

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ЛЭП И ПОВЫШЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА СОДЕРЖАНИЕ МАЛОНОВОГО ДИАЛЬДЕГИДА И КАТАЛАЗНУЮ АКТИВНОСТЬ У ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ

© 2003 Т.Н. Картавых, В.Г. Подковкин, Е.И. Плотникова¹

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

Введение

Неизбежным следствием технического прогресса является электромагнитное "загрязнение" окружающей среды. Пример — высоковольтные ЛЭП, проходящие практически повсеместно, в том числе и через природные ландшафты, и являющиеся, таким образом, одним из факторов среды для их обитателей. Проблема воздействия электромагнитных излучений на экосистемы все еще мало изучена, хотя на сегодняшний день имеются многочисленные данные опытов *in vitro* практически для всех групп организмов. Эти данные порой даже противоречивы, но самый существенный недостаток подобных исследований заключается в том, что в лабораторных опытах нельзя учесть абсолютно все условия, которые имеют место в действительности. Между тем, электромагнитные излучения наряду с другими жесткими антропогенными факторами, такими, как тяжелые металлы [3], могут выступать как один из ведущих лимитирующих факторов развития

¹ Картавых Татьяна Николаевна (artemisias@pisem.net), Подковкин Владимир Георгиевич (podkovkin@rambler.ru), Плотникова Елена Ивановна, кафедра биохимии Самарского государственного университета, 443011, Самара, ул. Акад. Павлова, 1.

экосистем и их отдельных компонентов. Основными эффектами воздействия таких факторов являются выбивание видов, не способных адаптироваться к их воздействию, возникновение устойчивых организмов с модифицированным фенотипом и биологией вида, сопровождающееся рядом эффектов, среди которых замедление темпов развития, возникновение зависимости от данного фактора в среде обитания, возникновение мутантных форм [2]. В нашей работе исследовалась реальная ситуация в живой природе: животные отловлены в естественном местообитании вблизи и непосредственно под высоковольтной ЛЭП и сразу же зафиксированы в жидком азоте. В опытах мы использовали температурный нагрузочный тест для выявления возможных латентных изменений в организме моллюсков, которые могли произойти под влиянием излучения ЛЭП. Это актуально еще и потому, что повышенная температура среды входит в число антропогенных факторов [9]. В тканях перловиц исследовали уровень малонового диальдегида, конечного продукта перекисного окисления липидов, как показатель стрессовой реакции организма [6], и каталазную активность, как показатель антиоксидантной защиты [8, 10].

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 вблизи села Красный Яр Самарской области. Исследуемые площади были удалены от источника излучения соответственно на 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: $T = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$, длительность экспозиции 30 минут. Контрольную группу животных подвергали воздействию повышенной температуры на участках 1500 м от ЛЭП. 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 каталазной активности во всех органах осуществляли по методу М.А. Королук, Л.И. Ивановой [1]. Также проводилось количественное определение содержания белков в исследуемом материале с целью пересчета активности фермента на миллиграмм белка. Определение белков производили микробиуретовым методом [1]. Определение малонового диальдегида проводили по методу И.Д. Стальной, Т.Г. Гаришвили [1]. Результаты подвергали статистической обработке при помощи критерия Стьюдента [11].

Результаты исследований и их обсуждение

При изучении каталазной активности у двустворчатых моллюсков были получены следующие результаты. При нормальной температуре окружающей среды каталазная активность мантии животных, отловленных на расстоянии 80, 120, 250 м от источника излучения, достоверно повышалась по сравнению с контролем (табл. 1). Увеличение исследуемого показателя у моллюсков, обитавших непосредственно под ЛЭП, не являлось статистически значимым. Существенных изменений уровня малонового диальдегида в мантии моллюсков при нормальной температуре не выявлено (табл. 2). Можно предположить, что под действием электромагнитного излучения ЛЭП в организме моллюска происходит образование свободных радикалов, вследствие чего активизируются антиоксидантные системы клеток, в частности повышается каталазная активность [5, 7]. Таким образом, ограничивается иницирование процесса цепной реакции перекисного окисления мембранных липидов, поэтому и уровень конечного продукта ПОЛ — малонового диальдегида — остается неизменным.

При повышенной температуре окружающей среды происходит незначительное снижение каталазной активности в мантии моллюсков на расстоянии 120 м от ЛЭП (табл. 1), а содержание малонового диальдегида в мантии моллюсков на расстоянии 80 м и непосредственно под ЛЭП существенно увеличивается по сравнению с контролем (табл. 2). Вероятно, комбинированное воздействие электромагнитного излучения и повышенной температуры вызывает у моллюсков реакцию, сходную со стрессовой реакцией у млекопитающих. В связи с этим в мантии животных нарастают процессы ПОЛ [4] и накапливается его конечный продукт — малоновый диальдегид.

При нормальной температуре окружающей среды отмечено незначительное повышение каталазной активности в жабрах у моллюсков, находившихся на расстоянии 120 м от ЛЭП (табл. 1). В группе контроля происходило достоверное увеличение активности фермента при

Таблица 1

Каталазная активность различных органов двустворчатых моллюсков, отловленных на разном удалении от высоковольтной линии электропередачи

Орган	Температура	Каталазная активность, нмоль/мг белка×мин				
		Расстояние от ЛЭП, м				Контроль
		0	80	120	250	
Мантия	35 °С	16,29 ±2,74	15,77 ±1,76	15,32 ±1,76	17,58 ±1,55	18,71 ±0,88*
	норм.	17,62 ±2,11	19,28 ±1,07*	18,54 ±0,81*	20,66 ±4,08*	14,22 ±1,22
Жабры	35 °С	38,96 ±3,07**	40,74 ±5,78	46,43 ±3,09	37,96 ±2,12**	48,52 ±2,74*
	норм.	35,79 ±2,25	37,56 ±1,96	40,14 ±2,02	40,31 ±5,23	36,92 ±1,08
Замыкатель	35 °С	20,46 ±0,64**	18,63 ±1,93**	23,79 ±2,17	20,24 ±2,75**	30,45 ±3,66*
	норм.	25,87 ±3,22	29,71 ±2,98*	27,25 ±1,19*	24,51 ±3,22	21,61 ±1,93
Нога	35 °С	12,13 ±1,43**	14,18 ±2,65	14,01 ±0,85**	16,23 ±1,88	18,57 ±1,53*
	норм.	14,18 ±0,66	15,95 ±0,52*	16,84 ±1,76	13,68 ±1,41	13,39 ±1,62
Внутренностный мешок	35 °С	13,59 ±1,44	16,67 ±2,87	16,15 ±2,29	17,92 ±1,89	17,13 ±2,14
	норм.	14,08 ±0,99	13,79 ±1,84	15,21 ±1,79	16,17 ±0,99	15,87 ±2,14

Примечание: * — $p < 0,05$ относительно контроля при нормальной температуре; ** — $p < 0,05$ относительно контроля при 35 °С.

повышенной температуре в сравнении с контролем при нормальной температуре. Также наблюдалось снижение каталазной активности в жабрах при повышенной температуре окружающей среды у моллюсков на расстоянии от ЛЭП на 250 м и непосредственно под источником излучения. Изменение содержания малонового диальдегида в жабрах животных при нормальной температуре не является статистически значимым (табл. 2).

При воздействии повышенной температуры и электромагнитных излучений совместно на организм животных происходит повышение содержания малонового диальдегида в жабрах моллюсков, находящихся на расстоянии 80 и 120 м от ЛЭП (табл. 2). Можно предположить

Таблица 2

Содержание малонового диальдегида в различных органах двустворчатых моллюсков, отловленных на разном удалении от высоковольтной линии электропередачи

Орган	Температура	Содержание МДА, $\times 10^{-6}$ нмоль/г ткани				
		Расстояние от ЛЭП, м				Контроль
		0	80	120	250	
Мантия	35 °С	17,21 $\pm 1,24^{**}$	18,29 $\pm 2,31^{**}$	14,69 $\pm 1,34$	13,89 $\pm 1,24$	11,89 $\pm 1,59$
	норм.	16,29 $\pm 0,47$	14,91 $\pm 0,74$	14,73 $\pm 1,84$	14,86 $\pm 1,69$	14,58 $\pm 1,34$
Жабры	35 °С	16,64 $\pm 1,44$	22,33 $\pm 3,39$	20,61 $\pm 1,01^{**}$	18,49 $\pm 1,64$	16,99 $\pm 1,31$
	норм.	19,92 $\pm 0,69$	22,71 $\pm 2,38$	19,66 $\pm 2,36$	17,72 $\pm 1,54$	19,57 $\pm 1,21$
Замыкатель	35 °С	10,22 $\pm 1,54$	9,99 $\pm 1,25$	11,18 $\pm 1,86$	12,58 $\pm 3,29$	12,76 $\pm 1,25$
	норм.	11,19 $\pm 1,17$	11,35 $\pm 1,82$	10,61 $\pm 1,59$	14,52 $\pm 2,27$	11,62 $\pm 1,01$
Нога	35 °С	6,69 $\pm 1,02$	8,21 $\pm 0,77$	6,65 $\pm 0,48$	8,41 $\pm 1,14$	6,51 $\pm 0,86$
	норм.	8,18 $\pm 0,71$	7,79 $\pm 0,92$	8,76 $\pm 0,98$	11,91 $\pm 2,35^*$	7,97 $\pm 0,82$
Внутренностный мешок	35 °С	20,14 $\pm 3,63$	19,61 $\pm 3,93$	27,02 $\pm 5,79$	18,94 $\pm 2,56^{**}$	25,94 $\pm 2,48^*$
	норм.	17,44 $\pm 1,56$	23,39 $\pm 4,03$	15,51 $\pm 3,39$	20,86 $\pm 3,24$	17,14 $\pm 2,95$

Примечание: * — $p < 0,05$ относительно контроля при нормальной температуре; ** — $p < 0,05$ относительно контроля при 35 °С.

о снижении антиоксидантной активности каталазы, результатом чего является накопление малонового диальдегида в ткани.

Исследование каталазной активности в замыкателях моллюсков при нормальной температуре показало повышение ее в группе животных, находящихся на расстоянии 80, 120 м от ЛЭП (табл. 1). При повышенной температуре во всех группах по сравнению с контролем отмечено снижение каталазной активности. Содержание малонового диальдегида в замыкателях моллюсков при нормальной температуре окружающей среды в сравнении с контролем не имеет существенных изменений (табл. 2). При исследовании содержания малонового диальдегида в условиях повышенной температуры окружающей среды

выявлено понижение его у животных, находящихся непосредственно под источником излучения, в сравнении с контролем.

Предполагается, что электромагнитное излучение при нормальной температуре окружающей среды вызывает усиление процессов перекисного окисления липидов, в результате возрастает каталазная активность и, следовательно, ограничивается инициирование цепного процесса. При создании стрессовой ситуации под действием повышенной температуры возможен другой механизм воздействия на ПОЛ — путем ограничения скорости ПОЛ при помощи системы антиоксидантов, таких, как токоферол, если процесс уже начался [5]. При исследовании каталазной активности в ноге моллюсков, обитавших на расстоянии 80, 120 м от ЛЭП, при нормальной температуре происходило повышение показателя по сравнению с контрольной группой (табл. 1). Содержание малонового диальдегида в ноге моллюсков при нормальной температуре повышалось у животных, отловленных на расстоянии 250 м от ЛЭП (табл. 2). В условиях повышенной температуры каталазная активность в ноге моллюсков снижалась у животных, находившихся на расстоянии 120 м и непосредственно под ЛЭП (табл. 1), тогда как в контроле при повышении температуры данный показатель увеличивался.

При нормальной температуре не наблюдали существенных изменений в содержании малонового диальдегида в ноге моллюсков (табл. 2). Можно предположить о роли влияния каталазы на процесс ПОЛ при нормальной температуре и при наличии электромагнитного поля, и при его отсутствии, а также о существовании других механизмов и незначительном влиянии каталазы на регулирование ПОЛ при комбинированном воздействии повышенной температуры и электромагнитного излучения, что наблюдалось и в замыкателях.

Изучение каталазной активности во внутренностном мешке моллюсков не показало существенных изменений при нормальной температуре. Было получено незначительное уменьшение данного показателя при повышенной температуре у животных, находившихся непосредственно под источником излучения, по сравнению с контролем (табл. 1).

При нормальной температуре не выявлено существенных различий в содержании малонового диальдегида во внутренностном мешке у двустворчатых моллюсков. При повышении температуры окружающей среды обнаружено понижение содержания малонового диальдегида у организмов, обитавших на расстоянии 250 м. Также существует различие между содержанием малонового диальдегида при нор-

мальной и повышенной температуре в контроле. Животные, подвергавшиеся действию повышенной температуры, содержат почти в 1,5 раза больше малонового диальдегида, чем в нормальных условиях (табл. 2).

Такое же различие присуще группе животных, удаленных на 120 м от ЛЭП. Существенных различий в других группах не найдено. В данном случае трудно говорить о взаимосвязи каталазной активности с перекисным окислением липидов. Предполагается некоторая (скорее, незначительная) роль влияния каталазы, но более вероятен иной путь регулирования цепной реакции в перекисном окислении липидов.

Выводы

1. Воздействие электромагнитного излучения при нормальной температуре вызывает увеличение каталазной активности в мантии, замыкателе, ноге двустворчатых моллюсков на расстоянии 80, 120 м от источника излучений и в мантии животных, взятых на расстоянии 250 м от линии электропередачи. Влияние электромагнитного излучения приводит к увеличению уровня малонового диальдегида в ноге у моллюсков на расстоянии 250 м от источника.

2. Повышенная температура среды вызывает увеличение каталазной активности во всех исследуемых органах, кроме внутренностного мешка, по сравнению с контролем.

3. Комбинированное воздействие электромагнитного излучения и повышенной температуры приводит к снижению каталазной активности в мантии, жабрах, ноге моллюсков непосредственно под источником электромагнитного излучения, в замыкателях моллюсков на всех расстояниях от него, а также в мантии, ноге на расстоянии 120 м и в жабрах на расстоянии 80 м.

4. Воздействие электромагнитного излучения и повышенной температуры вызывает увеличение уровня малонового диальдегида в мантии и замыкателе у животных на расстоянии 80 м от источника излучения и в жабрах на расстоянии 120 м. В мантии наблюдается понижение концентрации малонового диальдегида у моллюсков, находившихся непосредственно под источником электромагнитного излучения, и во внутренностном мешке — на расстоянии 250 м от него.

Литература

- [1] Большой спецпрактикум по биохимии / Сост. Н.А. Кленова. Самара: Изд-во СамГУ, 1996. 87 с.

- [2] Гаркави Л.Х., Квакина Е.Б., Уколова Н.А. Магнитные поля, адаптационные реакции и резистентность организма // Реакции биологических систем на магнитные поля. М.: Наука, 1978. С. 131–149.
- [3] Крылов Ю.М. Металлы в пресноводных экосистемах: механизмы воздействия и адаптации, миграция и депонирование // Экологические проблемы бассейнов крупных рек. Тезисы международной конференции. Тольятти: ИЭВБРАН, 1993. С. 90–91.
- [4] Ланкин В.З., Тихазе А.К., Осис Ю.Г. Моделирование каскада ферментативных реакций в липосомах, включающих последовательное свободнорадикальное окисление, восстановление и гидролиз полиеновых ацилов фосфолипидов для исследования влияния этих процессов на структурно-динамические параметры мембраны // Биохимия, 2002. № 5. С. 679–689.
- [5] Лушак В.И. Окислительный стресс и механизмы защиты от него у бактерий // Биохимия, 2001. № 5. С. 592–609.
- [6] Меерсон Ф.З., Пшенникова М.Г. Адаптация к стрессовым ситуациям и физическим нагрузкам. М.: Медицина, 1988. 253 с.
- [7] Метелица Д.И. Моделирование окислительно-восстановительных ферментов. Минск: Наука и техника, 1984. 293 с.
- [8] Потапович М.В., Еремин А.Н., Арцукевич И.М. и др. Выделение, очистка и характеристика каталазы метилотрофных дрожжей *Pichia pastoris* // Биохимия. 2001. № 6. С. 707–810.
- [9] Протасов А.А., Здановски Б. К определению воздействий тепловых и атомных электростанций на гидроэкосистемы с помощью экспертных оценок // Гидробиологический журнал. 2002. № 1. С. 95–105.
- [10] Скулачев В.П. H_2O_2 -сенсоры легких и кровеносных сосудов и их роль в антиоксидантной защите организма // Биохимия. 2001. № 10. С. 1425–1429.
- [11] Фролов Ю.П. Математические методы в биологии. ЭВМ и программирование: теоретические основы и практикум. Самара: Изд-во СамГУ, 1997. 265 с.

**THE EFFECT OF A TRANSMISSION LINE'S
ELECTROMAGNETIC FIELD AND HIGH
AMBIENT TEMPERATURE ON THE CONTENT
OF MALONYL DIALDEHYDE
AND KATALASE ACTIVITY IN BIVALVES**

© 2003 T.N. Kartavykh, V.G. Podkovkin, E.I. Plotnikova²

The effect of a transmission line's emission on biochemical indices in mollusks under conditions of heat load and without it is analysed. The character of isolated and combined action of mentioned factors upon bivalves' organism is discussed.

Поступила в редакцию 28/V/2003.

² Kartavykh Tatiana Nikolaevna (artemisia@pisem.net), Podkovkin Vladimir Georgievich (podkovkin@rambler.ru), Plotnikova Elena Ivanovna, Dept. of Biochemistry, Samara State University, Samara, 443011, Russia.