

15. Darin A.I. Vliianie ekhinatsei purpurnoi na produktivnost i morfologicheskie kachestva inkubatsionnykh iaits kur-nesushek roditelskogo stada broilerov / A.I. Darin, D.I. Karchev // Niva Povolzhia. – 2015. – No. 3 (36). – S. 53-58.

Статья подготовлена в рамках выполнения комплексного проекта по теме: «Разработка и

внедрение новой серии высокоэффективных фитобиотических кормовых добавок на основе экстрактов лекарственных растений для перехода к высокопродуктивному и экологически чистому агрохозяйству», соглашение о предоставлении субсидии от «03» октября 2017 г. № 4.610.21.0016, уникальный идентификатор проекта RFMEF161017X0016.



УДК 537.86:616.36:576.31

Ф.З. Баймухаметов, В.Р. Саитов, М.М. Сальникова, В.В. Иванов, К.В. Перфилова, А.И. Голубев
F.Z. Baymukhametov, V.R. Saitov, M.M. Salnikova, V.V. Ivanov, K.V. Perfilova, A.I. Golubev

DOI: 10.53083/1996-4277-2022-210-4-90-97

ВОЗДЕЙСТВИЕ ГАРМОНИЧЕСКИХ СИНУСОИДАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН НА ГЕПАТОЦИТЫ КРЫС: УЛЬТРАСТРУКТУРНЫЙ АСПЕКТ

EFFECT OF HARMONIC SINUSOIDAL ELECTROMAGNETIC WAVES ON RAT HEPATOCYTES: ULTRASTRUCTURAL ASPECT

Ключевые слова: крысы, электромагнитное излучение, печень, ядерные поры, митохондрии, гиперплазия, мультиламеллярные структуры, вакуоли.

В хронологическом аспекте с точки зрения существования эволюционирующей биоты, а это как минимум сотни миллионов лет, электромагнитное излучение не является чем-то новым для компонентов биосферы Земли. Но искусственные источники электромагнитного излучения (линии электропередач, радиолокационные станции, бытовые приборы, телефонные сети 5G, WiFi, и т.п.), в значительной мере усиливают естественный фон геомагнитного поля нашей планеты, и в настоящее время речь уже идет о своего рода новом виде загрязнения среды обитания биологических объектов. Причем наиболее опасным является то, что несмотря ни на какие прогнозы, расчеты и результаты исследований нам пока не известно, каким образом это повышенное влияние отразится на здоровье последующих поколений человечества. С целью изучения электромагнитного воздействия на организм крыс применяли сертифицированный излучатель синусоидальных волн –

ТГС-7А. Проводили исследования общего анализа крови и электронную микроскопию ультратонких срезов контрольных и опытных крыс. Анализ крови облученных особей выявил лейкоцитоз и тромбоцитоз, которые зачастую являются спутниками негативных состояний организма. В ядрах гепатоцитов крыс, подвергавшихся длительному воздействию электромагнитного поля, отмечается перераспределение хроматина, увеличение глобулярного компонента (интерхроматиновые гранулы), сохранность перинуклеарного пространства. Визуализируется цитоплазма с множеством рибосом и розеток гликогена, гиперплазия митохондрий с матриксом средней электронной плотности, и малым количеством крист. Цистерны гранулярного эндоплазматического ретикулума (грЭПР) насыщенные рибосомами, локализуются между митохондриями, образуя этажерки. Мультиламеллярные структуры, вакуоли с однородным веществом являются свидетельством деструктивных процессов в гепатоцитах. Вместе с тем общая ультраструктурная картина имеет компенсаторно-приспособительные признаки в ответ на электромагнитное излучение.

Keywords: rats, electromagnetic radiation, liver, nuclear pores, mitochondria, hyperplasia, multilamellar structures, vacuoles.

Chronologically, from the point of view of the existence of an evolving biota which is at least hundreds of millions of years, electromagnetic radiation is not something new for the components of the Earth's biosphere. But artificial sources of electromagnetic radiation (power lines, radar stations, household appliances, 5G telephone networks, WiFi, etc.) significantly enhance the natural background of the geomagnetic field of our planet and at present we are already talking about a new kind of pollution of the habitat of biological objects. Moreover, the most dangerous thing is that despite any forecasts, calculations and research results, we still do not know how this increased impact will affect the health of subsequent generations of mankind. In order to study the electromagnetic effect on rat body, TGS-7A, a certified emitter of sinusoidal waves was used.

Studies of general blood analysis and electron microscopy of ultrathin sections of control and experimental rats were carried out. Blood tests of irradiated rats have revealed a pronounced leukocytosis and thrombocytosis which often accompany negative conditions taking place in a body. In the hepatocytes nuclei of rat subjected to a prolonged exposure of an electromagnetic field, redistribution of chromatin, an increase of globular component (interchromatin granules), and preservation of perinuclear space was detected. The cytoplasm with many ribosomes and glycogen rosettes, mitochondrial hyperplasia with a matrix of medium electron density, and a small number of cristae are visualized. Cisterns with rough endoplasmic reticulum saturated with ribosomes are localized between mitochondria, forming whatnots. Multilamellar structures, vacuoles with a homogeneous substance are evidence of destructive processes in hepatocytes. At the same time, the general ultrastructural picture has compensatory and adaptive features in response to electromagnetic radiation.

Баймухаметов Фаниль Заудятович, к.х.н., научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности», г. Казань, Российская Федерация, e-mail: sun-terra@mail.ru.

Саитов Вадим Расимович, д.б.н., ст. научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности», г. Казань, Российская Федерация, e-mail: sinsavara@yandex.ru.

Сальникова Марина Михайловна, к.б.н., доцент, ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Российская Федерация, e-mail: m_salnikova@mail.ru.

Иванов Вадим Витальевич, д.в.н., зав. отделом ветеринарной эндоскопии, Научно-производственное предприятие ДиАлмед, г. Казань, Российская Федерация, e-mail: 902290@mail.ru.

Перфилова Ксения Витальевна, аспирант, ФГБНУ «Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности», г. Казань, Российская Федерация, e-mail: kse.perf@gmail.com.

Голубев Анатолий Иванович, д.б.н., профессор-консультант, ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Российская Федерация, e-mail: anatolii.golubev_1937@mail.ru.

Baymukhametov Fanil Zaudyatovich, Cand. Chem. Sci., Researcher, Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety, Kazan, Russian Federation, e-mail: sun-terra@mail.ru.

Saitov Vadim Rasimovich, Dr. Bio. Sci., Senior Researcher, Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety, Kazan, Russian Federation, e-mail: sinsavara@yandex.ru.

Salnikova Marina Mikhaylovna, Cand. Bio. Sci., Assoc. Prof, Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russian Federation, e-mail: m_salnikova@mail.ru.

Ivanov Vadim Vitalevich, Dr. Vet. Sci., Head, Veterinary Endoscopy Dept., Scientific and Production Enterprise DiAlmed, Kazan, Russian Federation, e-mail: 902290@mail.ru.

Perfilova Kseniya Vitalevna, post-graduate student, Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety, Kazan, Russian Federation, e-mail: kse.perf@gmail.com.

Golubev Anatoliy Ivanovich, Dr. Bio. Sci., Visiting Prof., Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russian Federation, e-mail: anatolii.golubev_1937@mail.ru.

Введение

По сведениям Г.М. Аманбаевой [1], В.С. Соловьева в соавторстве [2], К.К. Kesari et al. [3], Y.D. Ivanov et al. [4] и J.H. Kim et al. [5], диапазон ультракоротких волн (УКВ) и сверхвысокочастотные излучения (СВЧ) у животных и людей стимулируют развитие разного рода патологических процессов.

С.В. Москвин в соавторстве [6] в течение многих лет в ходе продолжительного влияния неионизирующего излучения наблюдали под-

твержденные статистикой нарушения физиологии внутренних органов. Экспериментальные данные на лабораторных крысах и мышах согласуются с клиническими проявлениями развития патологических процессов. К самым рискованным группам авторы исследования отнесли работников технического персонала – связистов, радиолокационщиков, телевизионщиков, электромонтажников. К данной категории риска можно отнести пациентов и медицинских работников, проводящих КВЧ-терапию, магнитотерапию,

и чрезмерно частых пользователей сотовых телефонов. Длительная экспозиция неионизирующих излучений чревата возникновением неблагоприятных процессов в таких системах организма, как пищеварительная, кровеносная, иммунная, центральная и вегетативная.

Учитывая сведения многих авторов, касающихся различных воздействий электромагнитных излучений в многочисленных экспериментах, на наш взгляд, для более доскональных исследований было бы интересным привлечь возможности электронной микроскопии.

На данном этапе исходя из вышесказанного **цель** пилотного эксперимента заключалась в исследовании воздействий электромагнитных волн на гепатоциты крыс. **Задачи** предполагаемого влияния электромагнитного излучения на крыс включали: 1) анализ гематологического статуса; 2) электронную микроскопию гепатоцитов крыс.

Материалы и методы исследования

Эксперимент проводили в КФУ, ИФМиБ (кафедра зоологии и общей биологии) и на базе сектора ультраструктурных исследований Федерального центра токсикологической, радиационной и биологической безопасности, Казань.

Электромагнитное излучение нами исследовалось в диапазоне от длинных волн, частота 30-300 кГц, до средних, частота 300 кГц – 3 МГц.

В эксперименте использовали 6 однополых, от одного помета, беспородных крыс, которых

разделили на две группы – биологического контроля и эксперимента. Контрольные животные располагались в отдельной комнате, расположенной на расстоянии свыше 10 м от источника облучения. Вторую группу (табл. 1) систематически, контролируемо (определенная экспозиция), подвергали дозированному, электромагнитному облучению средними волнами. Источником электромагнитных волн служил терапевтический ТГС-7А – генератор синусоидальных волн, имеющий мощность 12 ВА и частоту 200-400 КГц. Данный прибор размещался непосредственно под клеткой с опытными животными.

В конце первого и второго этапов эксперимента осуществляли взятие крови согласно методике G. Lee и K.A. Goosens [7]. Автоматический гематологический анализатор Mindray BC-2800 с ручным дополнительным контролем использовали для оценки общего анализа крови.

На 97-е сутки для ультраструктурных исследований крыс выводили из эксперимента посредством эвтаназийной декапитации согласно «Международным рекомендациям по проведению медико-биологических исследований с использованием лабораторных животных» Хельсинкская декларация 1975 г. и ее вариант 1986 г. (European Treaty Series..., 1986) [8]. Ультраструктурные исследования осуществляли согласно отработанным в течение многих лет поэтапным методикам (Иванов А.В. в соавторстве [9], Сальникова М.М. в соавторстве [10]).

Таблица 1

Экспериментальные данные проведенного опыта

Группа биологического контроля (3 самки)	Опытная группа (3 самки)
Нет воздействия (с 14-дневного возраста по 64-й день)	Ежедневное, двухчасовое облучение мощностью 12 ВА (с 14-дневного возраста по 64-й день)
Забор крови, гематологический статус (на 64-й день)	Забор крови, гематологический статус (на 64-й день)
Нет воздействия (с 64-дневного возраста по 97-й день)	Облучение через день, экспозиционно 7 часов, мощностью 12 ВА (с 64-дневного возраста по 97-й день)
Забор крови с оценкой гематологических показателей, взятие кусочков печени для электронно-микроскопических исследований (на 97-й день)	Забор крови с оценкой гематологических показателей, взятие кусочков печени для электронно-микроскопических исследований (на 97-й день)

Результаты исследования и их обсуждение

У опытных крыс, в сравнении с контрольными (табл. 2), после электромагнитного воздействия анализ крови в конце эксперимента демонстрирует повышение лейкоцитов в 2 раза (на 57%). Содержание тромбоцитов у опытных животных $6,03 \cdot 10^9/л$, в отличие с контрольных

$4,09 \cdot 10^9/л$ (увеличено на 47%), что весьма существенно. Отмечается и повышение числа эритроцитов на 21%. Отмечаемые у опытных особей тромбоцитоз и лейкоцитоз показательны в проявлении негативных процессов.

Наши экспериментальные показатели по гематологии крови в целом согласуются с резуль-

татами ряда авторов. В.С. Соловьева в соавторстве [2] приводят сведения по облучению беспородных белых мышей трансформатором «Вега-5М» (электромагнитное поле промышленной частоты – 50 Гц, экспозиция 8 ч, в течение 30 сут.). У животных отмечали лейкоцитоз с лейкопенией, а также чувствительность к излучаемому фактору, зависящую от половой принадлежности.

Г.М. Аманбаева в течение 30 сут. проводила общее каждодневное дистанционное одночасовое воздействие СВЧ-полей на организм 8 мышей альбиносов [1]. У опытных мышей общий гематологический анализ демонстрировал эритроцитоз, тромбоцитоз и повышенный гемоглобин.

Согласно нашим ультраструктурным исследованиям гепатоциты группы биологического

контроля с округлыми ядрами, располагающимися ближе к центру цитоплазмы (рис. 1). Имеются ядрышки, ядерные поры хорошо визуализируются, эухроматин равномерен, гетерохроматин глыбками хаотично разбросан по ядру. Развитая гладкая и шероховатая эндоплазматическая сеть хорошо видна в области ядер гепатоцитов. Имеется комплекс Гольджи, множество митохондрий и пероксисомы. Митохондрии овально-округлой, изредка вытянуто-изогнутой конфигурации. Матрикс средней плотности, с рибосомами. Пластинчатые кристы слабо выражены.

Цитоплазма гепатоцитов средней электронной плотности. Наличествуют и гепатоциты с двумя ядрами. В цитоплазме отмечаются и глыбки гликогена, который формирует розетки и рибосомы.

Таблица 2

Результаты общего анализа крови контрольных и опытных крыс

Показатель	K2-1	K2-2	K2-3	O-2	O2-2	O2-3	Разница (сред.), %	K7-1	K7-2	K7-3	O7-1	O7-2	O7-3	Разница (сред.), %
	64-е сутки							97-е сутки						
Эритроциты, $\times 10^{12}/л$	8,21	8,18	8,24	8,38	8,18	8,58	2	6,35	6,60	6,25	7,66	7,4	7,86	21
Гемоглобин, г/л	170	161	179	167	177	157	2	128	130	126	128	130	126	
Гематокрит, %	56,8	55	58,6	56,2	55,2	57,3	1	43,6	45,1	42,1	49,7	48	52	14
Об. объем эр., Фл	69,18	68,00	70,36	67,06	66,16	65,15	3	68,66	66,52	69,23	64,88	66,79	62,3	6
Ср. содержание гемоглобина в эритроцитах, пикограмм	21	19	22	20	21	19	5	20	17	22	17	19	15	15
Ср. концентрация гемоглобина в эритроцитах, г/л	299	280	310	297	280	302	1	294	280	303	258	240	277	12
Распределение эритроцитов в крови, %	14,6	14,0	15,2	14,8	13,0	15,7	1	14,1	14,33	13,8	14,7	16,6	12,8	4
Лейкоциты, $\times 10^9/л$	9,2	9,0	9,4	11,6	10,0	12,2	26	6,3	6,0	6,6	9,9	8,8	11,2	57
Сегментоядерные нейтрофилы, %	49	51	47	37	35	39	24	25	27	23	31	29	33	24
Сегментоядерные нейтрофилы, $\times 10^9/л$	4,51	4,21	4,81	4,29	4,01	4,44	5	1,57	1,36	1,73	3,07	3,16	2,97	96
Эозинофилы, %	2	2,1	1,9	3	3,2	2,9	50	1	1,3	0,7	1	1,5	0,9	0
Эозинофилы, $\times 10^9/л$	0,18	0,2	0,16	0,35	0,31	0,39	94	0,06	0,05	0,07	0,1	0,15	0,06	67
Моноциты, %	4	4,2	3,8	4	3,8	4,21	0	4	4,3	3,7	5	4	6	25
Моноциты, $\times 10^9/л$	0,37	0,35	0,39	0,46	0,43	0,49	24	0,25	0,27	0,23	0,49	0,52	0,47	96
Лимфоциты, %	45	46	44	56	55	54	24	70	72	68	63	65	61	10
Лимфоциты, $\times 10^9/л$	4,14	4,01	4,27	6,5	6,2	6,8	57	4,41	4,20	4,63	6,24	6,04	6,44	41
Тромбоциты, $\times 10^{11}/л$	6,52	6,32	6,72	7,38	7,36	7,4	13	4,09	4,29	3,87	6,03	6,23	5,89	47
Ср. объем тромб, Фл	5,9	6,0	5,8	5,5	5,7	5,3	7	6	5	4	5,4	5,3	5,6	10

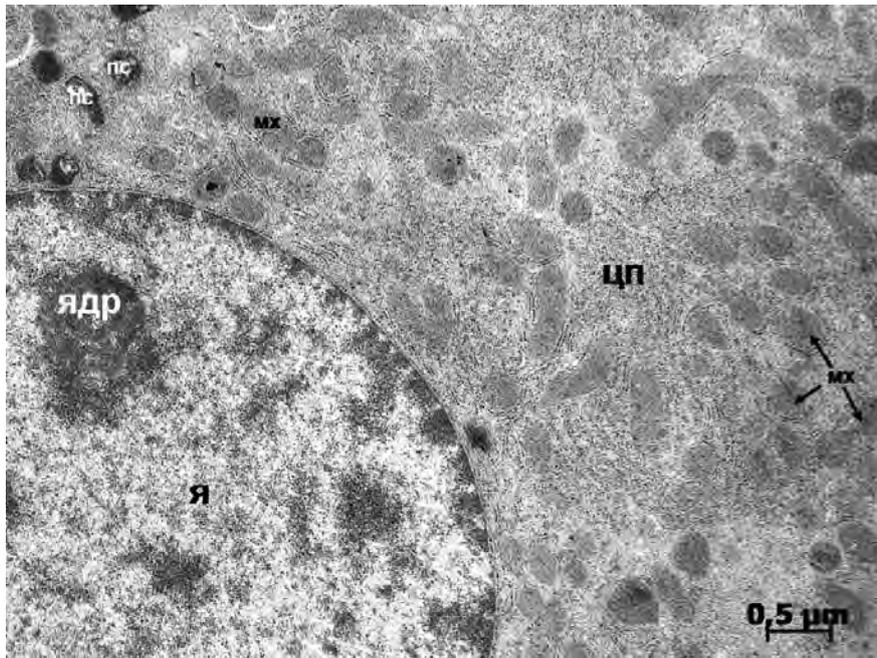


Рис. 1. Ультратонкий срез гепатоцита крысы группы биологического контроля: Я – ядро, Яд – ядрышко, МХ – митохондрии, ПС – пероксисомы, ЦП – цитоплазма

В ядерном аппарате гепатоцитов особей, на которых длительно воздействовали электромагнитным полем, перераспределяется хроматин, увеличивается глобулярный компонент (интерхроматиновые гранулы), размеры ядерных пор и их количество, перинуклеарное пространство не изменяется (рис. 2). Цитоплазма имеет среднюю

электронную плотность, множество рибосом и розеток гликогена. Митохондрии с признаками гиперплазии, средней электронной плотности и малым количеством крист. Между митохондриями в виде этажерек с цистернами, насыщенными рибосомами, локализуется гранулярный эндоплазматический ретикулум.

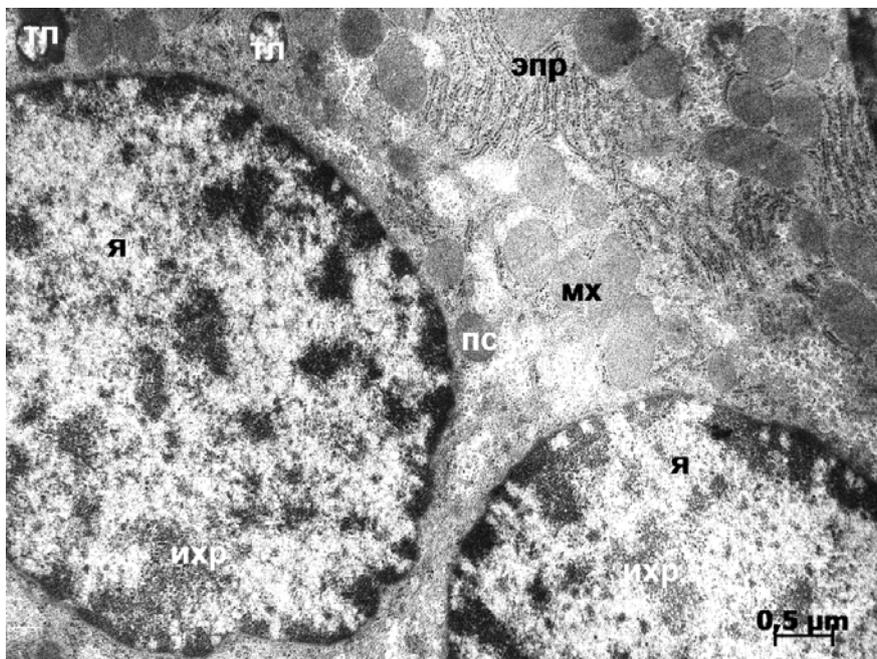


Рис. 2. Ультратонкий срез гепатоцита экспериментальной крысы, подвергавшейся длительно воздействию электромагнитных волн: Я – ядро, ИХР – интерхроматиновые гранулы, МХ – митохондрии, ПС – пероксисомы, ТЛ – телолизосомы, ЦП – цитоплазма

Электронно-микроскопические исследования гепатоцитов экспериментальных крыс выявляют компенсаторно-приспособительные процессы, происходящие на ультраструктурном уровне. Вместе с тем нами отмечаются признаки деструкции – телолизосомы (остаточные тела), которые видны либо в виде мультивезикулярных и мультиламеллярных структур, либо в виде крупных вакуолей с гомогенным веществом средней электронной плотности.

Результаты наших исследований согласуются с рядом экспериментальных данных. K. Holovska et al. в течение 3 ч в сутки на протяжении 3 недель воздействовали электромагнитным полем частотой 2,45 ГГц и средней плотностью мощности 2,8 мВт/см² на половозрелых крыс [11].

На ультраструктурном уровне в гепатоцитах выявлены различных форм и размеров везикулы, пролиферативные процессы гладкого эндоплазматического ретикулума и липидные капли. В редких случаях были обнаружены гепатоциты с признаками некроза. Результаты опыта подтверждают негативное влияние электромагнитного излучения на печень крыс.

Ю.Н. Королев в соавторстве для облучения крыс мужского пола применяли прибор «Аква-тон-02» с плотностью потока мощности меньше 1 мкВт/см² и частотой примерно 1000 МГц с экспозицией в 2 мин. [12]. Авторы описывают, что ультраструктурные проявления характеризуются адаптационными процессами, демонстрируя как стабильность (безопасность), так и определенную вариабельность (пластичность) их реакций. На этом фоне отмечается структурная стабильность митохондрий, что в большей степени проявляется в адренкортикоцитах зоны пучков надпочечников. В то же время выявляется снижение интенсивности ряда адаптивных показателей, хотя по большому счету они были значительно выше контрольного уровня.

Иранские ученые А.А. Khaki et al. [13] воздействовали электромагнитными полями на репродуктивную систему самцов крыс (30 крысят – 50 Гц) во время внутриутробного развития (3 недели) и постнатальной жизни (5 недель). Авторы доказали, что данное облучение стимулирует глубокие изменения в пограничной ткани семенных канальцев: мало полирибосом, пиноцитотических везикул и гранул гликогена, в большинстве митохондрий нет крист.

На основании наших результатов и сведений других ученых можно свидетельствовать о многообразии морфофункциональных проявлений, выявляемых при воздействии электромагнитного излучения.

Заключение

Анализ полученных результатов свидетельствует о наличии в гепатоцитах экспериментальных крыс признаков обратимых деструктивных процессов – телолизосомы в виде мультивезикулярных или мультиламеллярных структур и крупные вакуоли с гомогенным веществом. Вместе с тем общая картина, а также ряд ультраструктурных подвижек (гиперплазия митохондрий, повышенное количество рибосом) характеризует наличие компенсаторно-приспособительных процессов, протекающих в печени подопытных крыс.

На наш взгляд, результаты, касающиеся изучения влияния электромагнитных волн на ультраструктуру клеток подопытных биологических объектов, перспективны в разноплановости экспериментального продолжения на других видах животных, органах, в том числе вариациях параметров экспозиции и дозы излучения.

Библиографический список

1. Аманбаева, Г. М. Исследование влияния электромагнитного излучения на живой организм / Г. М. Аманбаева. – Текст: непосредственный // Проблемы современной науки и образования – 2018. – № 13. – С. 19-22.
2. Влияние электромагнитного излучения промышленной частоты на гематологические показатели периферической крови грызунов / В. С. Соловьёв, А. Н. Жевновская, С. Н. Гашев, С. В. Соловьёва. – Текст: непосредственный // Принципы экологии – 2016. – № 2. – С. 84-90.
3. Kesari K.K., Siddiqui M.H., Meena R., et al. (2013). Cell phone radiation exposure on brain and associated biological systems. *Indian J. Exp. Biol.* 51 (3): 187-200. PMID: 23678539.
4. Ivanov, Y., Pleshakova, T.O., Shumov, I., et al. (2020). AFM Imaging of Protein Aggregation in Studying the Impact of Knotted Electromagnetic Field on A Peroxidase. *Scientific Reports*. 10. DOI: 10.1038/s41598-020-65888-z.
5. Kim, J., Lee, J.K., Kim, H.G., et al. (2018). Possible Effects of Radiofrequency Electromagnetic Field Exposure on Central Nerve System. *Biomolecules & Therapeutics*. 27. DOI: 10.4062/biomolther.2018.152.

6. Патогенные воздействия неионизирующих излучений на организм человека. Серия монографий: Экспериментальная электромагнитобиология / С. В. Москвин, Л. В. Соколовская, Т. И. Субботина [и др.]. – Москва; Тверь; Тула: ООО «Триада» – 2007. – 157 с. – Текст: непосредственный.

7. Lee, G., Goosens, K. (2015). Sampling Blood from the Lateral Tail Vein of the Rat. *Journal of Visualized Experiments*. DOI: 10.3791/52766.

8. (European Convention for the Protection of Vertebrate Animals used for Experimental and Other Scientific Purposes. – Strasbourg, 18.III.1986. [Электронный ресурс] URL: <https://rm.coe.int/168007a67b> (дата обращения: 21.01.2021)).

9. Методические рекомендации по электронно-микроскопическим исследованиям биологических объектов / А. В. Иванов, А. А. Иванов, А. Н. Чернов [и др.]. – Москва: Росинформгротех, 2011. – 67 с. – Текст: непосредственный.

10. Трансмиссионная электронная микроскопия в биологии и медицине: монография / М. М. Сальникова, Л. В. Малютина, В. Р. Саитов, А. И. Голубев. – Казань: КФУ (Казанский (Приволжский) федеральный университет), 2016. – 125 с. – URL: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=77306 – Загл. с экрана. – Текст: электронный.

11. Holovska, K., Almasiova, V., Cigankova, et al. (2015). Structural and Ultrastructural Study of Rat Liver Influenced by Electromagnetic Radiation. *Journal of Toxicology and Environmental Health*. Part A. 78. 353-356. DOI: 10.1080/15287394.2014.979272.

12. Королев, Ю. Н. Метаболические и ультраструктурные механизмы адаптации при первично-профилактическом действии низкоинтенсивного электромагнитного излучения в условиях нормы и радиации / Ю. Н. Королев, Л. А. Никулина, Л. В. Михайлик. – Текст: непосредственный // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. – 2019. – Т. 96, № 5. – С. 44-50.

13. Khaki, A., Tubbs, R.S., Shoja, M., et al. (2006). The effects of an electromagnetic field on the boundary tissue of the seminiferous tubules of the rat: A light and transmission electron microscope study. *Folia morphologica*. 65. 188-94.

References

1. Amanbaeva, G.M. Issledovanie vliianiia elektromagnitnogo izlucheniia na zhivoi organizm / G.M. Amanbaeva // Problemy sovremennoi nauki i obrazovaniia – 2018. – No. 13. – S. 19-22.

2. Solovev, V.S. Vlianie elektromagnitnogo izlucheniia promyshlennoi chastoty na gematologicheskie pokazateli perifericheskoi krovi gryzunov / V.S. Solovev, A.N. Zhevnovskaia, S.N. Gashev, S.V. Soloveva // Printsipy ekologii – 2016. – No. 2. – S. 84-90.

3. Kesari K.K., Siddiqui M.H., Meena R., et al. (2013). Cell phone radiation exposure on brain and associated biological systems. *Indian J. Exp. Biol.* 51 (3): 187-200. PMID: 23678539.

4. Ivanov, Y., Pleshakova, T.O., Shumov, I., et al. (2020). AFM Imaging of Protein Aggregation in Studying the Impact of Knotted Electromagnetic Field on A Peroxidase. *Scientific Reports*. 10. DOI: 10.1038/s41598-020-65888-z.

5. Kim, J., Lee, J.K., Kim, H.G., et al. (2018). Possible Effects of Radiofrequency Electromagnetic Field Exposure on Central Nerve System. *Biomolecules & Therapeutics*. 27. DOI: 10.4062/biomolther.2018.152.

6. Patogennye vozdeistviia neioniziruiushchikh izlucheniia na organizm cheloveka: Serii monografii «Eksperimentalnaia elektromagnitobiologiya» / S.V. Moskvin, L.V. Sokolovskaia, T.I. Subbotina, A.A. Khadartsev, A.A. Iashin, M.A. Iashin. – Moskva-Tver-Tula: ООО «Триада», 2007. – 157 с.

7. Lee, G., Goosens, K. (2015). Sampling Blood from the Lateral Tail Vein of the Rat. *Journal of Visualized Experiments*. DOI: 10.3791/52766.

8. European Convention for the Protection of Vertebrate Animals used for Experimental and Other Scientific Purposes. – Strasbourg, 18.III.1986. [Elektronnyi resurs] URL: <https://rm.coe.int/168007a67b> (data obrashcheniia: 21.01.2021).

9. Ivanov, A.V. Metodicheskie rekomendatsii po elektronno-mikroskopicheskim issledovaniyam biologicheskikh obiektov / A.V. Ivanov, A.A. Ivanov, A.N. Chernov, M.M. Salnikova, V.R. Saitov, I.F. Rakhmatullin, E.L. Matveeva. – Moskva: «Rosinformagrotekh», 2011. – 67 s.

10. Salnikova, M.M. Transmissionnaia elektronnaia mikroskopiia v biologii i meditsine / M.M. Salnikova, L.V. Maliutina, V.R. Saitov, A.I. Golubev // monografiia – Elektron. dan. – Kazan: KFU (Kazanskii (Privolzhskii) federalnyi universitet), 2016. – 125 s. – Rezhim dostupa: http://e.lanbook.com/books/element.php?p11_id=77306 – Zagl. s ekrana.

11. Holovska, K., Almasiova, V., Cigankova, et al. (2015). Structural and Ultrastructural Study of Rat Liver Influenced by Electromagnetic Radiation.

Journal of Toxicology and Environmental Health. Part A. 78. 353-356. DOI: 10.1080/15287394.2014.979272.

12. Korolev, Iu.N. Metabolicheskie i ultrastrukturnye mekhanizmy adaptatsii pri pervichno-profilakticheskom deistvii nizkointensivnogo elektromagnitnogo izlucheniia v usloviakh normy i radiatsii / Iu.N. Korolev, L.A. Nikulina, L.V. Mikhailik // *Voprosy kurortologii, fizioterapii i lechebnoi fizicheskoi kultury*. – 2019. – T. 96. – No. 5. – S. 44-50.

13. Khaki, A., Tubbs, R.S., Shoja, M., et al. (2006). The effects of an electromagnetic field on the boundary tissue of the seminiferous tubules of the rat: A light and transmission electron microscope study. *Folia morphologica*. 65. 188-94.

