

11 - Биофизика, медицинская физика

- Акинина Мария Дмитриевна, аспирант 3 года обучения
Томск, Национальный исследовательский Томский государственный университет, физический факультет
Проведение численных экспериментов по прохождению стимулирующих электрических импульсов через ткани отолитовой мембраны на высоких и низких
Владимир Петрович Демкин, д.ф.-м.н.
e-mail: maakin1993@yandex.ru стр. 201
- Грабовой Алексей Сергеевич, 4 курс
Красноярск, Сибирский федеральный университет, Институт фундаментальной биологии и биотехнологий
Использование бактериального и ферментативного люминесцентных биотестов для характеристики радиопротекторных свойств фуллеренола C₆₀,70
Кудряшева Надежда Степановна, д.ф.-м.н.
e-mail: lexxx1595@gmail.com стр. 202
- Демкин Олег Владимирович, аспирант 1 года обучения
Томск, Национальный исследовательский Томский государственный университет, физический факультет
Реологические характеристики крови в нарушении вестибулярной функции
Удуг Владимир Васильевич, д.м.н., член-корреспондент РАН
e-mail: demkinoleg81@gmail.com стр. 203
- Жуйков Данил Андреевич, 4 курс
Красноярск, Сибирский федеральный университет, институт фундаментальной биологии и биотехнологий
Изучение состава газа, выделяющегося в процессе «мокрого» сжигания органических отходов в перексиде водорода с использованием электрического тока
Трифонов Сергей Викторович, к.б.н.
e-mail: zdaniel748@gmail.com стр. 205
- Кунина Елизавета Игоревна, 4 курс
Новосибирск, Новосибирский государственный университет, естественных наук
Структура ДНК-дуплекса с неправильной СУ-парой оснований
Шернюков Андрей Владимирович, к.х.н.
e-mail: liza.kunina.00@gmail.com стр. 206
- Мещерякова Валерия Анатольевна, 4 курс
Новосибирск, Новосибирский государственный университет, физический факультет
Диродиевый комплекс как перспективное лекарство в фотохимиотерапии
Глебов Евгений Михайлович, д.ф.-м.н.
e-mail: v.meshcheryakova@g.nsu.ru стр. 207
- Мирошниченко Сергей Александрович, магистрант 1 года обучения
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический факультет
Разработка модели обонятельной луковицы крысы с использованием методов биологоподобного моделирования для исследования биоэлектрической активности, вызванной предъявлением одорантов
Шапошников Дмитрий Григорьевич, к.т.н.
e-mail: sermir@sfedu.ru стр. 208
- Назаров Алексей Дмитриевич, магистрант 1 года обучения
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический факультет
Применение композита ПДМС/УНТ в качестве сухого электрода регистрации биоэлектрической активности
Шапошников Дмитрий Григорьевич, к.т.н.
e-mail: anazar@sfedu.ru стр. 209
- Орехова Светлана Михайловна, 4 курс
Ставрополь, Северо-Кавказский федеральный университет, физико-технический факультет
Изучение влияния магнитного поля на структурообразование в биологически совместимой эмульсии
Закиян Артур Робертович, д.ф.-м.н.
e-mail: smorekhova@mail.ru стр. 210

Орехова Светлана Михайловна, 4 курс
Ставрополь, Северо-Кавказский федеральный университет, физико-технический факультет
Исследование влияния магнитного поля различных конфигураций на всхожесть семян
Закирян Артур Робертович, д.ф.-м.н.
e-mail: smorekhova@mail.ru стр. 211

Савинов Данил Сергеевич, магистрант 2 года обучения
Иркутск, Иркутский государственный университет, физический факультет
Электретные свойства и биоэнергетика структур органического происхождения
Максимова Наталья Тимофеевна, к.ф.-м.н.
e-mail: dankatawer@gmail.com стр. 212

Семенова Александра Алексеевна, 5 курс
Томск, Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Инженерная школа ядерных технологий
Воздействие нитрата тория на интенсивность биолюминесценции двух сопряженных реакций, катализируемых бактериальными ферментами
Сачкова Анна Сергеевна, к.б.н.
e-mail: a.smnv296@gmail.com стр. 213

Проведение численных экспериментов по прохождению стимулирующих электрических импульсов через ткани отолитовой мембраны на высоких и низких частотах

Акинина Мария Дмитриевна¹

Мельничук Сергей Васильевич¹, Смаглий Людмила Вячеславовна^{1,2,3}, Светлик Михаил Васильевич¹

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет

²Сибирский государственный медицинский университет,

³Северский биофизический научный центр

Демкин Владимир Петрович, д.ф.-м.н.

maakin1993@yandex.ru

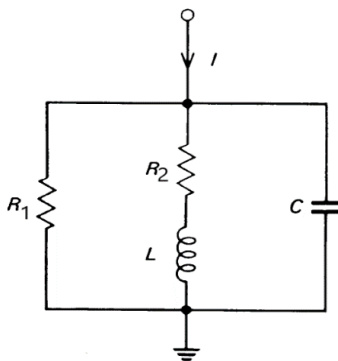
Ключевую роль в механизме механоэлектрической трансдукции у позвоночных играют волосковые клетки, которые находятся во всех периферических структурах, отвечающих за слух и равновесие. Сенсорные сигналы вестибулярных рецепторов являются механическими по своей природе. Пучок стереоцилий отвечает за преобразование механических входных сигналов в электрический сигнал посредством процесса, называемого механотрансдукцией [1]. Когда стереоцилии отклоняются в сторону самых высоких стереоцилий, напряжение в концевых соединениях увеличивается и передается на комплекс механотрансдукционных каналов для закрытия канала.

Для исследования спектральной чувствительности волосковых клеток разработана физико-математическая модель распространения электрического гармонического сигнала через ткани отолитовой системы. Электрофизическая модель замещения отолитовых органов вестибулярного аппарата лабораторного животного (крысы), представлялась в виде совокупности проводящих и диэлектрических областей на основе анатомической структуры, определенной из МРТ/КТ-снимков. Эквивалентная электрическая схема замещения отолитовых органов вестибулярного аппарата лабораторного животного (крысы), представлялась аналогично работе [2] на основе измеренных удельных электрофизических характеристик тканей отолитовых структур, с учетом изменяющейся ионной проводимости и колебательного характера рецепторного потенциала волосковых клеток. Актуальность частотного анализа реакции отолитовых структур на внешний электрический стимул обусловлена наличием в их функционировании двух главных физиологических механизмов: внешнего механизма, в котором внешний стимул фильтруется до трансдукции волосковой клетки, внутренний, в котором фильтрация присуща самой волосковой клетке.

Многочисленные исследования слуховых и вестибулярных сенсорных рецепторов, волосковых клеток, показали, что в дополнение к тому, что они отвечают за механоэлектрическую трансдукцию, они также могут играть решающую роль в частотной избирательности слухового органа.

Ключом к пониманию источника частотной избирательности у низших позвоночных стало наблюдение, что при подаче прямоугольного импульса тока потенциал мембраны волосковых клеток на фронтах импульса не ослабевал экспоненциально, а совершал серию затухающих синусоидальных колебаний, причем, частота колебаний в данной клетке совпадала с частотой, к которой клетка была наиболее чувствительна к акустическим стимулам [3].

Исходя из концепции резонансного отклика волосковой клетки на электрический импульс, электрическую схему замещения волосковой клетки можно представить в следующем виде [4]:



R_2 – сопротивление цитоплазмы; L – феноменологическая индуктивность клетки; C – емкость мембраны клетки; R_1 – сопротивление межклеточной ткани.

рис. 1. Электрическая модель волосковой клетки

Нами разработана физико-математическая модель распространения электрического гармонического сигнала через ткани отолитовой системы. Электрофизическая модель замещения отолитовых органов вестибулярного аппарата лабораторного животного (крысы), представлена в виде совокупности проводящих и диэлектрических областей на основе анатомической структуры, определенной из МРТ/КТ-снимков.

Проведен расчет электрического импеданса клеточных элементов утрикулы и саккулы и сдвига фаз протекающего тока по отношению к внешнему электрическому стимулу на основании геометрических данных и электрофизических параметров отолитовых органов лабораторного животного (крысы) в интервале частот 0–5000 Гц.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-25-00259, <https://rscf.ru/project/23-25-00259>.

Список публикаций:

[1] Straka H., Zwergal A., Cullen K.E. Vestibular animal models: contributions to understanding physiology and disease // *J Neurol*, 2016. – Vol. 263. – Suppl 1. – pp. 10–23. Doi: 10.1007/s00415-015-7909-y.

[2] Demkin V.P., Melnichuk S.V., Svetlik M.V., Shchetinin P.P., Kingma H., Van de Berg R., Demkin O.V., Udut E.V. Experimental Investigation of Electric Signal Transmission Through Vestibular Organ Tissues // *Russian Physics Journal*, 2019. – Vol. 61. – Issue 12. – pp. 2264–2267. Doi: 10.1007/s11182-019-01665-4.

[3] Fettiplace R., Fuchs P.A. Mechanisms of hair cell tuning // *Annu. Rev. Physiol*, 1999. – Vol. 61. – pp.809–34.

[4] Edwin R. Lewis Tuning in The Bullfrog Ear // *Biophys. J*, 1988. – Vol. 53. – 441–447.

Использование бактериального и ферментативного люминесцентных биотестов для характеристики радиопротекторных свойств фуллеренола C_{60,70}

Грабовой Алексей Сергеевич

Колесник Ольга Владиславовна

Сибирский федеральный университет

Кудряшева Надежда Степановна

lexxx1595@gmail.com

Радиопротекторы - это вещества, которые смягчают воздействие радионуклидов на биологические системы. В данной работе рассматривается фуллеренол C_{60,70}O_y(OH)_x, (где x=22-24, y=2-4) в качестве потенциального радиопротекторного агента. Фуллеренолы представляют собой наноразмерные полигидроксилорированные водорастворимые производные фуллеренов, которые показали свою радиопротекторную эффективность в других исследованиях [1-3].

Биолюминесцентный биотест, основанный на морских люминесцентных бактериях, является удобной системой для скрининга радиопротекторной активности различных веществ. В последние десятилетия активно используется люминесцентный ферментативный биотест на основе бактериальных ферментов. Биолюминесцентные методы обеспечивают высокую достоверность статистической обработки результатов благодаря относительной дешевизне и высокой скорости проведения анализа с использованием современных люминометров [4].

Целью данной работы было выявление радиопротекторной активности фуллеренола в растворах модельного радионуклида трития с использованием биолюминесцентного бактериального биотеста.

Для мониторинга интенсивности биолюминесценции бактерий в присутствии трития и фуллеренола применяли люминесцентные морские бактерии *Photobacterium Phoshoreum*. Для выявления роли ферментативных процессов использовали биолюминесцентную биферментную систему NADPH+FMN-оксидоредуктаза — люцифераза. Для мониторинга содержания активных форм кислорода (АФК) в биолюминесцентных системах использовали хемолюминесцентный люминольный метод.

В результате проведения экспериментов была выявлена активация биолюминесценции тритием (см. рис.1, кривая 1), что подтверждает результаты, полученные в предыдущих исследованиях [5]. Показано, что в присутствии фуллеренола (см. рис. 1, кривая 2) наблюдалось смещение кинетической кривой ближе к контролю, что показывает снижение эффектов трития, то есть радиопротекторную активность фуллеренола.

Наблюдали умеренное снижение АФК (20%-30%) в бактериальной среде в присутствии трития. Добавление фуллеренола не изменяло достоверно содержание АФК. Вероятно данный эффект объясняется способностью бактерий балансировать содержание АФК в окружающей среде. Не обнаружено изменение интенсивности биолюминесценции и содержания АФК в ферментативной системе в присутствии фуллеренола.

Выявление роли ферментативных процессов в радиопротекторных свойствах фуллеренола требует дальнейшего изучения.

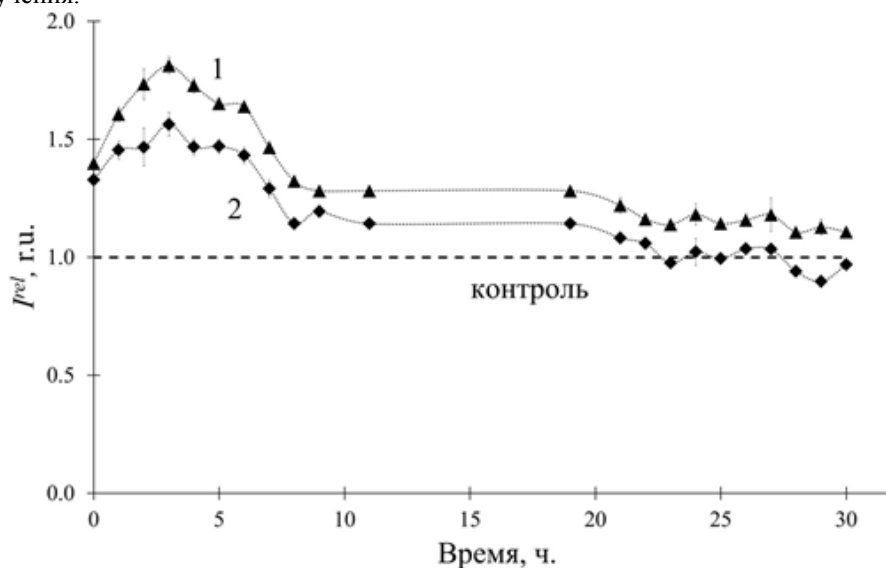


рис. 1. Кинетика бактериальной биолюминесценции в отсутствие (1) и присутствии (2) фуллеренола. Удельная радиоактивность НТО – 500 МБк/л. Концентрация фуллеренола – 10-11 г/л

Таким образом, проведенные исследования показали, что фуллеренол $C_{60},70O_y(OH)_x$, (где $x=22-24$, $y=2-4$) имеет радиопротекторные свойства: смягчение эффекта трития достигало 30-40%. Данный эффект мы связываем с интенсификацией физиологических функций бактерий, включая биолюминесценцию и производство АФК бактериями.

Список публикаций:

- [1] Kudryasheva N. S., Tarasova A. S. Pollutant toxicity and detoxification by humic substances: mechanisms and quantitative assessment via luminescent biomonitoring // *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2015. Т. 22. № 1. С. 155–167.
- [2] Zeman E. M. *The Biological Basis of Radiation Oncology* // *Clinical Radiation Oncology*. : Elsevier, 2016. Т. 4. С. 2–40.
- [3] On mechanism of antioxidant effect of fullereneols / A. S. Sachkova, E. S. Kovel, G. N. Churilov [u др.] // *Biochem. Biophys. Reports*. 2017. Т. 9. № August 2016. С. 1–8.
- [4] Nemtseva E. V, Kudryasheva N. S. The mechanism of electronic excitation in the bacterial bioluminescent reaction // *Russ. Chem. Rev.* 2007. Т. 76. № 1. С. 91–100.
- [5] Reactive Oxygen Species and low-dose effects of tritium on bacterial cells / T. V. Rozhko, E. I. Nogovitsyna, G. A. Badun [u др.] // *J. Environ. Radioact.* 2019. Т. 208–209. № March. С. 106035.

Реологические характеристики крови в нарушении вестибулярной функции

Демкин Олег Владимирович¹

Смаглий Людмила Вячеславовна^{1,2}, Руденко Татьяна Владимировна^{1,2}

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет

²Сибирский государственный медицинский университет

Удуг Владимир Васильевич, д.м.н.

demkinoleg81@gmail.com

Причиной наиболее частых форм головокружения выступают ишемические повреждения ткани внутреннего уха, вестибулярных ядер и их проводящих путей [1,2]. К основным механизмам формирования недостаточности кровообращения в регионе вестибулярной системы относят артериальную гипертензию, нарушения системы гемостаза и атеросклеротические повреждения сосудов лабиринта, где атеросклерозу отводится ведущая роль в гипоксии рецепторов лабиринта [3]. Провоцирующей составляющей патогенеза ишемических повреждений вестибулярного аппарата является архитектура регионарного сосудистого русла и костные ограничения его дилатационных реакций, что определяет высокую вероятность патогенности сдвиговых напряжений при подъемах артериального давления в отношении эндотелиальной выстилки вплоть до снижения противосвертывающего потенциала крови. И в этой ситуации, задолго до атеросклеротических повреждений сосудов лабиринта, нарушения гемодинамики происходят последовательно за счёт повышения адгезивной и агрегационной активности тромбоцитов и эритроцитов, снижения скорости кровотока, увеличения гематокрита и концентрации фибриногена, повышения вязкости крови и плазмы [4].

В этой связи, для прогноза формирования ишемических вестибулопатий, особую значимость приобретает совокупная оценка состояния системы гемостаза и реологических характеристик крови, инструментом которой может явиться резонансно-акустический метод технологии низкочастотной пьезотромбоэластографии (НПТЭГ) [5]. Действительно, для цельной крови, динамическая вязкость $\eta(\dot{\gamma})$ является нелинейной функцией скорости сдвига $\dot{\gamma}$ и зависит от: - концентрации и пространственного распределения форменных элементов крови и их агрегационной активности; - состава плазмы; - кинетических характеристик кровотока; - скорости упругих деформаций сдвига и др. Таким образом, вязкость цельной крови — это интегральный показатель, зависящий от множества параметров, определяющих ее макро- и микрореологические свойства, среди которых наибольшее значение имеют четыре фактора: - гематокрит, - вязкость плазмы, - агрегация и деформируемость эритроцитов, вклад которых в вязкость крови зависит от $\dot{\gamma}$. Известно, что вязкость крови повышается при низких скоростях сдвига благодаря повышению агрегационной способности форменных элементов крови, обусловленной высоким уровнем плазменных белков [6]. Следовательно, отношение коэффициентов вязкости при низких и высоких скоростях сдвига $\varepsilon = \frac{\eta(\dot{\gamma} < 100 \text{ c}^{-1})}{\eta(\dot{\gamma} > 100 \text{ c}^{-1})}$ может служить индикатором вклада агрегационных свойств элементов крови в ее вязкость.

В работе на основе резонансно-акустического метода с применением технологии (НПТЭГ) проведено исследование процесса свертывания цельной крови при высоких и низких скоростях сдвиговых деформаций. Процесс свертывания крови сопровождается каскадом биохимических реакций: от наработки тромбина до образования фибринового сгустка. На *рис. 1* приведена зависимость от времени коэффициента вязкости крови, определяющего концентрацию фибрина, и его первой производной ($\dot{\eta}$), определяющей наработку тромбина [7], в условиях периодических сдвиговых напряжений на резонансных частотах 362 Гц и 3015 Гц, соответствующих скоростям сдвиговых деформаций 70 c^{-1} и 250 c^{-1} .

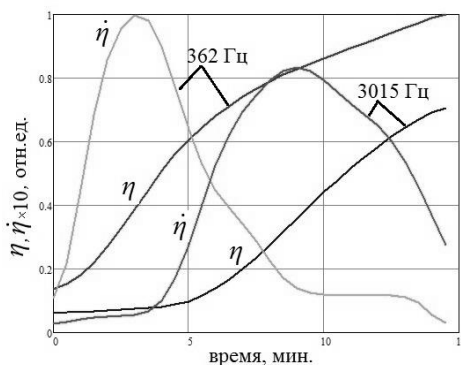


рис. 1. Динамика коэффициента вязкости крови и ее первой производной для частот сдвиговых напряжений 362 и 3015 Гц

Сравнительный анализ зависимостей коэффициентов $\eta(t)$ и $\dot{\eta}(t)$ подтверждает, что форменные и плазменные компоненты крови вносят различный вклад в формирование ее вязкоупругих свойств на разных этапах фибриногенеза. Отношение коэффициентов вязкости ε показывает, что на начальных фазах свертывания крови преобладает вклад ее плазменных компонент. В областях кровообращения с высокой скоростью сдвига вязкость крови в основном определяется гематокритом и деформируемостью эритроцитов.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-25-00259, <https://rscf.ru/project/23-25-00259/>

Список публикаций:

- [1] Путилина М.В. // Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. 2012. Т. 112(6):35-39.
- [2] Шеремет А.С. // Consilium Medicum. Отоларингология. 2001. Т. 4: 15—19.
- [3] Н.Л. Кунельская, Е.В. Байбакова, А.Л. Гусева и др. // Вестник оториноларингологии. 2020, — Т. 85, — №3, — С. 32-35. doi.org/10.17116/otorino20208503132.
- [4] Kowal P., Marcinkowska-Gapińska A. // J. Neurol. Sci. 2007. —V. 258, —№ 1–2. —P. 132–136.
- [6] Демкин В.П., Мельничук С.В., Гавар А.В., Демкин О.В. и др. // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. — 2020. — Т. 169, — № 2. — С. 260–264.
- [5] Шаманаев А. Ю., Алиев О. И., Анищенко А. М. и др. Российский кардиологический журнал 2016, 4 (132): 97–102
- [7] Демкин О.В. // Материалы 60-й Международной научной студенческой конференции 10–20 апреля 2022 г. МНСК-2022. Физика. Новосибирск, 2022. —С.148-149.

Изучение состава газа, выделяющегося в процессе «мокрого» сжигания органических отходов в перексиде водорода с использованием электрического тока

Жуйков Данил Андреевич¹

¹Сибирский федеральный университет

²Институт биофизики СО РАН

Трифонов Сергей Викторович^{1,2}, к.б.н.

zdani1748@gmail.com

Физико-химические методы утилизации отходов органической природы имеют целый ряд преимуществ перед биологическими методами, одни из которых, это малое время переработки продуктов обмена, а также простота регулирования процесса. Метод Куденко – «мокрое» сжигание в перекиси водорода под действием переменного электрического тока – позволяет избавиться от необходимости использования повышенной температуры и давления [1]. Эти факты обуславливают преимущество данного способа перед такими физико-химическими методами как суперкритическое водное окисление и процесс Зимпро [2,3]. Возможность эффективного использования продуктов минерализации метаболитов человека методом Куденко представлены в многолетних исследованиях [4]. Получаемый в итоге газ и минерализованный раствор не оказывают токсического действия на растения и могут быть вовлечены в круговоротные массообменные процессы [5].

Процесс минерализации экзометаболитов методом «мокрого» сжигания протекает до полного распада молекул пероксида водорода. Окисление экзометаболитов человека длится около 3 ч. Длительность данного процесса можно обусловить тем, что в растворе находятся, или могут образовываться при минерализации соединения, которые оказывают стабилизирующее действие на молекулы пероксида водорода, или могут ингибировать активные формы кислорода, образующиеся при распаде перекиси под действием переменного электрического тока. Определение состава газа поможет в изучении разветвления цепей реакций окисления и в поиске способа сокращения времени процесса, что необходимо для его управления с целью получения определенных продуктов.

Понимание научных основ такого управления необходимо для повышения экологичности ряда производств, установления массообменных процессов в искусственных замкнутых экосистемах и для понимания механизмов работы окислительных и антиоксидантных систем живых организмов, которые могут оказывать существенное влияние на степень замкнутости такой системы.

Целью работы было определение состава газа, выделяющегося в ходе химической реакции взаимодействия перекиси водорода и метаболитов человека при различных параметрах активирующего переменного электрического тока.

Объектом исследования служил раствор экзометаболитов человека и пероксида водорода. Были проведены сжигания данных растворов с различными параметрами частоты и формы электрического тока, а именно: а) 50 Гц., синусоида; б) 35 Гц., меандр – и оценен состав выделяющегося газа.

Для осуществления процесса минерализации два типа метаболитов человека (плотные и жидкие отходы) смешивали друг с другом в соотношении, согласно данным [6]: 1г. плотных отходов на 10 мл. урины. К полученной массе добавляли пероксид водорода (36-37%) в соотношении: 4 мл. на 1 г. плотных отходов, 0,5 мл. на 1 мл. урины. Далее через полученную смесь пропускали электрический ток с изменяемым в процессе напряжением. Данный процесс можно разделить на три стадии: 1) Стадия разгона, при напряжении в электрической цепи равном 150 вольт. 2) Рабочая стадия с напряжением 70 вольт. 3) Стадия дожига при напряжении 100 вольт. Параметры частоты и формы электрического тока подобраны в соответствии с данными [7].

В результате проведения сжиганий экзометаболитов человека при разной частоте и форме тока был выявлен состав выделяющегося газа, а также установлено, что принципиальные различия в составе данного газа при разном способе сжигания отсутствуют.

Газ	50 Гц., синусоида, % об. д.	35 Гц., меандр, % об. д.	Атмосфера, % об. д.
O ₂	68,100 ± 1	67,80 ± 1	22,4 ± 1
CO ₂	22,100 ± 0,1	24,50 ± 0,1	0
CO	0,196 ± 0,015	0,157 ± 0,015	0
NO	0,001 ± 0,004	0,001 ± 0,004	0,001 * 10 ⁻¹
H ₂ S	0,003	0,004	0,002 * 10 ⁻¹
NO ₂	0,002 * 10 ⁻¹	0,002 * 10 ⁻¹	0

Таким образом, в ходе проделанной работы установлен состав газа, выделяющийся в процессе химической реакции взаимодействия H_2O_2 и экзометаболитов человека. Также было установлено, что частота и форма электрического тока существенно не влияет на состав, выделяющегося газа.

Список публикаций:

- [1] Kudenko Yu.A. *Physical-chemical treatment of wastes: a way to close turnover of elements in LSS* / Yu.A. Kudenko, I.A. Gribovskaya, I.G. Zolotukhin // *Acta Astronautica*. 2000. Vol. 46. P. 585 – 589.
- [2] Upadhye R. S., Wignarajah K., Wydeven T. // *Environ. Int.* 1993. Vol. 19 (4). P. 381-392.
- [3] Tsuga S., Tako Y., Endo M., Nishidate K., Fukuda S. // *Proc. of the Int. Symp. on Application of a Closed Experimental System to Modeling of ^{14}C Transfer in the Environment*. Rokkasho, Aomori, Japan, 2007. pp. 119-126.
- [4] Tikhomirov A. A., Ushakova S. A., Manukovsky N. S. Lisovsky G. M., Kudenko Y. A., Kovalev V. S., Gribovskaya I. V., Tirrannen L. S., Zolotukhin I. G., Gros J. B., Lasseur Ch. // *Acta Astronautica*. 2003. Vol. 53. P. 249-257.
- [5] Tikhomirov A., Kudenko Yu., Trifonov S., Ushakova S. // *Adv. Space Res.* 2012. Vol. 49. P. 249-253.
- [6] С. В. Трифонов, Ю. А. Куденко, А. А. Тихомиров, В. В. Клевец Перспективы использования "мокрого" сжигания органических отходов в перексиде водорода для замкнутых систем жизнеобеспечения. // *Химия в интересах устойчивого развития*. . №22. 2014. С. 203-208.
- [7] Морозов Е. А. и др. Исследование влияния частоты и формы тока в растворе на распад H_2O_2 при минерализации органических отходов в замкнутых системах жизнеобеспечения // *Сибирский аэрокосмический журнал*. – 2014. – №. 1 (53). – С. 164-168.

Структура ДНК-дуплекса с неправильной CU-парой оснований

Кунина Елизавета Игоревна

Новосибирский государственный университет

Шернюков Андрей Владимирович, к.х.н.

liza.kunina00@gmail.com

В молекулах ДНК постоянно образуются повреждения. Например, в человеческой клетке их количество может достигать нескольких тысяч в день на клетку [1]. К повреждениям ДНК относят любые изменения её химической структуры, например разрыв цепи, наличие неправильного основания в паре либо его (т. н. АП-сайт). Однако в клетке существуют системы репарации. Изучение процессов, моделирующих репарацию ДНК, является актуальной задачей, так как повреждения ДНК являются причинами многих заболеваний. Структуры дуплексных ДНК, содержащих АП-сайты, могут быть полезны для разработки противоопухолевых и других лекарственных препаратов [2].

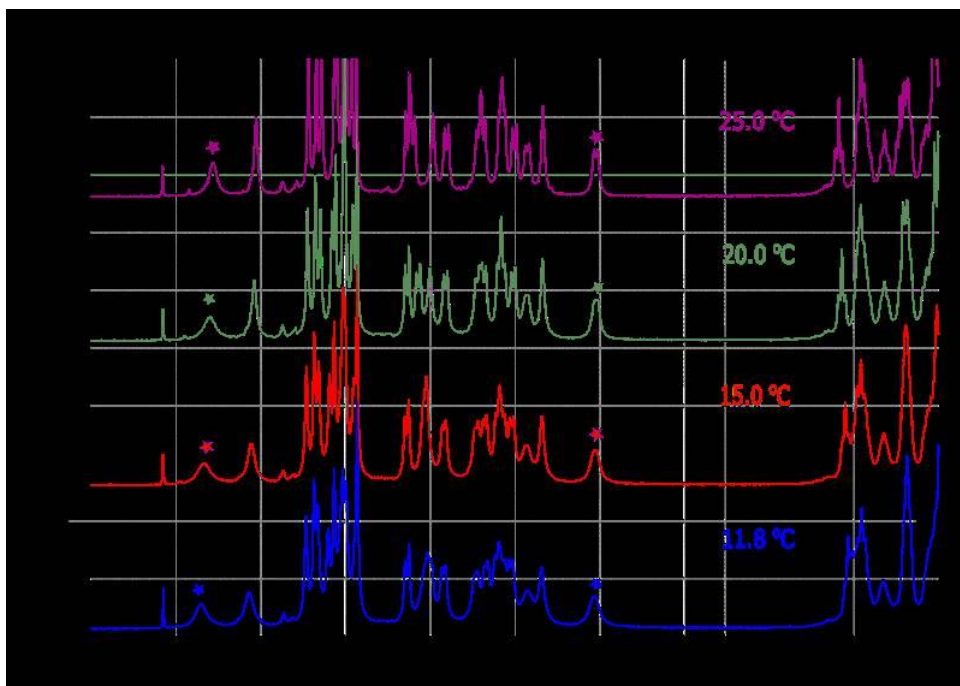


рис.1. Фрагмент спектра ЯМР, 1H (600МГц, D_2O), зарегистрированный при разных температурах

В этой работе мы исследуем структуру ДНК дуплекса, содержащего повреждение в виде неправильной CU-пары. Модель выбрана в качестве референсной для последующего отнесения сигналов и установления

пространственной структуры дуплекса, с аналогичной последовательностью, но содержащего метоксиаминовый АП-сайт вместо уридина. Структура последнего вызывает интерес, поскольку такое повреждение ДНК, индуцируется потенциальным противоопухолевым агентом метоксиамином, который в настоящее время проходит клинические испытания.

В работе были исследованы спектры ЯМР дуплекса в системе H₂O+D₂O. Из температурной зависимости спектров следует, что пары С-Г, находящиеся между концевыми парами и парами АТ, являются достаточно прочными. Это свидетельствует об образовании достаточно стабильных спиралей В-типа в этих фрагментах. Часть сигналов особенно СU и близлежащих пар сужаются при повышении температуры, что свидетельствует о наличии быстрого обмена между структурами, за счет процесса, протекающего в центральном фрагменте, который содержит неправильную пару СU.

Список публикаций:

- [1] Helbock HJ, Beckman KB, Shigenaga MK, Walter PB, Woodall AA, Yeo HC, Ames BN. (1998) DNA oxidation matters: the HPLC-electrochemical detection assay of 8-oxo-deoxyguanosine and 8-oxo-guanine. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 95(1): 288–293.
[2] Kozarich, J. W., Worth, L., Jr., Frank, B. L., Christner, D. F., Vanderwall, D. E., and Stubbe, J. (1989) *Science* 245, 1396–1399.

Диродиевый комплекс как перспективное лекарство в фотохимиотерапии

Мещерякова Валерия Анатольевна

Институт химической кинетики и горения им. В.В. Воеводского СО РАН, Новосибирск

Новосибирский государственный университет

Глебов Евгений Михайлович

v.meshcheryakova@g.nsu.ru

Химиотерапия является одним из самых популярных способов лечения раковых заболеваний. Широко используемые лекарства в химиотерапии обладают несколькими значимыми недостатками, такими как низкая избирательность к опухолевым клеткам и небольшим терапевтическим индексом, что приводит к ряду побочных эффектов. По этой причине перспективен другой метод лечения раковых опухолей, который позволяет разрушать поврежденные клетки непосредственно в пораженных тканях. Фотодинамическая терапия (ФДТ) основана на применении фотосенсибилизаторов, чувствительных к свету веществ, которые накапливаются в опухолевых тканях и под действием внешнего света вследствие фотохимических превращений разрушают раковые клетки. Механизм действия ФДТ включает реакции с реактивными формами кислорода. Многие опухолевые ткани являются гипоксичными, поэтому интересны методы, не включающие кислородозависимые реакции. Фотохимиотерапия (ФХТ) предполагает лечение раковых клеток по кислород-независимому механизму.

Исследования комплексов платиновых металлов показало, что в ходе фотохимической реакции образуются соединения, по механизму действия схожие с цисплатином [1]. Интересными для изучения являются диродиевые комплексы Rh(II)-полипиридил, которые обладают двойным светоиндуцированным цитотоксическим действием - как зависимым от кислорода, так и независимым от него. Данные комплексы показали способность проявлять антираковые свойства и потенциально являются ингибиторами транскрипции ДНК [2].

В работе исследованы фотофизика и фотохимия лиганда dppn (бензо[і]дипиридо[3,2-а:2',3'-h]феназин) и диродиевого комплекса [Rh₂(μ-O₂CCH₃)₂(dppn)₂](O₂CCH₃). Измерены и получены фотофизические характеристики растворов dppn в ацетонитриле. Для водных растворов комплекса показано, что первичной фотореакцией является обмен ацетатного лиганда на молекулу воды.

Список публикаций:

- [1] Bednarski P.J., Mackay F.S., Sadler P.J. *Anti-Cancer Agents in Medicinal Chemistry*. 2007. Vol. 7. 75–93 p.
[2] Knoll J.D., Turro C. *Control and utilization of ruthenium and rhodium metal complex excited states for photoactivated cancer therapy // Coordination Chemistry Reviews*. Elsevier, 2015. Vol. 282–283. P. 110–126.

Разработка модели обонятельной луковицы крысы с использованием методов биологоподобного моделирования для исследования биоэлектрической активности, вызванной предъявлением одорантов

Мирошниченко Сергей Александрович

Южный федеральный университет

Шапошников Дмитрий Григорьевич, к.т.н.

sermir@sfedu.ru

Для решения задачи распознавания одорантов при сверхнизких концентрациях применяются биогибридные системы. Такие системы сочетают использование биологических структур живого организма и компьютерной обработки данных при помощи машинного обучения. В случае запахов, такой биологической структурой выступает обонятельная луковица крысы. Обоняние у крыс способно распознать одоранты во вдыхаемом воздухе даже при низких концентрациях. При этом большое внимание уделяется обонятельной луковице: активность ее нейронов позволяет распознавать запахи. Все вышеперечисленное побуждает к исследованиям биоэлектрической активности обонятельной луковицы крысы. Существует возможность моделирования этой активности с использованием математических уравнений.

Целью данной работы является разработка компьютерной модели обонятельной луковицы, способной отражать основные биоэлектрические процессы. Для достижения этой цели использовалась модель Ходжкина-Хаксли, описывающая генерацию и распространение потенциалов действия в нейронах. Модель представляет собой систему обыкновенных дифференциальных уравнений (1).

$$\dot{V} = -\frac{1}{C_m}(\sum_i I_i) \quad (1)$$

где \dot{V} – производная по времени от мембранного потенциала, C_m – емкость мембраны, I_i – электрический ток, соответствующий отдельному виду ионных каналов.

Модель учитывает митральные и внешние пучковые клетки, а также получение входного сигнала как напрямую митральными клетками, так и опосредованно через пучковые клетки.

В результате была получена многонейронная модель, описывающая биоэлектрическую активность нейронов обонятельной луковицы крысы (рис. 1). На вход подавалась гармоническая функция.

Полученная активность качественно совпадает с представлениями об электрической активности нейронов обонятельной луковицы крысы.

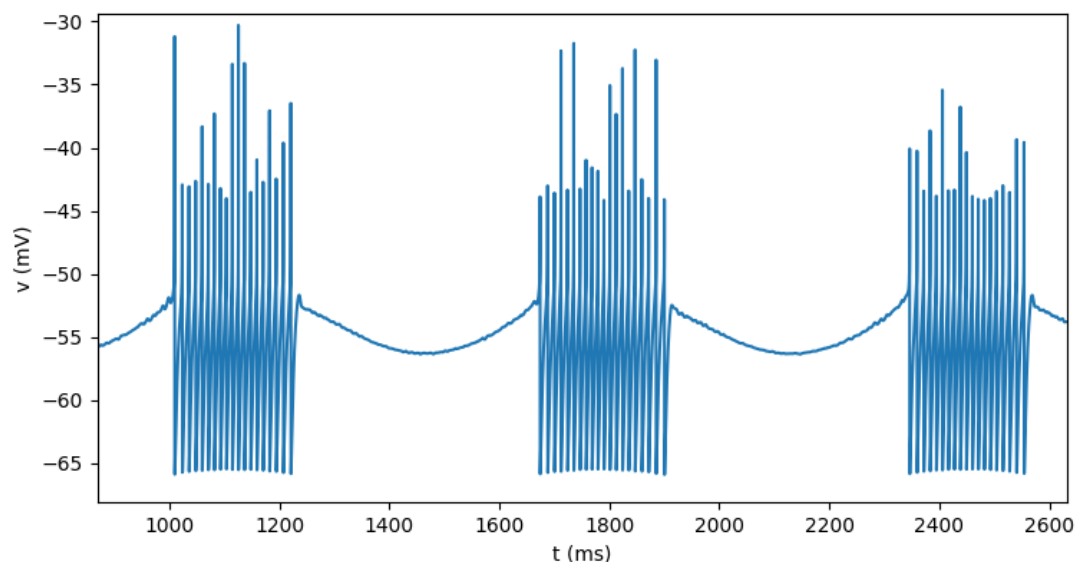


рис.1. Зависимость мембранного потенциала для митральной клетки от времени

Список публикаций:

- [1] Carey RM, Sherwood WE, Shipley MT, Borisyuk A, Wachowiak M. Role of intraglomerular circuits in shaping temporally structured responses to naturalistic inhalation-driven sensory input to the olfactory bulb. *J Neurophysiol* 113: 3112–3129, 2015.
- [2] Bathellier B, Lagier S, Faure P, Lledo PM. Circuit properties generating gamma oscillations in a network model of the olfactory bulb. *J Neurophysiol* 95: 2678–2691, 2006.

Применение композита ПДМС/УНТ в качестве сухого электрода регистрации биоэлектрической активности

Назаров Алексей Дмитриевич

Золотухин Владимир Васильевич, Костюлин Денис Владикович, Шапошников Дмитрий Григорьевич,
Экизян Аведик Хачатурович

Южный федеральный университет

Шапошников Дмитрий Григорьевич, к.т.н.

anazar@sfedu.ru

В последнее время композитные полимерные сухие электроды в приложениях для определения жизненно важных показателей и датчиков биосигналов вызывают всё больший интерес. Такие электроды можно сделать гибкими и мягкими, чтобы обеспечить комфорт при длительном ношении, что может стать альтернативой коммерческим электродам, а именно жёстким металлическим электродам и влажным электродам [1].

Материалы играют решающую роль в конструкции композитных электродов и существенно влияют на их характеристики. Например, углеродные нанотрубки (УНТ) представляют собой одномерные углеродные наноматериалы, обладающие высокой электропроводностью и биосовместимостью. Полидиметилсилоксан (ПДМС), гидрофобный силикон, широко используется в биомедицине, поскольку он обладает высокой биосовместимостью, эластичностью, податливостью и химической стабильностью. Сочетание этих материалов в гибких сухих электродах потенциально может повысить качество и стабильность записи биосигналов, например, электроэнцефалограммы (ЭЭГ) [2].

В этом исследовании был изготовлен электрод из композита ПДМС/УНТ. Этот электрод оценивался в трёх экспериментах. Качество сигнала жизненно важных показателей оценивалось с помощью измерений электрокардиограммы (ЭКГ) и электроэнцефалограммы (ЭЭГ), посредством сравнительного анализа данных, собранных коммерческими сухими электродами из Ag/AgCl и представленными композитными электродами. Так же были проведены эксперименты с закрытыми/открытыми глазами и по обнаружению альфа-ритма [3-4].

Измерение ЭКГ проводилось с полосовой фильтрацией на частоте 50 Гц и полосовой фильтрацией от 0,5 до 1000 Гц с частотой дискретизации 250 Гц. Как показано на *рис. 1* в верхней (а) и нижней (б) строках были представлены сигналы ЭКГ от коммерческого и предлагаемого сухого электрода соответственно, из чего видно, что разница в сигналах между обоими электродами незаметна.

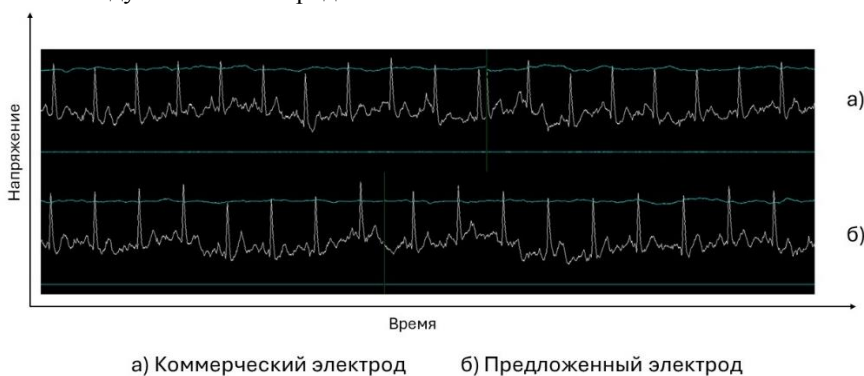


рис.1. Измерение ЭКГ с использованием предлагаемого электрода

Измерения ЭЭГ проводились с полосовой фильтрацией от 1 до 40 Гц с частотой дискретизации 250 Гц. В эксперименте с обнаружением альфа-ритма средний коэффициент когерентности в диапазоне альфа-частот в соседних отведениях с разными электродами равнялся 0.81.

Предлагаемый нами сухой электрод является мягким, гибким и может регистрировать биоэлектрическую активность без использования проводящего геля. Таким образом, он подходит и потенциально может быть использован в качестве электродной части носимых устройств для интерфейса «мозг-компьютер» (ИМК) и различных медицинских систем.

Работа выполнена в рамках проекта Приоритет 2030, проект № СП 11-23-04.

Список публикаций:

[1] Sangantrakul J., Hemakom A., Israsena P. // *IEEE*, 2023. С. 37-40.

[2] Oh J. et al. // *Materials*. 2024. Т. 17. №. 3. С. 668.

[3] Hua H. et al. // *Micromachines*. 2019. Т. 10. №. 8. С. 518.

[4] Jung H. C. et al. // *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*. 2012. Т. 59. №. 5. С. 1472-1479.

Исследование влияния магнитного поля различных конфигураций на всхожесть семян

Орехова Светлана Михайловна

Северо-Кавказский федеральный университет

Закинян Артур Робертович

smorekhova@mail.ru

В настоящее время бобовые культуры широко распространены в пищевой промышленности, в связи с этим возникает необходимость поиска наиболее оптимального метода их выращивания. Одним из возможных способов решения данной проблемы является воздействие на семена магнитным полем. Анализ научных работ указывает на разнообразность результатов данного влияния на процессы эффективности прорастания и роста растений в гетерогенной среде. Внешнее магнитное поле изменяет траектории движения заряженных частиц в структуре семян и в результате может оказать как положительное, так и отрицательное влияние на жизненные процессы в растениях. Корреляция между всхожестью семян и определенной конфигурацией воздействующего на них магнитного поля в настоящее время неполно исследована, в связи с чем, возникает необходимость изучения данного вопроса. [1]

Были проведены серии экспериментов для изучения влияния предварительной обработки семян перед прорастанием и постоянного воздействия на них магнитным полем различных конфигураций на всхожесть, результаты сравнивались с контрольным образцом, пророщенным без дополнительного воздействия. В целях достижения репрезентативности эксперимента каждая серия была повторена на 5 образцах. В представленных материалах анализируется среднее значение. Образцом считается выборка из 20 семян. Конфигурацией магнитного поля в данной работе является:

- пространственной – различие направления силовых линий, проходящих через плоскость, в которой располагаются семена, относительно направления силы тяжести;

- временной – различие времени предварительной обработки семян.

Методика эксперимента, направленного на изучение влияния различных пространственных конфигураций на всхожесть заключалась в следующем: семена чечевицы алтайской подверглись воздействию однородного поля, создаваемого электромагнитом. Для изменения направления силовых линий магнитного поля производилось изменение положения электромагнита в пространстве (поворот). Затем семена были помещены в гидропонный прорастатель на 54 часа. В течение всего эксперимента определяется всхожесть всех групп по формуле (1):

$$X = \left(\frac{N}{20}\right) * 100\% \quad (1)$$

где X – всхожесть семян, N – количество проросших семян.

Также была проведена серия экспериментов, направленная на изучение влияния различных временных конфигураций магнитного поля на величину всхожести семян. Методика данной серии заключалась в следующем: семена чечевицы алтайской подвергались воздействию однородного поля, создаваемого электромагнитом, после этого семена помещались в гидропонный прорастатель на 54 часа. В течение всего эксперимента рост семян контролировался, и определялась всхожесть всех групп по формуле (1).

Затем проводился эксперимент по исследованию влияния постоянного воздействия магнитного поля на прорастание семян чечевицы алтайской. Семена были помещены в экспериментальные установки, представляющие из себя влажную среду на ниодимовом ($B = 12,6$ мТл) и ферритовом ($B = 0,5$ мТл) магнитах соответственно. Для исключения влияния на эксперимент внешних параметров все образцы находились в одном хорошо освещаемом и проветриваемом месте, но установки располагались на достаточном расстоянии друг от друга, вследствие чего не происходило смещения воздействия магнитных полей установок на образцы, и не нарушалась чистота эксперимента. В течение всего опыта определяется всхожесть всех групп по формуле (1).

В ходе проделанной работы было выявлено, что наиболее благотворно на семена влияет предварительная обработка в течение 9 минут магнитным полем индукцией 8 мТл, частотой 16 Гц, с направлением силовых линий против силы тяжести, увеличивая их всхожесть на 15%. Также ускоряет процесс прорастания семян и увеличение их вегетативной массы постоянная обработка магнитным полем индукцией 12 мТл на протяжении всего периода прорастания. Но также магнитное поле определенных параметров способно ингибировать процесс роста. А именно магнитное поле с характеристиками: $\nu = 100$ кГц, направление силовых линий против силы тяжести способствует образованию чрезмерного количества свободных радикалов, что замедляет прорастание семян, снижая их всхожесть на 50% при предварительной обработке в течение 30 минут и на 26% при 9-ти минутной обработке.

Список публикаций:

[1] Орехова С. М. // *Зернобобовые и крупяные культуры. Изд-во Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр зернобобовых и крупяных культур»*. 2023. № 2(46). С.66-73.

Изучение влияния магнитного поля на структурообразование в биологически совместимой эмульсии

Орехова Светлана Михайловна

Закиян Артур Робертович

Северо-Кавказский федеральный университет

Закиян Артур Робертович

smorekhova@mail.ru

Процессы структурообразования и микроперемешивания можно использовать для интенсификации движения жидкости в промышленности, в медицине, например, для лечения тромбозов [1].

В данной работе предлагается использование магнитоуправляемой биологически совместимой дисперсной системы, представляющей собой микроэмульсию, для управления процессами микроперемешивания, которые можно использовать для повышения эффективности тромболитиков. Для изучения структур, возникающих в данной системе под воздействием вращающегося магнитного поля, была проведена серия экспериментов с биосовместимой микроэмульсией.

Методика исследования состояла из нескольких этапов. Первый этап: изготавливалась магнитная жидкость на вазелиновом масле путем замены жидкости-носителя из ферромагнитной жидкости на керосине, стабилизированной олеиновой кислотой. Замена жидкости-носителя происходила по следующей технологии: вазелиновое масло нагревалось до 100 °С, затем по капельно при постоянном нагреве и перемешивании ультразвуковым гомогенизатором вводилась ферромагнитная жидкость на керосине.

Далее полученная магнитная жидкость на вазелиновом масле эмульгировалась в физиологическом растворе, полученные капли с диаметром 1 мкм стабилизировались соевым летицином (рис. 1). Методика получения микроэмульсии состояла из: нагрева 5 мл смеси поверхностно-активного вещества – соевого летицина и физиологического раствора до 55 °С, затем по капельного ввода 0.05 мл (1%) полученной на предыдущем этапе ферромагнитной жидкости, с интервалом между каплями 7 минут.

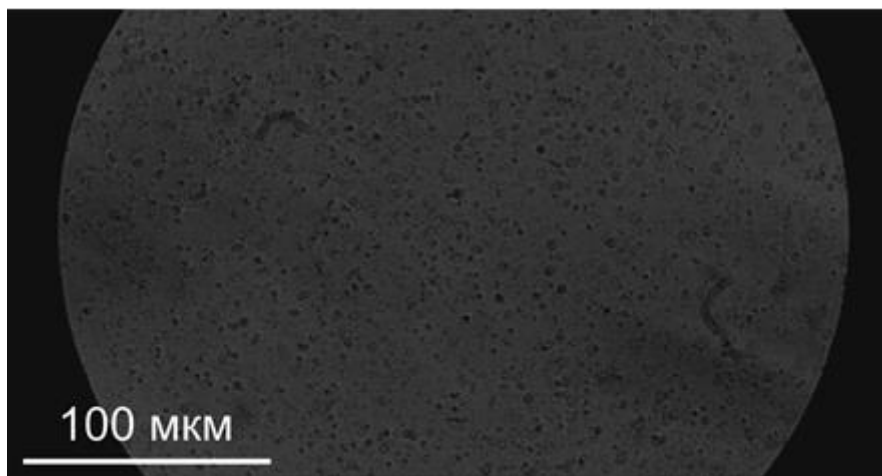


рис.1. Микрофотография биологически совместимой микроэмульсии

Третий этап: полученная микроэмульсия помещалась в тонкую плоскую ячейку Хеле-Шоу, которая представляла собой предметное и покровное стекла, и помещалась в область однородности магнитного поля системы двух пар катушек Гельмгольца, которые создавали вращающееся магнитное поле, благодаря разности фаз токов, питающих катушки 90°.

Выявлено, что под воздействием вращающегося магнитного поля микрокапли формируют цепочки и начинают вращаться (рис. 2). Данный процесс структурообразования зависит от частоты магнитного поля. Обнаружено, что конечная длина образующихся цепочек уменьшается с увеличением частоты. Это происходит из-за гидродинамического момента сил, действующего на цепочку. При сильном увеличении частоты магнитного поля капли начинают собираться в изотропные кластеры. С ростом величины магнитного поля длина цепочек напротив возрастает вследствие увеличения магнитных взаимодействий между каплями.

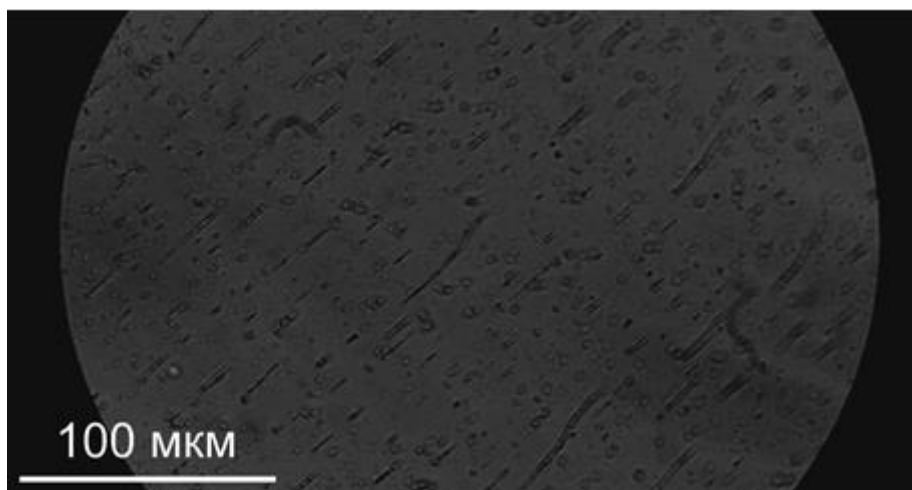


рис.2. Микрофотография биологически совместимой микроэмульсии

На основе проведенных исследований можно сделать вывод о том, что имеет место возможность управления закономерностями структурообразования в системе капель магнитной микроэмульсии при помощи магнитного поля и использования данных процессов в медицине для интенсификации движения жидкости для повышения эффективности тромболитиков.

Список публикаций:

[1] Clements M. J. A mathematical model for magnetically-assisted delivery of thrombolytics in occluded blood vessels for ischemic stroke treatment // Doctoral dissertation, Texas University, 2016.

Электретные свойства и биоэнергетика структур органического происхождения

Савинов Данил Сергеевич

Мирошник Дарья Дмитриевна, Евдокимова Алина Игоревна, Максимова Наталья Тимофеевна

Иркутский государственный университет

Максимова Наталья Тимофеевна, к.ф.-м.н.

dankatawer@gmail.com

Значимость электретного эффекта в биологических структурах обусловлена его ролью в ряде фундаментальных биофизических явлений. В частности, электретный эффект используется при изготовлении материалов с антитромбогенными свойствами поверхности. Проводятся работы по применению электретов для ускорения срастания мягких тканей с костью, по стимуляции регенерации мягких тканей и свежих переломов [1, 2], а также другие исследования, показывающие возможность эффективного использования электретов в медицине. В биологических структурах живого организма формируются электрические потенциалы, изменением которых в значительной степени обеспечивается жизнедеятельность биологического объекта. Одним из наиболее информативных методов исследования биологических систем может служить электретно-термический анализ [3]. Он может позволить изучить процессы релаксации заряда в среде при ее нагревании. Форма и положение пиков в спектре термостимулированных токов позволяют выявить механизм удержания заряда биоэлектретом [3]. Характерный для биоэлектретов эффект поляризации и запоминания заряда и связан с воздействием слабых электрических и магнитных полей. Такие воздействия в объектах биологического происхождения осуществляются в ходе структурных перестроек через их водные среды. Проведенные исследования показывают, что электретные состояния могут наблюдаться во всех веществах, содержащих диполи или ионы. Вместе с тем, в случае гидратированного объекта электретное состояние может быть обусловлено наличием связанной или структурированной воды. Как отмечено в работе [4], в биологических явлениях можно выделить два вида энергии: энергия валентных связей, запасенная в химических соединениях, и «энергия миграции» в биохимических процессах. В биологических объектах вода находится в связанном состоянии и имеет особую структуру. Такая вода представляет собой жесткую среду, способствующую накоплению и распространению энергии.

Целью работы являлось изучение условий запасаения заряда в биоэлектретной среде на основе структур органического происхождения и выяснение роли структурированной воды в обеспечении этого эффекта. Исследования проводились методами термостимулированных токов (ТСТ), а также абсорбционной и люминесцентной спектроскопии. Преследовалась цель установления природы электронных ловушек, обеспечивающих долговременное запасаение энергии, а также связь этих ловушек с наличием образований

определённого типа. В качестве объектов исследования были выбраны биологические объекты растительного и животного происхождения: образцы растительной структуры (*crassula*), мотыль (личинка *chironomidae*), белок куриного яйца, а также дендробена (*lumbricus terrestris*). Обнаружено, что все исследуемые образцы проявляют свойства электрета (*pic.1*). Общий запас поляризации вещества может быть оценен по измерению площади под кривой зависимости величины тока от температуры. В работе обсуждается природа пиков на кривой ТСТ, структура электронных ловушек и их связь с продуктами термической денатурации белков, входящих в состав исследуемых органических структур.

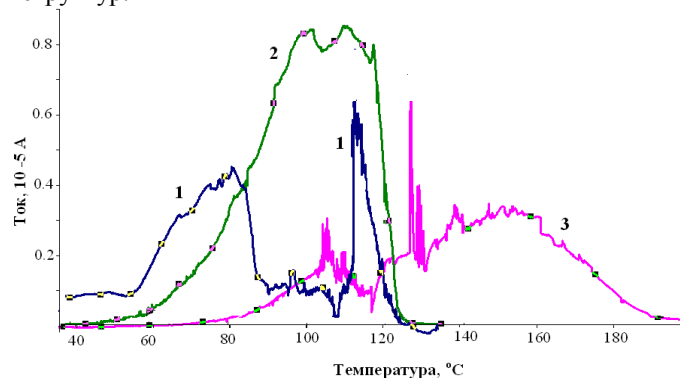


рис.1. Спектры ТСТ исследуемых объектов. 1- белок куриного яйца, 2- мотыль (*chironomidae*), 3 –дендробена (*lumbricus terrestris*).

Список публикаций:

- [1] Александрова О.И., Александрова С.А., Хомутов В.П. и др. //ЖТФ. 2018. Т.88 №9. С. 1348.
 [2] Хомутов В.П., Нелин Н. И., Котов В.И. и др. // Современная медицина. 2019. Т. 2. №14. С. 2–6.
 [3] Электреты / Под ред. Г. Сесслера. М.: Мир, 1983. 487 с.
 [4] Кулин Е.Т. // Биоэлектрический эффект. Минск: Наука и техника, 1980. 216 с.

Воздействие нитрата тория на интенсивность биолюминесценции двух сопряженных реакций, катализируемых бактериальными ферментами

Семенова Александра Алексеевна¹

Медведев Вадим Викторович¹, Колесник Ольга Владиславовна²

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет

²Институт биофизики Сибирского отделения Российской академии наук

Сачкова Анна Сергеевна, к.б.н.

a.smnv296@gmail.com

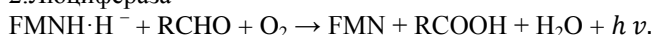
Соединения Th-232 являются альфа-излучающими веществами, представляющими собой опасность для жизни и здоровья человека, а также для состояния окружающей среды [1]. Биологические методы контроля в ряде ситуаций, позволяют быстро оценивать качество окружающей среды и наличие некоторых загрязнений, не обнаруживаемых химическими методами. К биологическим методам контроля относятся биоиндикация и биотестирование [2].

В последнее время биолюминесцентный анализ стал одним из перспективных методов биологического не только мониторинга водной среды [3], но и изучения механизмов воздействия токсикантов на живые системы, или их прототип. В работе использовали люминесцентную систему двух сопряженных реакций, катализируемых ферментами NAD(P)H:FMN-оксидоредуктазой и люциферазой:

1. NADH, FMN-оксидоредуктаза



2. Люцифераза



Данная система является моделью живой клетки по изменению её параметров можно косвенно судить о состоянии организма. Было исследовано влияние нитрата тория различных концентраций на интенсивность биолюминесценции и генерацию активных форм кислорода (АФК).

Для регистрации кинетики хемилюминесцентного и биолюминесцентного сигналов использовался планшетный биолюминометр Luminoskan Ascent. Используемые реактивы: комплекс реактивов аналитической биолюминесценции (КРАБ); C₁₄H₂₈O; торий азотнокислый; дистиллированная вода; NADH; FMN.

Проводили измерения интенсивности биолюминесценции и содержания АФК при концентрациях тория азотнокислого в диапазоне концентраций от 10^{-11} М до 10^{-5} М. Интенсивность свечения системы в растворах $\text{Th}(\text{NO}_3)_4$ концентрации от 10^{-11} М до 10^{-7} М близки к контролю, т.е. не вызывают значительную активацию или ингибирование. В то время как концентрации $\text{Th}(\text{NO}_3)_4$ в интервале 10^{-5} – $5 \cdot 10^{-6}$ М активируют биолюминесценцию во всем временном промежутке эксперимента. Так, при концентрации 10^{-6} М активация составляет примерно 20-40%, при этом максимум соответствует двукратному увеличению интенсивности свечения относительно контроля и равен $2,15(I^{\text{rel}})$ при 120 минутах. В то время как при 150 минутах активация идет на спад, и относительная интенсивность свечения снижается до 1,6. Скорее всего, спад может быть связан с временем протекания реакции, т.е с расходом субстратов и фермента. Активация в целом может быть результатом и радиационного воздействия $\text{Th}(\text{NO}_3)_4$ на субстраты и, в первую очередь, на фермент, вызывая усиление свечения. При этом стоит отметить, что не представляется возможным работать с большими концентрациями $\text{Th}(\text{NO}_3)_4$, для подтверждения активационного эффекта, т.к. они создают кислую среду, непригодную для работы системы.

Было исследовано относительное содержание АФК в растворах системы двух сопряженных реакций от времени в растворах нитрата тория с концентрациями от 10^{-11} М до 10^{-5} М. При всех концентрациях раствора $\text{Th}(\text{NO}_3)_4$ наблюдается падение содержания АФК при первых 20 минутах. Далее уровень АФК приближается к контролю. Из общей тенденции выделяются только зависимость количества АФК в растворах $\text{Th}(\text{NO}_3)_4$ в концентрации 10^{-6} М. При данной концентрации наблюдается увеличение содержания АФК начиная от 50 минут от 20 % до 40 %.

В результате проведенных экспериментов показано, что интенсивность биолюминесценции и АФК имеют обратную зависимость. При 20 минутах свечение системы увеличивается примерно на 20 %, снижение кривой АФК имеет схожую тенденцию. Рассчитан коэффициент корреляции между интенсивностью биолюминесценции и образованием АФК на примере раствора нитрата тория с концентрацией 10^{-6} М. Он составил $(r) = -0,82$. Отрицательное значение свидетельствует, что при росте биолюминесценции происходит снижение образования АФК. Значения коэффициента по модулю более 0,7 ($r = 0,71-0,99$) говорит о высокой степени корреляции между этими двумя зависимостями, в нашем случае между интенсивностью биолюминесценции и образованием АФК

Таким образом, было определено влияние тория азотнокислого на интенсивность биолюминесценции и генерацию АФК в биолюминесцентной системе, катализируемой NAD(P)H:FMN-оксидоредуктазой и люциферазой. Исследована зависимость между биолюминесцентным откликом и снижением образования АФК в водных растворах с добавлением токсиканта.

Список публикаций:

- [1] Студопедия. Факторы и группы токсичности радионуклидов. https://studopedia.ru/2_5924_faktori-i-gruppi-toksichnosti-radionuklidov.html
- [2] Биоиндикация и биотестирование загрязнений природной среды: курс лекций / Семенова А.Ю., Малько С.В.; Керченский государственный морской технологический университет. – Керчь: КГМТУ, 2020. – 23 с.
- [3] Колесник О.В., Рожко Т.В., Лапина М.А., Соловьёв В.С., Сачкова А.С., Кудряшева Н.С. // MDPI. Bioengineering. 2021. Т. 8. № 194. С. 1–13.