакций окуня на электрический ток в ходе индивидуального развития // Биология внутренних вод. — 1987. — № 73. — С. 60—64.
8. Малинин Л. В., Протасов В. Р. Влияние грозных разрядов на поведение окотровых // Электрические свойства гидробионтов. — М.: Наука, 1986. — С. 149—164.
9. Муравейко В. М., Степанюк И. А. Электромагнитные поля циклона и их действие на рыб // Сигнализация и поведение рыб. — Апатиты: Наука, 1985. — С. 19—24.
10. Солуха Б. В. Поведенческие оценки чувствительности рыб к слабым физическим воздействиям // Там же. — С. 10—18.
11. Стерний В. Г., Никоноров Н. В., Бумейстер Ю. К. Электролов рыбы. — М.: Пищ. пром-сть, 1972. — 300 с.
12. Франтов Г. С. Геология и живая природа. — Л.: Недра, 1982. — 144 с.
13. Холодов Ю. А., Козлов А. Н., Горбач А. Н. Магнитные поля биологических объектов. — М.: Наука, 1987. — 145 с.
14. Яржомбек А. А., Лиманский В. В., Щербина Т. В. и др. Справочник по физиологии рыб. — М.: Агропромиздат, 1986. — 192 с.
15. Fessard A. Electrorceptors and other specialised receptors in lower vertebrates. — New York: Springer-Verlag, 1974. — 457 p.
16. Kalmijn Ad. J. Detection of Weak Electric Fields // Sensory Biology of Aquatic Animals. — New York: Springer-Verlag, 1987. — P. 151—186.
17. Squire Ann, Moller P. Brienomyrus niger. Effect of water conductivity on electrocommunication in the weak-electric fish Brienomyrus niger (Mormy riforms) // Anim. Behav. — 1982. — 30, N 2. — P. 375—382.

Ин-т эволюц. физиологии и биохимии
им. И. М. Сеченова АН СССР, Ленинград

Получено 31.05.89

BIHAVIORAL AND ORIENTATION PHYSIOLOGICAL RESPONSES OF HIGHER HYDROBIONTS UNDER CONDITIONS OF CHANGES IN THE BACKGROUND ELECTROMAGNETIC CHARACTERISTICS OF HABITAT

Summary

Proper electric and magnetic fields of hydrobionts have a pronounced effect on the total electromagnetic background of the habitat. High sensitivity of aquatic organisms to external electromagnetic actions is accompanied by changes in motor behavioral responses. Effects of external electromagnetic fields in the behaviour of hydrobionts should be allowed for while solving practical problems on fishery and fish-farming.

УДК 594.5.:591.128.1

Г. И. АБОЛМАСОВА, А. Я. СТОЛБОВ

ИЗУЧЕНИЕ СКОРОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБМЕНА У КРЫЛОРУКОГО КАЛЬМАРА (*STHENOTEUTHIS PTEROPUS* ST.) ПРИ НИЗКОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ С УЧЕТОМ ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ

Впервые исследована скорость дыхания у эпипелагического кальмара *S. pteropus* при низкой температуре с учетом гидростатического давления. Получено уравнение основного обмена ($R=0,64 \cdot W^{0,75}$) при $t=18^\circ\text{C}$. Показано, что давление не оказывает влияния на скорость энергетического обмена. Снижение уровня метаболизма кальмаров, связанное с миграцией в светлое время суток в слой 100—200 м с более низкой температурой, следует рассматривать как физиологическую адаптацию, направленную на более экономную трату энергетических резервов.

Получение данных, количественно характеризующих уровни обменных процессов, представляет интерес для оценки пищевых потребностей кальмаров, а также анализа ряда параметров, позволяющих судить об эффективности функционирования экосистем, отличающихся структурой и условиями существования.

В конце 70-х годов нами начаты исследования двух массовых видов эпипелагических кальмаров рода *Sthenoteuthis*, обитающих в Индо-Пацифике (*S. oualaniensis*) и Атлантике (*S. pteropus*). Используемые методические подходы позволили охарактеризовать различные стороны метаболизма кальмаров. В замкнутых респирометрах небольшого объема изучали основной обмен, т. е. обмен при отсутствии движения [4]; в специально изготовленном кольцевом респирометре емкостью 153 л, при свободном плавании — общий обмен [1, 2]. В гидродинамической трубе определяли уровни активного обмена при разных скоростях плавания [3]. Все исследования выполнены при высоких температурах поверхностного слоя, куда кальмары поднимаются для активной охоты и питания в ночные часы. В светлое время суток они мигрируют в более глубокие слои, где температура на 10—12°C ниже поверхностной.

Рассмотрим уровень энергетического обмена у крылорукого кальмара при низкой температуре с учетом гидростатического давления, имитируя тем самым условия, близкие к природным, во время их нахождения на глубинах в светлое время суток.

Материал и методика. Экспериментальные работы проводили на ночных станциях в период с 8 июня по 29 июля 1988 г. Сбор кальмаров осуществляли с борта судна с помощью сачка и накидной сетки. Объектом исследования служил крылорукий кальмар *S. pteropus* — массовый вид тропической зоны Атлантики, имеющий промысловое значение. В опытах исследовали здоровых неповрежденных во время поимки самцов и самок на разной стадии зрелости сырой массой от 9 до 362 г.

© Г. И. Аболмасова, А. Я. Столбов, 1991