

УДК 517.929

ВЛИЯНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ НА ХОЛИНЭСТЕРАЗНУЮ АКТИВНОСТЬ У ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ¹

© 2007 Т.Н. Картавых, В.Г. Подковкин²

Исследовано влияние излучения высоковольтной ЛЭП на холинэстеразную активность у моллюсков в условиях тепловой нагрузки и без. Обсуждается характер изолированного и комбинированного воздействий указанных факторов на организм *Bivalvia*.

Введение

На сегодняшний день в печати немалое внимание уделяется проблеме воздействия электрических и магнитных полей окружающей среды на биологические объекты. По сведениям А.Г. Карташева и Г.Ф. Плеханова (1982), влияние переменного электрического поля линии электропередачи (ЛЭП) (40 кВ/м; 50 Гц) на белых мышей (экспозиция 5, 10 и 20 сут.) приводит к развитию анемии (30%) на 10-е сутки, которая компенсируется развивающимся ретикулоцитозом к 20-м суткам [1]. А.С. Пресман (1971) разработал концепцию о роли электромагнитных полей в информационных взаимодействиях между организмами, внутри организмов, а также для получения ими информации об изменениях во внешней среде [2]. Логично предположить, что способность биосистем к таким взаимодействиям должна была сформироваться в результате эволюционной приспособленности организмов к реакциям на электромагнитные поля биосферы [3]. И, следовательно, вполне можно ожидать ощутимой реакции живого организма даже на небольшие изменения индукции внешнего магнитного поля, как, например, при помещении объекта в зону излучения высоковольтной ЛЭП.

При адаптации изменяются все виды обмена веществ. В комплексе выявляемых при адаптации биохимических изменений важнейшую роль следует признать за нейромедиаторными системами, поскольку они осуществляют передачу информации о свойствах действующих на организм факторов среды, участвуют в анализе этой информации в нейронных ансамблях различных уровней организа-

¹ Представлена доктором биологических наук, профессором С.А. Сачковым.

² Картавых Татьяна Николаевна (artemisja@rambler.ru), Подковкин Владимир Георгиевич (podkovkin@rambler.ru), кафедра биохимии Самарского государственного университета, 443011, г.Самара, ул. Акад. Павлова, 1.

ции нервной системы, влияя на формирование ответной реакции на данное воздействие [4].

Данные о роли холинэргической системы в развитии стресса получены многими исследователями и обобщены В.П. Тонкоглас (1980), которая пришла к заключению, что холинэргическая система принимает непосредственное участие в организации неспецифического ответа, обеспечивая состояние повышенной функциональной активности организма и одновременно включение в процесс других систем, реализующих стресс-реакцию [5].

В большинстве работ в начале действия стресс-факторов отмечается активация системы ацетилхолина, сопровождающаяся его выбросом, снижением абсолютного содержания и увеличением активности ацетилхолинэстеразы.

У моллюсков холинэстеразы найдены различными исследователями в нервной системе, гемолимфе, сердце и мышцах аддуктора. Зависимости распределения типов ферментов между классами моллюсков по данным литературы не прослеживается и в сравнении с высшими позвоночными закономерностей в локализации типов ферментов в органах и тканях не выявляется. Напротив, ферменты гемолимфы близки к ферментам нервной системы. Как и у червей, сравнительная активность холинэстераз выше у наиболее подвижных моллюсков [6].

Материалы и методы исследования

Эксперимент проведен на пресноводных двустворчатых моллюсках рода *Unio*. Для изучения электромагнитного воздействия были взяты пробы в реке Сок в районе ЛЭП–500 кВ вблизи села Красный Яр Самарской области. Исследуемые площади были удалены от источника излучения соответственно на 0, 80, 120, 250 метров.

Для изучения комбинированного воздействия на организм перловиц магнитного поля и повышенной температуры окружающей среды в полевых условиях животных помещали в небольшие пластмассовые контейнеры с подогретой на солнце речной водой и грунтом. Температура регулировалась посредством периодического добавления в контейнер более прохладной речной воды. Применялся следующий режим воздействия: $T=35^{\circ}\text{C}$, длительность экспозиции 30 минут. Контрольную группу животных подвергали воздействию повышенной температуры на расстоянии 1500 м от ЛЭП.

По просьбе автора на кафедре электродинамики и антенн Поволжской государственной академии телекоммуникаций и информатики, где изучаются физические аспекты воздействия электромагнитных полей на окружающую среду, были произведены расчеты напряженностей электрического и магнитного полей ЛЭП–500 кВ в точках забора проб. Автор выражает благодарность за оказанную помощь доктору технических наук, профессору Ю.М. Сподобаеву, и кандидату технических наук М.Ю. Маслову. Результаты расчетов приведены в таблицах.

Для проведения биохимических исследований умерщвление двустворчатых моллюсков производилось непосредственно в полевых условиях путем погружения в жидкий азот. В лабораторных условиях у моллюсков извлекали часть мантии, жабры, мускул-замыкатель, мышечную ткань ноги и часть внутренностного мешка.

Определение холинэстеразной активности осуществляли по методу Хестрина для плазмы крови в нашей адаптации для моллюсков [7]. Также проводилось количественное определение содержания белков в исследуемом материале с целью пересчета активности фермента на миллиграмм белка. Определение белков производили микробиуретовым методом [8]. Результаты подвергали статистической обработке при помощи критерия Стьюдента [9].

Данные, полученные при исследовании холинэстеразной активности в мантии перловиц, представлены в таблице 1. Распределение значений имеет волнообразный характер, минимум находится в точке 0 м, максимум – на расстоянии 120 м. При нормальной температуре окружающей среды холинэстеразная активность в мантии моллюсков непосредственно под ЛЭП была ниже значения контроля на 40%. Уровень данного показателя на отметке 120 м превышал уровень нулевой отметки на 91%.

Таблица 1

Влияние излучения ЛЭП и повышенной температуры окружающей среды на холинэстеразную активность в мантии перловиц

Расстояние до ЛЭП, м		0 м	80 м	120 м	250 м	Контроль
Напряженность электрического поля, В/м		91,00	1628,19	984,37	213,73	4,79
Напряженность магнитного поля, А/м		$1,55 \times 10^{-1}$	2,64	1,57	$2,63 \times 10^{-1}$	$3,22 \times 10^{-3}$
Холинэстеразная активность, $\times 0,001$ мкмоль/мг белка $\times$ мин	t-norm	4,89 $\pm$ 1,19*	6,76 $\pm$ 1,89	9,38 $\pm$ 1,43	7,49 $\pm$ 1,41	8,21 $\pm$ 0,75
	t-35°C	5,98 $\pm$ 0,9	5,16 $\pm$ 0,81	13,51 $\pm$ 1,75	8,67 $\pm$ 1,67*	5,19 $\pm$ 1,02

* – отличие от контроля статистически достоверно

После содержания моллюсков при повышенной температуре окружающей среды наблюдалась следующая картина. В группе контроля произошло снижение холинэстеразной активности в мантии на 36%. После подогрева холинэстеразная активность у моллюсков, отловленных непосредственно под ЛЭП, была ниже, чем у животных с отметки 250 м, на 31%.

Зависимость холинэстеразной активности в жабрах моллюсков от излучения ЛЭП и от температуры окружающей среды, так же, как и для мантии, имеет волнообразный характер; минимум в точке 0 м (табл. 2). Данный показатель непосредственно под ЛЭП был меньше контроля на 52%. Холинэстеразная активность в жабрах моллюсков, отловленных на расстоянии 120 м и 80 м от ЛЭП, была меньше контроля соответственно на 34 и 49%. Также при нормальной температуре окружающей среды холинэстеразная активность в жабрах перловиц, обитавших на расстоянии 250 м от ЛЭП, превышала значения точек 80 м и 0 м соответственно на 53 и 62%.

После повышения температуры окружающей среды до 35°C в группе контроля было отмечено снижение холинэстеразной активности на 43%. На отметке 120 м пребывание при повышенной температуре окружающей среды привело к повышению изучаемого показателя в жабрах на 46%. Изучаемый показатель у моллюсков на отметке 120 м при повышенной температуре был больше значений 0 м, 80 м, 250 м и контроля соответственно на 76, 134, 58 и 71%.

Таблица 2

Влияние излучения ЛЭП и повышенной температуры окружающей среды на холинэстеразную активность в жабрах перловиц

Расстояние до ЛЭП, м		0 м	80 м	120 м	250 м	Контроль
Напряженность электрического поля, В/м		91,00	1628,19	984,37	213,73	4,79
Напряженность магнитного поля, А/м		$1,55 \times 10^{-1}$	2,64	1,57	$2,63 \times 10^{-1}$	$3,22 \times 10^{-3}$
Холинэстеразная активность, $\times 0,001$ мкмоль/мг белка $\times$ мин	t-norm	9,41 $\pm$ 1,12*	9,98 $\pm$ 1,44*	12,94 $\pm$ 1,64*	15,29 $\pm$ 2,24	19,73 $\pm$ 2,89
	t-35°C	10,75 $\pm$ 2,34	8,12 $\pm$ 1,13	19,02 $\pm$ 1,49*	11,97 $\pm$ 2,62	11,07 $\pm$ 2,23

* – отличие от контроля статистически достоверно

При рассмотрении холинэстеразной активности в мускуле-замыкателе перловиц прослеживается все та же волнообразная зависимость величины показателя от близости линии электропередачи (табл. 3). При нормальной температуре окружающей среды исследуемый показатель у животных, отловленных на расстоянии 250 м, 80 м от ЛЭП и 0 м был ниже уровня контроля на 20, 24 и 28% соответственно.

Таблица 3

**Влияние излучения ЛЭП и повышенной температуры окружающей среды
на холинэстеразную активность в мускуле-замыкателе перловиц**

Расстояние до ЛЭП, м		0 м	80 м	120 м	250 м	Контроль
Напряженность электрического поля, В/м		91,00	1628,19	984,37	213,73	4,79
Напряженность магнитного поля, А/м		$1,55 \times 10^{-1}$	2,64	1,57	$2,63 \times 10^{-1}$	$3,22 \times 10^{-3}$
Холинэстеразная активность, $\times 0,001$ мкмоль/мг белка $\times$ мин	t-norm	20,16 $\pm$ 1,3*	21,28 $\pm$ 2,07*	24,29 $\pm$ 1,95	22,24 $\pm$ 1,45*	28,08 $\pm$ 1,55
	t-35°C	18,5 $\pm$ 1,41	14,96 $\pm$ 2,68	22,17 $\pm$ 1,51*	28,53 $\pm$ 1,85*	18,3 $\pm$ 1,29

* – отличие от контроля статистически достоверно

После пребывания моллюсков в подогретой до 35°C воде произошли следующие изменения. Холинэстеразная активность в группе контроля понизилась на 34%, на отметке 80 м – на 29%; повысилась на отметке 250 м на 28%. После повышения температуры окружающей среды показатель на отметке 250 м превышал значения 0 м, 80 м, 120 м, контроля соответственно на 54, 91, 28 и 55%. Показатель на отметке 120 м превышал значения 0 м, 80 м, контроля на 19, 48, 21% соответственно.

В ноге перловиц холинэстеразная активность подчиняется тем же закономерностям, что и в мускуле-замыкателе, жабрах и мантии, и кривая также имеет волнообразный вид (табл. 4). При нормальной температуре окружающей среды значения изучаемого показателя в ноге моллюсков, отловленных на расстояниях 250 м, 120 м, 80 м и 0 м, были меньше уровня контроля соответственно на 37, 45, 35, и 42%.

Таблица 4

**Влияние излучения ЛЭП и повышенной температуры окружающей среды
на холинэстеразную активность в ноге перловиц**

Расстояние до ЛЭП, м		0 м	80 м	120 м	250 м	Контроль
Напряженность электрического поля, В/м		91,00	1628,19	984,37	213,73	4,79
Напряженность магнитного поля, А/м		$1,55 \times 10^{-1}$	2,64	1,57	$2,63 \times 10^{-1}$	$3,22 \times 10^{-3}$
Холинэстеразная активность, × 0,001 мкмоль/мг белка × мин	t-norm	6,05±0,55*	6,82±1,36*	5,68±0,82*	6,55±0,95*	10,5±1,09
	t-35°C	5,07±0,44	5,46±0,92	7,88±0,98*	8,08±1,73*	4,72±0,34

* – отличие от контроля статистически достоверно

После 30 минутного пребывания моллюсков при повышенной до 35°C температуре окружающей среды холинэстеразная активность изменялась следующим образом. На отметке контроля изучаемый показатель снизился на 55%, на расстоянии 120 м – повысился на 38%. В связи с этим холинэстеразная активность у моллюсков, отловленных на расстояниях 250 м и 120 м, после подогрева превысила уровень контроля соответственно на 71 и 66%. При этом изучаемый показатель на отметке 120 м превысил значения на расстоянии 80 м и 0 м соответственно на 44 и 55%. А показатель на отметке 250 м был больше уровня на нулевой отметке на 59%.

При исследовании холинэстеразной активности в ноге моллюсков заметно, что после пребывания животных при повышенной температуре окружающей среды различия между показателями на различных расстояниях от ЛЭП становятся более явными, а кривая более рельефной. То есть, как мы полагаем, после пребывания при повышенной температуре окружающей среды у моллюсков становятся явными те скрытые изменения, которые происходили в их организме под действием излучения ЛЭП.

Для холинэстеразной активности во внутренностном мешке моллюсков зависимость имеет вид более хаотический, чем для показателя в ноге и в мантии (табл. 5). При нормальной температуре окружающей среды показатель на отметке 0 м был ниже значения контроля на 19%. Холинэстеразная активность во внутренностном мешке перловиц, отловленных на отметках 250 м и 120 м, была ниже уровня контроля соответственно на 25 и 39%.

Таблица 5

Влияние излучения ЛЭП и повышенной температуры окружающей среды на холинэстеразную активность во внутренностном мешке перловиц

Расстояние до ЛЭП, м		0 м	80 м	120 м	250 м	Контроль
Напряженность электрического поля, В/м		91,00	1628,19	984,37	213,73	4,79
Напряженность магнитного поля, А/м		$1,55 \times 10^{-1}$	2,64	1,57	$2,63 \times 10^{-1}$	$3,22 \times 10^{-3}$
Холинэстеразная активность, $\times 0,001$ мкмоль/мг белка $\times$ мин	t-norm	6,02 $\pm$ 0,21	7,07 $\pm$ 2,83	4,47 $\pm$ 1,14*	5,58 $\pm$ 0,92*	7,44 $\pm$ 0,16
	t-35°C	4,90 $\pm$ 0,89	4,39 $\pm$ 0,27	6,57 $\pm$ 1,64	11,42 $\pm$ 3,41*	4,24 $\pm$ 0,94

* – отличие от контроля статистически достоверно

После повышения температуры окружающей среды наблюдались следующие изменения. В группе контроля отмечено снижение холинэстеразной активности на 43%. На отметке 250 м исследуемый показатель увеличился на 104% по сравнению с уровнем при нормальной температуре и после этого стал превышать значения контроля, 80 м и 0 м соответственно на 169, 159 и 133%.

Таким образом, для всех органов двустворчатых моллюсков получена волнообразная картина распределения значений холинэстеразной активности – с минимумом на нулевой отметке и максимумом, располагающимся на приблизительно одинаковом расстоянии от ЛЭП, с вариациями для различных органов. Такая картина была более четкой для мускула-замыкателя и ноги, чем для мантии и жабер, и практически не прослеживалась в случае внутренностного мешка. Это может объясняться тем, что данный фермент функционально связан с нервно-мышечной передачей и, возможно, у двустворчатых моллюсков более характерен для ноги и мускула-замыкателя, тем более что в наших экспериментах сравнительная холинэстеразная активность была наиболее высока именно в этих органах.

Кратковременное увеличение температуры водной среды до 35°C вызывает снижение холинэстеразной активности в мантии, жабрах, замыкателе, ноге и внутренностном мешке перловиц. Это согласуется с данными Т.П. Костенко (1987) об угнетении активности АХЭ повышенной температурой [10].

У животных, обитающих на расстоянии 250 м от ЛЭП, обнаруживается снижение активности фермента, наиболее выраженное в замыкателе, ноге и внутренностном мешке. Кратковременное тепловое воздействие вызвало увеличение холинэстеразной активности в замыкателе и внутренностном мешке.

У моллюсков, обитающих непосредственно под ЛЭП, выявлено уменьшение холинэстеразной активности во всех исследованных органах. Повышение температуры не вызывает значительных изменений активности фермента.

Исследователями отмечено умеренное угнетение холинэстеразной активности при стрессе [5], у млекопитающих это оказывает защитное действие, предупреждая снижение содержания белков и РНК в ядрах гипоталамуса, способствует предупреждению истощения запасов серотонина и норадреналина, повышает адаптивные способности организма [11]. В наших опытах похожая картина наблюдалась после повышения температуры окружающей среды. Также отмечается, что при повышении температуры водоемов уровень обменных процессов у моллюсков снижается [12].

Г.Ф. Плеханов (1978) излагает гипотезу, согласно которой воздействие электромагнитных полей оказывает дестабилизирующее влияние на неравновесные системы, каковыми являются и живые организмы [13]. В случае отдельно взятого эксперимента подобная дестабилизация проявляется разнонаправленными изменениями изучаемого показателя под действием излучения. То есть, в опытной выборке можно выделить три группы значений изучаемого признака: повышенных относительно контроля, пониженных и не претерпевших изменения. В силу асимметрии неравновесных процессов, среднее арифметическое значение показателя для всей выборки может отклоняться от контрольного значения в ту или иную сторону. Анализ многочисленных экспериментов в области электромагнитной биологии показывает, что эти отклонения не зависят однозначно от вели-

чины приложенного воздействия, то есть в серии одинаковых опытов отсутствует воспроизводимость результатов.

Можно предположить, что излучение ЛЭП оказывает дестабилизирующее влияние на протекание биохимических процессов у двусторчатых моллюсков. В нашем эксперименте это выражалось в отсутствии однозначной закономерности в изменениях холинэстеразной активности в органах животных, обитавших на различных расстояниях от ЛЭП. Кроме того, реакция на повышение температуры окружающей среды была разнонаправленной у моллюсков, взятых с различных опытных площадок.

Заключение

Таким образом, выявлены латентные изменения состояния регулирующих систем организма. При однотипных изменениях активности фермента на различных расстояниях от ЛЭП (снижение) обнаружен различный характер реакции на повышение температуры окружающей среды – под ЛЭП отсутствие реакции, увеличение на расстоянии 250 м при снижении в контроле.

Литература

- [1] Карташев, А.Г. Экологическая оценка ПсЭП ЛЭП / А.Г. Карташев, Г.Ф. Плеханов // Биологическое действие электромагнитных полей: тезисы докладов. – Пушино, 1982. – С.99-100.
- [2] Пресман, А.С. Электромагнитные поля в биосфере / А.С. Пресман. – М.: Знание, 1971. – 63 с.
- [3] Подковкин, В.Г. Влияние электромагнитных полей окружающей среды на системы гомеостаза / В.Г. Подковкин, И.Л. Слободянюк, М.В. Углова. – Самара: Изд-во «Самарский университет», 2000. – 108 с.
- [4] Хайдарлиу, С.Х. Нейромедиаторные механизмы адаптации / С.Х. Хайдарлиу. – Кишинев: Штиинца, 1989. – 180 с.
- [5] Тонкоглас, В.П. Роль холинергической системы в развитии стрессовой реакции / В.П. Тонкоглас // Нервные и эндокринные механизмы стресса. – Кишинев: Штиинца, 1980. – С.185-194.
- [6] Козловская, В.И. Холинэстеразы водных животных / В.И. Козловская, О.В. Мензикова, Г.М. Чуйко, Ф.Л. Майер // Физиология, биохимия и токсикология пресноводных животных. – Л.: Наука, 1990. – С.42-66.
- [7] Биохимические и иммунологические методы оценки регулирующих систем организма. – Куйбышев: Изд. мед. института, 1989. – 31 с.
- [8] Большой спецпрактикум по биохимии / сост. Н.А. Кленова. – Самара: Изд-во «Самарский университет», 1996. – 87 с.
- [9] Фролов, Ю.П. Математические методы в биологии. ЭВМ и программирование: теоретические основы и практикум / Ю.П. Фролов. – Самара: Изд-во «Самарский университет», 1997. – 265 с.
- [10] Костенко, Т.П. Показатели холинергической системы крови рабочих горячих цехов при выполнении физической работы в условиях нагревающего

- микроклимата / Т.П. Костенко // Эндокринная система организма и вредные факторы окружающей среды. – Л.: Наука, 1987. – С. 34.
- [11] Михельсон, М.Я. Ацетилхолин. О молекулярном механизме действия / М.Я. Михельсон, Э.В. Зеймаль. – Л.: Наука, 1970. – 280 с.
- [12] Сергеева, Э.П. Теплоустойчивость целого организма гастроподы *Astaea pallida* и ее комменсала полихеты *Arctonoe vittata* / Э.П. Сергеева // Моллюски. Пути, методы и итоги их изучения. – Л.: Наука, 1971. – 157 с.
- [13] Плеханов, Г.Ф. Дестабилизация неравновесных процессов как основа общего механизма биологического действия магнитных полей / Г.Ф. Плеханов // Реакции биологических систем на магнитные поля. – М.: Наука, 1978. – С.59-80.

Статья поступила в редакцию 26/XII/2006;
в окончательном варианте – 26/XII/2006.

AN EFFECT OF A TRANSMISSION LINE'S ELECTROMAGNETIC FIELD ON THE CHOLINESTERASE ACTIVITY IN BIVALVES³

© 2007 T.N. Kartavykh, V.G. Podkovkin⁴

An effect of a transmission line's emission on the cholinesterase activity in mollusks under conditions of warming load and without it is studied. The character of isolated and combined action of mentioned factors upon bivalves' organism are discussed.

Paper received 26/XII/2006.

Paper accepted 26/XII/2006.

³ Communicated by Dr. Sci. (Biology) Prof. S.A. Satchkov.

⁴ Kartavykh Tatjana Nickolaevna (artemisja@rambler.ru), Podkovkin Vladimir Georgievich (podkovkin@rambler.ru), Dept. of Biochemistry, Samara State University, Samara, 443011, Russia.