ЭФФЕКТЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ НАНОДОЗ ХИМИЧЕСКИХ И ФИЗИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ВОДНЫХ ЖИВОТНЫХ

Н.Е. Лебедева

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (г. Москва)

Effects of nanodoses of chemical and physical factors on aquatic organisms

N.E. Lebedeva

Lomonosov Moscow State University, Faculty of Biology (Moscow, Russia)

РЕЗЮМЕ

Показан биологический эффект воздействия нанодоз химических (неорганических и органических) соединений и физических факторов у водных организмов.

В работе приведены экспериментальные результаты, полученные при изучении автор влияния более чем 25 биологически активных и токсических веществ в нанодозах на функционально значимые реакци у инфузорий. У рыб различного систематического положения и на разных уровнях биологической организации выявлен и сопоставлен биохимический эффект нанодоз феромона тревоги. Изучено воздействие слабых физических полей – природного радиоактивного фона и некоторых видов электромагнитных полей и ионизирующего излучения на физиологический статус водных организмов и физико-химические параметры воды. Обнаружена достоверная корреляция измененй ритмов солнечной активности и интенсивности радиоизлучений со сдвигами биохимических параметров у рыб. Обсуждается универсальность значения малых доз для биоты.

Ключевые слова: *нанодозы, гомеопатические дозы, биологически активные соединения, токсиканты, пептиды, феромон тревоги, слабые физические поля, гелиофизические факторы, физиологический статус водных организмов, инфузория –спиростома, рыбы.*

RESUME

The biological effect of nanodoses of chemical (Inorganic and organic) compounds and physical factors in aquatic organisms was shown. The article presents experimental results of the author in study of functionally significant influence on the reaction of infusoria of more than 25 biologically active and toxic substances in nanodoses. Biological effect of alarm pheromone nanodose was revealed and identified in fishes of different systematic position and different levels of biological organization. The effect of weak physical fields of natural background radiation, certain electromagnetic fields and ionizing radiation on physiological status of aquatic organisms and physical and chemical parameters of water were studied. Significant correlation of changes on solar activity and intensity of radio emission with shifts in biochemical parameters of fishes were determined. Universal effect of low doses on biota is discussed.

Keywords: *nanodose, homeopathic doses, biologically active compounds, toxicants, peptides, alarm pheromone, weak physical fields, heliophysical factors, physiological status of aquatic organisms, infuzoria – spirostomum, fishes.*

ВВЕДЕНИЕ

Известный русский радиобиолог А.М. Кузин писал, что «эволюция жизни на нашей планете выявила способность живых организмов использовать для своего процветания ультрамалые количества многих физических и химических факторов, вредных и ядовитых в больших количествах (радиацию, атмосферное давление и т.д.)» [1]. Это, ныне широко изучаемое явление, получившее в биологии название гормезис, в то же время уже более 200 лет является основной парадигмой гомеопатии. Для объективной оценки общих биологических закономерностей эффекта нанодоз последние должны изучаться на различных уровнях организации жизни – в биоценозах, на уровнях вида, а также на суборганизменных уровнях – органном, тканевом, клеточном и молекулярном. При таком подходе мы можем говорить о беспристрастной оценке их эффекта на жиз-

ненно важные процессы, проявления которых кажутся нам порой одиозными. Эффект ультрамалых воздействий, как физических, так и химических (в частности гомеопатических), это не случайное явление в живой природе. Одним из парадоксальных эффектов НД является то, что биологическая система может «почувствовать» влияние фактора, введённого в неё извне в концентрации на несколько порядков ниже тех, которые имеются в самой системе (органе, организме и т.п.) [2]. Известно, что в тканях и органах организмов содержится в среднем от 10^{-8} до 10^{-11} М гормонов, нейромедиаторов, нейропептидов и других биологически активных веществ. Вместе с тем, показана способность клеток и тканей реагировать на воздействия в концентрации меньше 10^{-17} М [3].

Одним из биогенных веществ, проявляющих свой эффект в природе в малых дозах, являются феромоны, или, как их образно называют, – гормоны среды. Эти соединения выделяются растениями и животными в окружающую среду и влияют на поведение или физиологическое состояние других особей своего вида (это свойство феромонов называется видоспецифичностью). Особенно полно изучена и широко известна роль феромонов в жизни насекомых. В последнее время интенсивно исследуются и получают практическое применение феромоны сельскохозяйственных животных и даже человека. Феромоны у водных животных изучены фрагментарно. В своих исследованиях мы попытались обнаружить и сравнить эффект малых и сверхмалых доз различных природных биологически активных и синтетических веществ, а также выявить их особенности на эволюцию в различных группах водных организмов – одноклеточных инфузориях и рыбах.

Цель исследования: доказать возможность восприятия водными животными нанодоз химических и физических факторов.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом нашего исследования являлся организм – клетка водная инфузория Spirostomum ambiguum. Спиростома имеет характерную червеобразную форму (она родственница хрестоматийно известной инфузории туфельке) с размерами: длина – 1–3 мм, диаметр – 0,3–0,5 мм. В оптимальных условиях спиростома осуществляет равномерное поступательное движение в толще воды со скоростью 2,5 см/мин. Характер движения спиростом обеспечивается механизмом совместного биения ресничек. Проведенное электронно-микроскопическое исследование свидетельствует о многоплановой морфологической организации протозойной клетки, отражающей полифункциональность спиростомы. Сложная функциональная организация инфузории проявляется в реакции на действие разных раздражителей. Среди различных «ответных» реакций животных поведение относится к наиболее чувствительным феноменам. Примером может служить спонтанная двигательная активность, свойственная животным всех уровней, включая простейших. Критерии функционального состояния спиростом разаботаны и апробированы сотрудниками МГУ под руководством проф Н.А. Тушмаловой [4]. Параметры функционального состояния инфузории следующие (по мере его ухудшения):

1. Изменения показателя лишь на фоне воздействия другим раздражителем в подпороговой дозе.
2. Изменение двигательной активности.
3. Изменение поведения.
4. Изменение формы тела.
5. Изменение возбудимости.
6. Изменение сроков выживаемости.

Все эти реакции поведения и особенности морфологии спиростом позволили создать полуколичественную шкалу оценки степени воздействия раздражителя [4, 5]. Изменения скорости движения, характера поведения могут служить показателем функционального состояния инфузорий. В ответ на неблагоприятное воздействие спиростомы меняют траекторию и скорость движения. Появляются «вертячки», попятное движение и такие «предвестники гибели», как морфологические аномалии тела. Отличительной особенностью этих изменений является реакция на воздействие по принципу «все или ничего», когда все или подавляющее большинство особей популяции проявляют реакцию на внешнее воздействие. Эксперименты всегда проводили в дневную часть суток (с 9 до 21 часов). Поведение спиростом исследовали методом «открытого поля». Количественным показателем служило изменение поведения у одноклеточных животных, оцененое по критерию спонтанной двигательной активности (СДА), выраженное в относительных единицах. Для каждой точки использовали 20 особей. Мерилом поведения служил индекс двигательной активности – число пересечений спиростомой визира окуляра бинокуляра. Время наблюдения – 5 минут. Время экспозиции – 60 минут. О репрезентативности применяемого критерия свидетельствуют его колебания у интактных

спиростом от 14 до 16 СДА в течение 18 лет проведения исследований.

Низшие позвоночные – рыбы также являлись объектами нашего изучения. Иссследования проводили на разных видах рыб (карп, толстолобик, скалярия, тиляпия и ленский осетр). Для каждой точки использовали группу из 3–5 рыб, всего в экспериментах использовали более 80 рыб. Опыт многолетнего изучения особенностей синдрома стресса у рыб (с 1975 года) помог нам в адекватной постановке и проведении экспериментов по изучению стресса и антистрессовых мероприятиев в этой серии исследований. О физиологическом статусе рыб судили по двум критериям: по биохимическим параметрам слизи *in vivo* (прижизненная диагностика) и активности одного из индикаторных ферментов стресса – ацетил-холинэстеразы (АХЭ). Прижизнено в хроническом эксперименте сдвиги метаболизма, происходящие в организме рыб, можно оценить по изменению состава биологических жидкостей, в частности, слизи. Биохимические показатели слизи определяли, впервые применяемым нами для слизи рыб аналитическим экспресс-методом с помощью реагентов, иммобилизованых на твердом носителе в мультислойной цветной пленке фирмы «Ames» [6]. Определяли содержание следующих компонентов наружной слизи: белка, кетонов и гемоглобина, а также изменение pH и плотности слизи. Содержание параметров оценивали в следующих единицах: белка в г/л, кетонов в ммоль/л, гемоглобина в мкг/л. Каждый из представленых результатов – среднее из 10 определений [7]. Определение активности фермента АХЭ проводилось по методике, разработанной Эллманом и сотрудниками и модифицированной в лаборатории профессора Е.Б. Бурлаковой [8].

Для удобства сравнения эффекта нанодоз многие полученные результаты представлены в процентах. Статистическую обработку всего экспериментального материала проводили непараметрическими методами, используя критерий U (Манн-Уитни), а также рассчитывали коэффициент корреляции Спирмена.

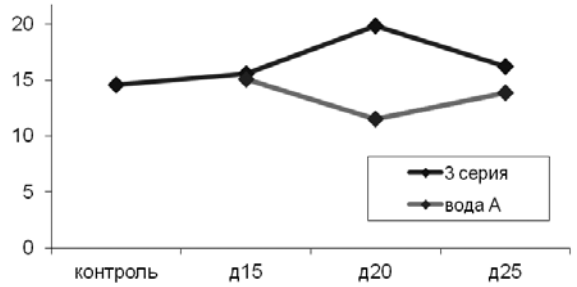

Рис. 1. На рисунке представлена одна из повторностей опыта. Представленные результаты типичны для всех повторностей поыта.** Ось абсцисс – концентрация фетозана, ось ординат – ИДА спиростом.

У рыб исследовали воздействие на уровне целого организма и на уровне ферментных систем рыб запатентованого (патент [9]) препарата циприн. Источником его служат водорастворимые соединения из кожи рыб в разведении Д15. Циприн приготовлен по авторской технологии.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Задачей настоящей работы является представление и обсуждение собственных данных (полученных совместно с коллегами), доказывающих восприятие водными животными нанодоз физических и химических факторов. Следует отметить что в данной работе речь пойдёт об эффектах нанодоз, сопоставимых с гомеопатическими дозам (потенция Д3 соответствует концентрации 10^{-3}). Проверку закономерностей воздействия нанодоз у инфузорий мы начали с изучения у них реакции на фенозан, эффект которого по разным критериям подробно исследован сотрудниками лаборатори профессора Е.Б. Бурлаковой [10]. Последнее и побудило нас опробовать свойства этого антиоксиданта (ингибитора протеинкиназы С) в ультрамалых дозах на спиростоме. Исследовали раствор фенозана, приготовленный по гомеопатической технологии Д15, Д20 и Д25. Для сравнения проводили исследования потенциированной воды (вода А). [11]. Выявлена способность дифференцированного поведенческого ответа спиростом на спектр изучаемых гомеопатических концентраций. Обнаружен полимодальный характер дозовой зависимости, присущий эффекту нанодоз на организмы.

Паралельно эти же дозы фенозана изучали слепым методом в разных лабораториях другие ученые. Они исследовали эффект антиоксиданта на физические свойства воды (электропроводность,) на биохимическую модель фермент-субстратный комплекс (ацетилхолинэстераза-ацетилхолин) на свойства мембран (вязкость) [12]. Было показано изменение всех указанных критериев под влиянием испытанных доз. Отмечены корреляция и однонаправленность действия фенозана на изменение всех указанных показателей. Выявлена зависимость величин изменений от применяемых разведений и фактора потенцирования.

Большая группа веществ, тестируемых в следующих сериях экспериментов, для удобства сравнения эффектов представлена в табличном виде (табл. 1).

Таблица 1

Влияние нанодоз биологически-активных веществ на инфузории, рыб и лабораторных животных

№	Класс соединений	Инфузории спиростомы, рыбы			Рыбы, лабораторные животные	Источник
		Вещество	Концентрация	Эффект СДА		
1	Тяжелые металлы	$CuSO_4$	$3{,}1 \times 10^{-6}$ М $3{,}5 \times 10^{-6}$ М	Летальный исход	Изменение физиологического статуса рыбы и биохимического состава слизи и крови рыб	[13, 14]
			$6{,}2 \times 10^{-7}$ М $1{,}6 \times 10^{-7}$ М	Незначительное изменение двигательной активности		
		$ZnSO_4$	$1{,}0 \times 10^{-6}$ М	Незначительное изменение двигательной активности	Изменение физиологического статуса рыбы и биохимического состава слизи и крови рыб	[13, 14]
		$Pb(NO_3)_2$	$1{,}5 \times 10^{-6}$ М $7{,}5 \times 10^{-7}$ М	Изменение СДА на 40 %	Изменение физиологического статуса рыбы и биохимического состава слизи и крови рыб	[13, 14]
2	Аминокислоты	Аланин	$1{,}0 \times 10^{-3}$ М	110 %	Привлекающее действие	Неопубликованные данные
		Гистидин	$1{,}0 \times 10^{-3}$ М	180 %	Привлекающее действие	Неопубликованные данные
		Аланин + гистидин	$1{,}0 \times 10^{-3}$ М	133 %	Привлекающее действие	Неопубликованные данные
	Дипептиды	Карнозин	$1{,}0 \times 10^{-3}$ М	172 %	Защитно-миграционное поведение у рыб	Неопубликованные данные
	Трипептиды	Тиреолиберин	$1{,}0 \times 10^{-3}$ М	170 %	Угнетение двигательной активности у рыб	Неопубликованные данные
	Тетрапептиды	АКТГ	$1{,}0 \times 10^{-3}$ М	Изменение СДА на 76 %, изменение формы тела	Возбуждение	Неопубликованные данные
	Нанопептид	Пептид дельта сна	$1{,}0 \times 10^{-3}$ М	Изменение СДА на 63 %, изменение формы тела	Угнетение	Неопубликованные данные
3	Водорастворимые низкомолекулярные соединения слизи и кожи рыб	Водорастворимые пептиды слизи рыб	$1{,}0 \times 10^{-3}$ М	Нет изменений	Незначительное возбуждение	[10]
		Феромон инактивированный	$1{,}0 \times 10^{-3}$ М	Нет изменений	Нет изменений	[15]
		Феромон тревоги (из кожи карповых рыб)	$1{,}0 \times 10^{-3}$ М	170 %	Увеличение двигательной активности. Уход от опасности	[15]
		Циприн	$1{,}0 \times 10^{-15}$ М	Изменение движения спиростом имело полумодальный характер	У рыб оказывает влияние на выживаемость, скорость развития икры, эта сверхмалая концентрация вызывает успокоение	[15]
4	Наркотические анальгетики	Фентанил	$1{,}0 \times 10^{-13}$ М	Наркотическое действие, исчезающее через 2 часа	Увеличение порога боли приблизительно в 1,5 раза. Доза $1{,}7 \times 10^{-14}$ мг/кг	Собственные неопубликованные данные
5	Пестициды	Дельтаметрин	$1{,}0 \times 10^{-7}$ – $1{,}0 \times 10^{-18}$ М	Полимодальный характер действия	Усиление действия курароподобных средств на Н-ХР 1×10^{-18} М. В лимфоидном ряду крови кур наблюдается в 28 % случаях некробиоз. Доза $3{,}3 \times 10^{-12}$ мг/кг. n = 800 клеток	Собственные неопубликованные данные
		Карбофос	$1{,}0 \times 10^{-3}$ – $1{,}0 \times 10^{-17}$ М	Полимодальный характер действия		Собственные неопубликованные данные
			$1{,}0 \times 10^{-13}$ М	Угнетение СДА на 50 %, изменение поведения		

Как видно из табл. 1, выявлено изменение всех указанных критериев под влиянием нанодоз раздражителей разных классов. Исследование токсикантов неорганического (группа №1) и органического (группа №5) происхождения выявило, что они воспринимаются спиростомой. А степень эффекта зависит от исследуемой концентрации. С помощью этого же метода авторами была ранее оценена степень токсичности водоемов, примыкающих к московской кольцевой автомобильной дороге, и выявлены экологически неблагоприятные районы [16]. Удалось обнаружить и эффективность и наркотических веществ в нанодозах (группа №4). В аминокислотно-пептидной группе №2 (табл. 1) выявлены различные эффекты спиростом на воздействия аминокислот разной молекулярной массы. Вместе с тем, пептиды, независимо от различной молекулярной массы и биологической активности,

примерно одинаково (до 70 %) снижают СДА у спиростом.

Остановлюсь несколько более подробно на группе №3. У многих гидробионтов прекрасно развита хеморецепция, что помогает им адекватно воспринимать окружающую среду и с помощью биогенных соединений [17]. Эти соединения находятся в водоёме и эффективны в ультрамалых концентрациях. Нам удалось показать, что крайне видоспецифичное биогенное «вещество испуга» карповых, их феромон тревоги воспринимается и одноклеточными [15]. По нашим предварительным данным, феромон тревоги карповых рыб относится к пептидам (молекулярной массой менеее 1500 Да). Феромон в концентрации от 10^{-3} до 10^{-8} обладает для карповых рыб высокой видоспецифичностью и вызывает реакцию тревоги или опасности, сопровождающуюся характерным поведением и сдвигами биохимических параметров, присущими синдрому стресса. Выявлен его эффект и у спиростом. Опираясь на парадигму гормезиса [18], логично было предположить антистрессовое действие нанодоз этого препарата. Исследование эффекта его шкалы разведений позвоило выявить таковое. Концентрация 1×10^{-15} обладает максимально антистрессовой активностью. На основе авторской технологии создан антистрессовый препарат для рыб и получен на него патент [9].

Нами предпринята попытка выявить также действие некоторых гомеопатических лекарств на СДА. В предварительных экспериментах исследовали следующие лекарства.

Таблица 2

Лекарство, концентрация	спонтанная двигательная активность в %
контроль	100
сахар молочный 1 кр в 10 мл	12
сахар молочный 1 кр в 100 мл	160
сахар молочный 1 кр в 1 л	160
хина Д 30 1:10	53
сульфур 6 1 кр в 1 л	130
арсеник 6 1 кр в 1 л	142
арсеник водный 1: 10	170

Показано, что испытываемые гомеопатические лекарства оказывают дифференцированное воздействие на СДА инфузорий [18]. Однако следует отметить, что действие молочного сахара (на который наносят лекарство) сильнее, чем действие самого лекарства. Нам представляется, что для дальнейшего тестирования эффективности гомеопатических лекарств на спиростомах нужно решить некоторые методические сложности. Тем не менее, нами выявлено, что гомеопатические лекарства вызывают изменения СДА, отличные от контроля, что, в свою очередь, свидетельствует об эффективности метода.

Таким образом, в экспериментах на одноклеточных проявились и подтвердились установленые ранее другими исследователями и другими методами закономерности функционирования НД – эффект и полимодальность их действия, гормезис и отсуствие видоспецифичности эффекта.

Для сравнительной биологической оценки эффекта циприна, полученного у беспозвоночных, следущую серию экспериментов проводили на высоко организованных низших позвоночных. Исследования проводили на нескольких видах рыб. Выбор изучаемых видов (карп, толстолобик, осетр, тиляпия и форель) обусловлен их принадлежностью к далёким в систематическом отношении семействам. Последнее поможет установить такое свойство исследуемого препарата циприн, как его видоспецифичность. У рыб ранее были показаны нарушения в обмене веществ, вызванные состоянием тревоги (стресса), которые сопровождаются сдвигами биохимических параметров. Об изменениях физиологического статуса судили по сдвигам биохимического состава специфической жидкости – наружной слизи рыб [6]. Наиболее информативным и специфическим критерием стресса у рыб служит появление гемоглобина в их наружной слизи. Полученные результаты свидетельствуют о значительных биохимических изменениях при остром стрессе у всех видов исследованных рыб: увеличение содержания гемоглобина и белка, а также изменение pH и плотности слизи. Отмечены сдвиги и в формуле крови. В ходе эксперимента визуально выявлено, что воздействие циприна оказывает антистрессовое воздействие на рыб. Добавление препарата в воду к стрессированным рыбам практически нормализовало сдвиги от стресса и по исследуемым биохимическим показателям слизи и крови. При этих условиях у стрессированных рыб нормализуется и содержание общего белка в ткани мозга, сниженное при стрессе (рис. 2а). Важно обратить внимание на то, что возвращение к норме изучаемых параметров выявлено у всех видов исследованных рыб, даже относящихся к далеким в систематическом отношении группам. Следует особо отметить, что найденные эффекты отличались только по величине, а не по его направленности.

Представляло несомненный интерес испытать воздействие циприна на тканевом и клеточном уровнях у рыб. Ранее было показано,

что НД некоторых физических и химических воздействий изменяют активность одного из ключевых ферментов стресса ацетилхолинэстеразы (АХЭ). Исследования проводили и на тканях стрессированного организма и обработанного циприном *in vivo* и *in vitro* в пробирке, когда к фракции мембран и очищенному ферменту добавляли циприн. С целью выявить корреляцию изменений при обработке циприном целого организма с изменениями в его тканях и клетках оценивали активность и некоторые характеристики АХЭ в мозге рыб. В последующих экспериментах удалось показать что при развитии стресса у рыб (опыты *in vivo*) снижается активность и изменяются кинетические характеристики АХЭ (рис. 2а). Добавление НД феромона в воду к стрессированым рыбам нормализует кинетические характеристики АХЭ. При проведении эксперимента «в пробирке» *in vitro* (добавление НД феромона к гомогенату головного мозга стрессированного карпа) также обнаружены изменения исследованных параметров. Однако следует особо подчеркнуть, что направленность изменений была противоположной (рис. 2б). Подобный эксперимент с фракцией мембран головного мозга стрессированной тиляпии выявляет аналогичный эффект (рис. 2б). Исследования проведенные на водных позвоночных, позволили выявить и сопоставить эффект циприна у рыб различного систематического положения и на разных уровнях биологической организации. При стрессе у рыб обнаружены изменения биохимических параметров в слизи и крови, а также свойств и кинетических характеристик АХЭ мозга – одного из ключевых ферментов стресса. Выявлен нормализующий антистрессовый эффект циприна на эти параметры. При исследовании эффекта циприна *in vitro* показано, что добавление его к тканям и органеллам мозга также вызывает значительные сдвиги активности АХЭ.

Однако эти изменения противоположного знака и приводят к ещё большему снижению, а не нормализации изучаемых параметров. Добавление циприна в воду, где находились стрессированные рыбы, практически нормализовало все изменения от стресса в слизи и крови. При добавлении циприна у стрессированных рыб нормализуется и содержание общего белка в ткани мозга, сниженное при стрессе. Важно обратить внимание на то, что возвращение к норме выявлено у «дальних родственников» карпа. То есть циприн сохраняет биологическую активность, но теряет свою видоспецифичность. При проведении эксперимента *in vitro* «в пробирке» (добавление циприна к клеткам головного мозга стрессированного карпа и тиляпии) обнаружена нормализация физико-химических характеристик одного из ключевых ферментов стресса ацетилхолинэстеразы. Одной из гипотез, которая может объяснить однотипность влияния ультрамалых доз на организм животных, включая человека, может быть общность молекулярных механизмов, определяющих ответные реакции на эти дозы. Последние можно рассматривать как пример исследования феноменов, отражающих эффект малых и сверхмалых воздействий химических факторов на биоту.

Воздействия физических факторов на организмы животных

Хотелось подчеркнуть, что эффективность для биоты нанодоз химических факторов – это и не необычное, и не редко встречающееся в

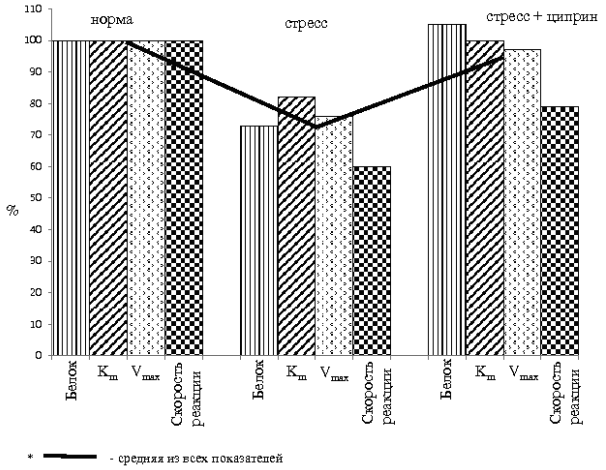

Рис. 2а. Влияние НД феромона на скорость реакции и кинетические характеристики АХЭ (в экспериментаъ *in vivo*).

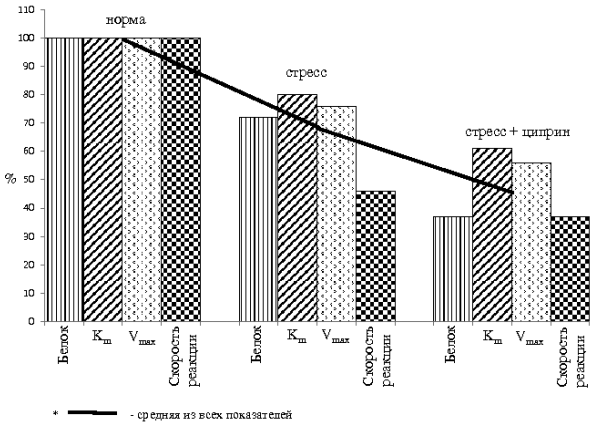

Рис. 2б. Влияние НД феромона на скорость реакции и кинетические характеристики АХЭ (в экспериментах *in vitro*).

природе явление. Физические факторы, под влиянием которых формировался весь процесс эволюции, также воздействуют на биоту излучением различной мощности. Важно отметить проявившуюся и в данном случае закономерность, характерную для НД и названную «радиационным гормезисом» [1]. Эффекты малых доз радиации проявляются от стимулирующего действия на биоту до разрущающей силы антропогенного воздействия атомной бомбы, взорванной над Хиросимой. Известно, что обращение эффекта (с негативного на стимулирующий) происходит при дозах, близких к естественному природному радиационному фону (ПРФ). Этот фон, часто называемый космическими или гелиофизическими факторами, состоит в основном из гамма-, бета- и альфалучей с малой примесью нейтронов протонов и других элементарных частиц. Установлено, что ПРФ необходим для существования биоты. Более того, установлено, что изоляция от ПРФ приводит к угнетению таких жизненно важных процессов, как рост и размножение у многих организмов [19].

Эффекты нанодоз физических воздействий на одноклеточных

В одной из последних наших работ с большим коллективом различных специалистов под руководством академика А.И. Коновалова очень полно изучено воздействие слабых физических полей природного радиоактивного фона и некоторых видов электромагнитных полей и ионизирующего излучения на физиологический статус спиростом и физико-химические параметры воды [20]. Эта работа расширила и углубила наши представления о свойствах окружающей среды. Вероятнее всего, состояние окружающей физической среды оказывает влияние на водную среду и индуцирует изменения жизнено важных параметров биообъектов в ней [21]. Представленные результаты расширяют и дополняют полученные ранее данные о влиянии других излучений на поведенческие реакции спиростом [5]. Выявлено, что спиростомы дифференцируют воздействие альфа- и бета- и их суммарного облучения на воду. Эффект воды, облученной бета- источником, на СДА спиростом, больше, чем воздействие воды, облученной альфа-источником, а суммарное воздействие этих источников вызывает значительный эффект, но с противоположным знаком. Найденные изменения СДА спиростом от дистанционно облученной воды («by stend» эффект) примерно равны таковым от непосредственно облученной воды или в случае гамма-нейтронного облучения даже несколько больше эффекта «by stend». Эффект «by stend» исчезает в случае, когда водная среда экранирована фольгой. По поведенческому критерию изучено действие тепловых нейронов и сопутствующего гамма излучения [22], а также гамма излучения γ в широком диапазоне доз от 0,01 до 1500 Гр ($ЛД_{50}$ для простейших более 1000 Гр) на клеточном (и организменном) уровнях [20]. Выявленное снижение СДА сохранялось на протяжении многих генераций (изучено 10–15 поколений спиростом) [5]. Изменения в поведении проявлялись у значительного числа особей, т.е. происходили по принципу «все или ничего» и отличались от обычно наблюдаемых при увеличении дозы радиационных клеточных эффектов независимостью от величины дозы в диапазоне малых и средних для спиростом доз от 0,01 до 800 Гр [5]. Выявлен негативный эффект, возникающий у спиростом при одночасовом нахождении в низкоинтенсивном радиочастотном поле ЭМП с частотой излучения 1 и 10 ГГц и ППЭ 50 мкВт/см^2.

Для выявления действия неионизированного электромагнитного излучения (ЭМИ) на поведение спиростом их подвергали воздействию более сильных, нежели природные, техногенных ЭМИ от компьютера и мобильного телефона при щадящих параметрах: вода располагалась в течение 15 минут на расстоянии 20 см от источника. При этих условиях воздействия ЭМИ изменяли свойства опытной воды, и инфузории, будучи помещёнными в неё, увеличивали свою ИДА на 34 %, а также модифицировали поведение. Более длительная экспозиция (до 2-х часов) приводила к дальнейшему росту СДА до 160 %, что привело в дальнейшем ещё через 2 часа к резкому снижению СДА до 80 %.

При исследовании кратковременного (от 10 мин. до 10 ч) действия низкоинтенсивного ЭМИ) на частоте мобильной связи (1 ГГц) и радаров военно-промышленного комплекса (10 ГГц) с плотностью потока энергии (ППЭ) 5, 10 и 50 мкВт/см^2 обнаружено:

а) снижение двигательной активности простейших при всех значениях ППЭ (ПДУ для населения России составляет 10 мкВт/см^2 [5];

б) наличие «пороговой» экспозиции, которая смещается в сторону сокращения допустимого (безопасного) времени нахождения в ЭМП с увеличением ППЭ;

в) выход на «дозовое плато», когда величина эффекта не изменяется с увеличением воздействия. При этом показано, что «дозовое плато» может быть бесконечно большим;

г) сохранение биологического эффекта в изменении поведения в поколениях простейших (прослежено 10–15 генераций) [5].

Все выявленные характерные особенности поведения, по сравнению с таковым у контрольных особей, свидетельствуют о значительном неблагоприятном воздействии ЭМИ на воду.

В другой серии экспериментов ЭМИ воздействовали на воду, в которую были заранее помещены спиростомы. У последних также наблюдалось изменение изучаемых параметров, величина и характер которых отличаются от описанных выше. Мы полагаем, что в наших экспериментах установлен раздельный эффект ЭМИ на свойства воды и на живой организм. Условия последнего эксперимента приближены к природным, где наблюдается синергизм этих воздействий, как и в нашем втором эксперименте. Результаты проведенных исследований согласуются с более ранними нашими работами об изменениях в окружающей среде, вызванных природными циклами, солнечной активностью и др., которые были идентифицированы и оценены с помощью одноклеточных гидробионтов. Выявлено, что изменения воды под влиянием и сверхслабых природных циклов, и техногенных ЭМИ воспринимаются одноклеточными водными организмами и оказывают заметное влияние на их жизнедеятельность.

Эффекты нанодоз физических воздействий на рыб

Чтобы подчеркнуть универсальность эффекта ультрамалых доз на биоту, приведем примеры воздействия гелиофизических факторов в таких же дозах на организм водных позвоночных – рыб. «В настоящее время накопился огромный эмпирический материал результатов изучения суточных и циркадных, приливно-отливных, годичных и сидерических – сезонных ритмов, связанных с атмосферным электромагнитным полем, также ритмически изменяющимся под влиянием естественных геофизических ритмов других частот, пермещения воздушных масс, изменений активности солнца и связанными с ними геомагнитными явлениями, и других еще мало изученных, имеющих многолетнюю продолжительность» [23]. Космическое воздействие четко проявляется в ритмологии жизнено важных процессов в живых организмах. В связи с коротким жизненым циклом спиростом на них не изучался суточный ритм. Однако у рыб нам удалось выявить ритмический характер суточных изменений физиологического статуса. В хроническом эксперименте выявлен ритмический характер сдвигов биохимических параметров (кетонов, гемоглобина и белка) в наружной слизи карпа в норме и под воздействием токсических веществ и экологических раздражителей.

Обнаружена достоверная корреляция ритмов биохимических параметров с изменениями солнечной активности и интенсивности радиоизлучений. Обсуждается проблема сочетанного действия малых доз различных факторов окружающей среды на организмы).

Характер ритмов – выявленная синхронизация – может явиться отражением гомеостатического процесса. Изменение характера кривой под влияниием различных раздражителей могут проявиться в изменении амплитуды ритмов и их десинхронизации

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Показан биологический эффект воздействия нанодоз химических и физических факторов у гидробионтов. Выявлена реакция на нанодозы организмов ранних стадий эволюции (донервные организмы). Обнаруженная способность реагировать на такие дозы сохранилась и у высокоорганизованных позвоночных животных. Универсальность функционального значения нанодоз для всего живого является примером энергетически экономного

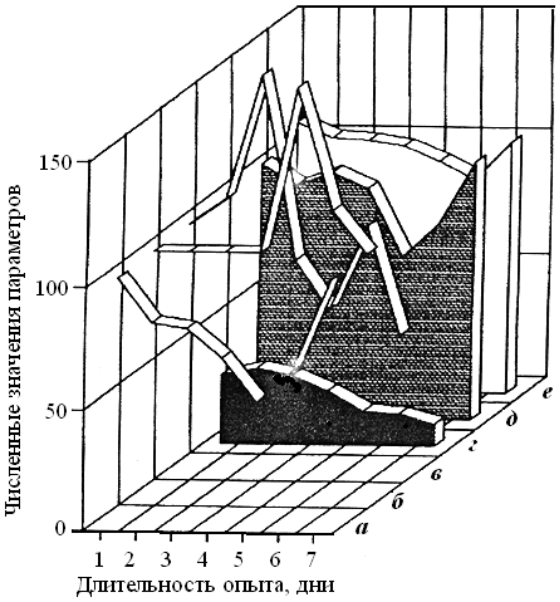

Рис. 3. Динамика гелиофизических факторов и биохимических показателей интактных рыб в хроническом эксперименте. Биохимические параметры: *а* – кетоны, *б* – уровень гемоглобина, *в* – содержание белка. Физические параметры: *г* – солнечная активность *Ak*, *д* – числа Вольфа *W*, *е* – уровень радиоизлучения *F*.

пути развития. Смысл эффекта нанодоз – это минимизация энергетических затрат при метаболизме. Суть возникновения феномена минимальных затрат энергии эаключается в его максимальном эффекте. Последнее связано с необходимостью реализации знаковых биологических феноменов, что эволюционно прогрессивно. Всё вышесказанное и полученные нами ранее результаты позволяет выдвинуть и сформулировать предположение: большинство веществ в нанодозах являются потенциально биологически активными и обладают регуляторной знаковой функцией.

Сердечно благодарю профессора МГУ Нину Александровну Тушмалову за помощь в написании статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузин А.М. Роль природного радиоактивного фона и вторичного биогенного излучения в явлении жизни. – М.: Наука, 2002.

2. Бурлакова Е.Б. Особенности действия сверхмалых доз биологически активных веществ и физических факторов низкой интенсивности // Рос. хим. журн., 1999. – Т.43. – №5. – С.3–6.

3. Ткачук В.А. Введение в молекулярную эндокринологию. – М.: МГУ, 1983.

4. Тушмалова Н.А. Функциональные механизмы приобретённого поведения у низших беспозвоночных. – М.: МГУ, 1986. – 109 с.

5. Tushmalova N.A., Lebedeva N.E., Igolkina Yu V., Sarapultseva E.I. Spirostomum ambiguum as a bioindicator of aquatic environment pollution // Moscow University biological sciences bulletin. – (New York, N.Y., United States: Allerton Press, 2014. – T. 69, №2. – P.67–70.

6. Lebedeva N.E. Skin and superficial mucus at fish - biochemical structure and functional role // Ichthyology: recent research advances. D.N. Saksena(ed.). Sci. Publ. Inc. Enfield, 1999. – T.9. – P.177–193.

7. Лебедева Н.Е., Томкевич М.С., Головина Н.А., Восилене М.З., Головкина Т.В., Шидловский К.М. Негативные эффекты антропогенных воздействий на рыб и коррекция их циприном // в сборнике «Биологические основы растительного мира, почвенного покрова Восточной Фенноскандии». – Петрозаводск, 1999. – С.138–138.

8. Молочкина Е.М., Озерова И.Б., Бурлакова Е.Б. Действие фенозана и экзогенного ацетилхолина на ацетилхолинэстеразу и систему липидной пероксидации в мембранах клеток головного мозга // Рос. хим. журн. – 1 999. – Т.43. №5. – С.63–71.

9. Томкевич М.С., Лебедева Н.Е. 2000 Препарат антистрессового действия на рыб и способ его изготовления. Патент 12156571, 27 сентября, 2000.

10. Бурлакова Е.Б. Антиоксиданты // Российский химический журнал. – 2007. – Т.11, №1. – С.3.

11. Тушмалова Н.А., Бурлакова Е.Б., Лебедева Н.Е., Томкевич М.С., Головкина Т.В. Поведение донервных организмов – индикатор эффекта сверхмалых доз // Вестник Московского университета. Серия 16: Биология (ранее Серия 6: Биология, почвоведение, с 1960 по 1976). – М.: МГУ, 1998. – №4. – С.24–26.

12. Бурлакова Е.Б., Голощанов А.Н., Зенин С.В., Злочевский М.Л., Лебедева Н.Е., Молочкина Е.М., Томкевич М.С., Тушмалова Н.А. О некоторых объективных показателях действия потенцированных растворов // Нерешенные проблемы гомеопатии и метода Фолля. Труды Московской Международной конференции. – М., 1997. – С.11.

13. Lebedeva N.E., Vosilene M.Z., Golovkina T.V. The effects of toxic and heliophysical factors on biochemical parameters of external mucus in carp // Arch. Pol. Fish. Archives of Pol. Fish. – 2002. – T.10, №1. – P.5–14.

14. Лебедева Н.Е., Головкина Т.В. Воздействие гелиофизических факторов на биохимические параметры наружной слизи рыб // Биофизика. – М.: Наука, 1998. – Т.43, вып.5. – С.803–806.

15. Тушмалова Н.А., Лебедева Н.Е., Головкина Т.В. Поведение как индикатор межвидового взаимодействия гидробионтов // ЖурналеДРАН. – 1994. – Т.337. –№1. – С.131–134.

16. Лебедева Н.Е., Тушмалова Н.А. Индикация уровня биогенных и химических примесей в природных водах, примыкающих к МКАД, с помощью количественной оценки функционального состояния гидробионтов // Сборнике «Экополис-2000»: Экология и устойчивое развитие города, место издания. – М., 2001. – С.99.

17. Malyukina G.A., Devitsina G.V., Kasumyan A.O., Marusov E.A., Lebedeva N.E., Chervova L.S., Golovkina T.V., Sidorov S.S., Golubev A.V. Chemosensory systems in fishes: morphology, physiology and role in behaviour // Ichthyology: recent research advances (ed. By D.N.Saksena), Chapter 9. – Science Publishers, Inc Enfield, 1999. – P.115–144.

18. Lebedeva N.E., Tomkevich M.S., Golovina N.A., Vosyliene M.Z., Golovkina T.V. On gormesis of alarm pheromone of cyprinids // J. Pheromones. – 1999. – T.6. – P.65–68.

19. Planel H. цит по [1].

20. Lebedeva N.E., Kiseleva Yu.V., Sergeeva S., Ryzhkin S.A., Ryzhkina I.S., Konovalov A.I. Effect of highly diluted aqueous solutions and weak physical fields on the behavior of aquatic organisms // «International Scientific Forum Butlerov Heritage – 2015». http://foundation.butlerov.com/bh-2015/ (English Preprint)

21. Коновалов А.И., Рыжкина И.С. Образование наноассоциатов-ключ к пониманию физико-химических и биологических свойств высокоразбавленных водных растворов // Известия Ан серия химическая. – 2014. – №1. – С.1–14.

22. Цетлин В.В., Зенин С.В., Лебедева Н.Е. Механизмы воздействия сверхслабых доз йонизирующей радиации на водную среду // Журнал «Биомедицинская радиоэлектроника». – 2005. – №6. – С.53–58.

23. Ковальский В.В. Геохимическая среда и жизнь. – М.: Наука, 1982. – 76 с.

Адрес автора

К.б.н. Лебедева Н.Е., биологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова.

lebedeva1502@yandex.ru