



ЕСТЕСТВЕННЫЕ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ

*Сборник статей по материалам
XXXV международной научно-практической конференции*

№ 10 (34)
Октябрь 2015 г.

Издается с декабря 2012 года

Новосибирск
2015

УДК 50
ББК 20
Е 86

Ответственный редактор: Васинович М.А.

Председатель редакционной коллегии:

Козьминых Владислав Олегович — д-р хим. наук, проф., зав. кафедрой химии естественнонаучного факультета Пермского государственного гуманитарно-педагогического университета.

Редакционная коллегия:

Гукалова Ирина Владимировна — д-р геогр. наук, доц. ведущий научный сотрудник Института географии НАН Украины, профессор кафедры социально-экономической географии Херсонского государственного университета;

Данилов Виктор Павлович — канд. с.-х. наук, зам. дир. по научной работе СибНИИ кормов СО Россельхозакадемии;

Елисеев Дмитрий Викторович — канд. техн. наук, доцент, бизнес-консультант Академии менеджмента и рынка, ведущий консультант по стратегии и бизнес-процессам, «Консалтинговая фирма «Партнеры и Боровков»;

Зеленская Татьяна Евгеньевна — канд. физ.-мат. доц. кафедры высшей математики Югорского государственного университета;

Королев Владимир Степанович — канд. физ.-мат. наук, доц. кафедры механики управляемого движения факультета прикладной математики — процессов управления Санкт-Петербургского государственного университета.

Ларионов Максим Викторович — д-р биол. наук, проф. кафедры биологии и экологии Балашовского института (филиала) Саратовского государственного университета, член-корреспондент Российской Академии Естествознания, г. Балашов.

Романова Алла Александровна — канд. техн. наук, доц. инженерных дисциплин Санкт-Петербургского государственного экономического университета;

Рыжкевич Павел Павлович — канд. физ.-мат. наук, доц., проф. кафедры физики Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского, г. Санкт-Петербург, чл.-кор. Международной академии наук экологии, безопасности человека и природы, член Экспертного совета по энергоэффективности зданий и сооружений Санкт-Петербурга;

Сүлеймен Ерлан Мэлсұлы — д-р филос. наук, канд. хим. наук, директор института прикладной химии при Евразийском национальном университет им. Л.Н. Гумилева;

Харченко Виктория Евгеньевна — канд. биол. наук, ст. науч. сотр. отдела флоры Дальнего Востока, Ботанический сад-институт ДВО РАН;

Яковичина Татьяна Федоровна — канд. с.-хоз. наук, доц., заместитель заведующего кафедрой экологии и охраны окружающей среды Приднепровской государственной академии строительства и архитектуры, член Всеукраинской экологической Лиги.

Е 86 Естественные и математические науки в современном мире / Сб. ст. по материалам XXXV междунар. науч.-практ. конф. № 10 (34). Новосибирск: Изд. АНС «СибАК», 2015. 108 с.

Учредитель: АНС «СибАК»

Сборник статей «Естественные и математические науки в современном мире» включен в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ).

При перепечатке материалов издания ссылка на сборник статей обязательна.

Оглавление	
Секция 1. Математика	6
1.1. Теория вероятностей и математическая статистика	6
ЗАДАЧА ИДЕНТИФИКАЦИИ ЗАКОНА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ПРОБЛЕМЫ ПРИ ЕЁ РЕШЕНИИ	6
Акимов Сергей Сергеевич	
Секция 2. Физика	11
2.1. Акустика	11
ГРУППОВАЯ СКОРОСТЬ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО ВОЛНОВОДА	11
Папкина Юлия Игоревна	
Папкина Анна Станиславовна	
2.2. Оптика	16
БИСТАБИЛЬНОСТЬ АВТОМОДУЛЯЦИОННЫХ КОЛЕБАНИЙ В АВТОНОМНОМ ТВЕРДОТЕЛЬНОМ КОЛЬЦЕВОМ ЛАЗЕРЕ	16
Дудецкий Вадим Юрьевич	
2.3. Теоретическая механика	28
ИСТОРИЯ СТАНОВЛЕНИЯ АНАЛИТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ	28
Королев Владимир Степанович	
2.4. Физика конденсированного состояния	44
ВЛИЯНИЕ ЧАСТОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ПОЛЯРИЗУЕМОСТЬ НАНОЧАСТИЦ АЛМАЗА В ВОДЕ	44
Войтылов Алексей Владиславович	
Петров Михаил Павлович	
Трусов Анатолий Анатольевич	
Войтылов Владислав Викторович	
Клемешев Сергей Алексеевич	

АВТОМАТИЗАЦИЯ МЕТОДА СЛАБЫХ СИНУСОИДАЛЬНЫХ ПОЛЕЙ С СИНУСОИДАЛЬНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ АМПЛИТУДЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРО-ОПТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ Войтылов Алексей Владиславович Петров Михаил Павлович Трусов Анатолий Анатольевич Войтылов Владислав Викторович Клемешев Сергей Алексеевич	56
Секция 3. Биология	64
3.1. Ботаника	64
ТРАНСФОРМАЦИЯ ПОЙМЕННОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ РЕКИ ЧАГАН В ПРЕДЕЛАХ ЗАПАДНО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ Аманбаев Каныбек Сайынович	64
ИЗУЧЕНИЕ ХОЗЯЙСТВЕННО-ЦЕННЫХ РАСТЕНИЙ ГОСУДАРСТВЕННОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДНОГО ПАРКА «БУИРАТАУ» Ишмуратова Маргарита Юлаевна Исмаилова Фируза Махмудовна Минаков Александр Иванович	70
3.2. Токсикология	77
СОДЕРЖАНИЕ ГОРМОНОВ В КРОВИ ЛАКТИРУЮЩИХ КРЫС ПРИ ИНТОКСИКАЦИИ СОЛЯМИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И ИХ КОРРЕКЦИЯ Жапаркулова Назгуль Иксановна Ерназарова Айша Ергешкызы Рахмаева Зарина Тиялпжановна	77
3.3. Физиология	85
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ БАД «КЛАДОРОД» НА НЕСПЕЦИФИЧЕСКИЕ АДАПТИВНЫЕ РЕАКЦИИ ОРГАНИЗМА СПОРТСМЕНОВ, ЗАНИМАЮЩИХСЯ УШУ И ЦИГУН, ИХ ФИЗИЧЕСКУЮ РАБОТОСПОСОБНОСТЬ И СПОРТИВНЫЙ РЕЗУЛЬТАТ Наумова Ксения Николаевна	85

3.4. Ветеринария	92
ВЛИЯНИЕ АНЕСТЕЗИИ ТАЗОВОГО СПЛЕТЕНИЯ КОТОВ НА МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КРОВИ Шамсутдинова Нажия Вагизовна Миншагаева Фарида Имамутдиновна	92
Секция 4. Химия	97
4.1. Аналитическая химия	97
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЛИПОВОЙ КИСЛОТЫ НА КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЕ МЕДИ С 1,10-ФЕНАНТРОЛИНОМ В ПРИСУТСТВИИ СТАБИЛИЗАТОРОВ Хабарова Ольга Васильевна Серова Ксения Анатольевна Самотаева Екатерина Валерьевна Хандусенко Екатерина Андреевна Мадыкова Жания Хасановна Бровко Екатерина Владимировна	97
4.2. Медицинская химия	103
СОРБЦИОННОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ ИОНОВ ЖЕЛЕЗА (III) ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ Диденко Татьяна Александровна Веровкина Ольга Анатольевна	103

СЕКЦИЯ 1.

МАТЕМАТИКА

1.1. ТЕОРИЯ ВЕРОЯТНОСТЕЙ И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ СТАТИСТИКА

ЗАДАЧА ИДЕНТИФИКАЦИИ ЗАКОНА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ПРОБЛЕМЫ ПРИ ЕЁ РЕШЕНИИ

Акимов Сергей Сергеевич

аспирант факультета информационных технологий,

ФГБОУ ВПО ОГУ,

РФ, г. Оренбург

E-mail: elite17@yandex.ru

THE PROBLEM OF DISTRIBUTION LAW'S IDENTIFICATION AND QUESTIONS IN ITS SOLVING

Sergey Akimov

postgraduate of Faculty of Informational Technology, OSU,

Russia, Orenburg

АННОТАЦИЯ

В статье выполнен обзор наиболее распространенной процедуры восстановления плотности вероятности по массиву данных. Рассмотрены основные методы, применяемые в данной области, оценены их достоинства и недостатки. Описано использование некоторых характеристик массивов случайных величин, показаны проблемы в их использовании.

ABSTRACT

The article deals with an overview of some restoration's methods of the probability density from a sample of the general population. The advantages and disadvantages of each method, and a comparison of some of the methods with each other are in the article.

Ключевые слова: обзор; идентификация закона распределения, моменты случайных величин.

Keywords: review; Identification of the distribution law; moments of random variables.

На сегодняшний день развитие цивилизации невозможно без информационного обеспечения. Реализуя огромный потенциал роста техники и технологий, человечество развивает и процесс информационного обмена, как связующее звено между собой и новыми технологиями.

Информация, используемая в научных целях и в повседневной жизни, может быть представлена в самом различном виде. Однако наиболее широкое применение находят именно количественные данные.

Работа с количественными данными схожа с работой с другими данными в области накопления, хранения и передачи. Процесс же обработки количественных данных значительно многообразнее, потому именно процессу обработки данных посвящено более всего трудов отечественных и зарубежных ученых.

Большинство процессов реальной жизни представляется случайными данными. Исчерпывающей же характеристикой случайных величин, как отмечают многие авторы, является закон распределения вероятности.

При этом необходимо отметить, что при исследовании реальных явлений и процессов заранее закон распределения вероятности практически всегда неизвестен. Отсюда на первый план выходит задача его идентификации или восстановления по массиву исследуемых данных.

Однако стоит учитывать, что рассмотренная выше задача некорректно поставлена [6]. Некорректность поставленной задачи определяет, что если всякая входящая информация о вероятном законе распределения случайной величины отсутствует, то задача оценки функции плотности распределения не может допускать состоятельного решения [7].

Тем не менее, задача идентификации плотности закона распределения вероятности является достаточно актуальной. Данный аспект заставляет ученых находить хотя бы приближенное решение данной задачи. Некорректность же привела к тому, что на сегодняшний момент существует достаточно большое количество методов приближенного восстановления закона распределения вероятности различной степени сложности и достоверности. Принципиальная же возможность восстанавливать непрерывную плотность распределения вероятности существует [4].

Основные методы решения данной задачи рассмотрены в трудах различных авторов [1]. Наиболее широко распространен следующий подход к решению данной задачи:

1. вначале строится гистограмма плотности массива данных (алгоритм построения гистограммы встречается во многих трудах [4]);

2. затем по гистограмме исследователь делает предварительный вывод о принадлежности изучаемого массива конкретному закону распределения (при этом подразумевается, что квалификации исследователя позволяет сделать этот вывод, хотя зачастую это не так);

3. далее, используя различные статистические методы, исследователь производит проверку своего предположения, сравнивая эмпирическую плотность распределения с теоретической.

Если методы доказывают равенство плотностей, гипотеза принимается. В противном случае ученому приходится подбирать иное распределение.

Как уже отмечалось выше, в данном подходе необходимо участие эксперта для предварительной оценки гистограммы. Исключение из расчетов экспертной оценки значительно упростила бы систему расчетов, и даже позволило бы ее автоматизировать.

Данная задача относится, скорее, к области распознавания образов, при этом существуют попытки ее решения, на основе расчета ряда коэффициентов [3].

Среди математических методов решения задачи идентификации плотности закона распределения, наблюдается значительное многообразие. Однако, широко распространено мнение о том, что наиболее оптимальными являются методы, основанные на ядерном оценивании функции плотности (метод Парзена-Розенблатта, метод интегральной оценки плотности вероятности и др.) [8]. При этом некоторые авторы указывают на сложность реализации данных методов [10]. Более того, реализация подобного метода возможна только в рамках задачи бинарного выбора. Иначе говоря, получаемую

ядерную оценку можно сопоставлять только с некоей предполагаемой, и получить, в результате, соответствие или несоответствие эмпирического массива данных некоему теоретическому распределению. Отсюда возникает проблема предварительной оценки массива данных, которое требует участие эксперта-статистика. В противном случае исследователю придется перебирать все возможные варианты законов распределения, с целью получения одного, наиболее удовлетворяющего заданным условиям. Учитывая общую сложность реализации метода даже для одного сравнения, получаемый метод решения является весьма трудоемким.

Более простые методы основаны на моментах случайных величин, поскольку данные характеристики, с одной стороны, достаточно просто вычисляются, а с другой являются высокоинформативными.

Как правило, среди моментов выделяют третий и четвертый, то есть асимметрию распределения и его эксцесс, а, в некоторых случаях, их сочетание.

Однако, использование данных коэффициентов невозможно без таблиц критических значений. В ряде исследований [11], как правило, критические значения рассчитаны только для нормального закона распределения: задача же идентификации в данном случае, сведена к частной задаче определения нормальности распределения. При этом, как правило, исследователи не дают никаких рекомендаций по использованию описываемых критериев при определенных объемах массивов данных или при различных параметрах распределения данных.

Таким образом, справедливо утверждать, что метод идентификации закона распределения путем определения основных моментов исследуемого массива данных в достаточной степени не изучен.

Некоторые исследователи указывают на тяжесть хвоста как возможную характеристику идентификации закона распределения [9]. При этом нет четких рекомендаций, касающихся того, каким образом выявлять параметр, отвечающий за тяжелый хвост. Отсюда отсутствие рекомендаций и по проблеме идентификации закона распределения.

При этом существуют попытки использовать некоторые известные методы определения тяжести хвоста для идентификации закона распределения вероятности [5]. Однако отмечено, что данные попытки весьма ограничены. Например, измерение тяжести хвоста в дискретных распределениях сопряжено с рядом трудностей. Хотя сама процедура различения дискретных и непрерывных массивов достаточно изучена [2].

Таким образом, задача восстановления закона распределения вероятности, с одной стороны, является достаточно актуальной, а с другой — труднореализуемой. Вместе с тем выделен целый ряд

проблем и особенностей в подходах к ее решению, работа над которыми поможет значительно продвинуться в данном направлении.

Список литературы:

1. Акимов С.С. Методы решения задачи восстановления плотности вероятности по выборке из генеральной совокупности // Естественные и математические науки в современном мире: сб. ст. по материалам XIV междунар. науч.-практ. конф. № 1 (13). Новосибирск: Изд. «СибАК», 2014. — С. 29—35.
2. Акимов С.С. Расчет вероятности дискретности для массива данных / С.С. Акимов // Научное обозрение [Текст] : № 6 — Саратов. — 2013. — С. 78—82.
3. Акимов С.С., Шепель В.Н. Модернизация метода гистограмм для выявления принадлежности неизвестного массива данных определенному закону распределения вероятностей [Текст] / Шепель В.Н., Акимов С.С. Вестник Оренбургского Государственного университета. — 2014. — № 9 (170). — С. 179—181.
4. Акимов С.С. Оптимизированный алгоритм определения закона распределения вероятности по выборке из генеральной совокупности // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. — 2013. — № 2. — С. 52—56.
5. Акимов С.С., Шепель В.Н. Использование оценки Хилла для различения законов распределения вероятности [Текст] / Шепель В.Н., Акимов С.С. Вестник Оренбургского Государственного университета. — 2014. — № 1 (162). — С. 75—78.
6. Акимов С.С., Шепель В.Н. Проблемы извлечения знаний. Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры // Всероссийская научно-методическая конференция (с международным участием), Оренбург, 4—6 февраля 2015.
7. Богданов Ю.И. Метод максимального правдоподобия и корневая оценка плотности распределения / Заводская лаборатория. Диагностика материалов, — № 3, — 2004 г, — Т. 70 — с. 52—61.
8. Крянев А.В., Лукин Г.В. Математические методы обработки неопределенных данных. — М. ФИЗМАТЛИТ. — 216 с. 2006.
9. Маркович Н.М. Методы оценивания характеристик тяжело-хвостовых случайных величин по конечным выборкам: Дис. ... д-ра физ.-мат. наук: 05.13.01: М., 2004 — 206 с.
10. Сызранцев В.Н., Невелев Я.П., Голофаст С.Л. Адаптивные методы восстановления функции плотности распределения вероятности: Известия ВУЗов. Машиностроение. — 2006 г. — № 12 — с. 3—11.
11. D'Agostino, Ralph B.; Albert Belanger; Ralph B. D'Agostino, Jr (1990). "A suggestion for using powerful and informative tests of normality". *The American Statistician* 44 (4): 316–321.

СЕКЦИЯ 2.

ФИЗИКА

2.1. АКУСТИКА

ГРУППОВАЯ СКОРОСТЬ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО ВОЛНОВОДА

Папкина Юлия Игоревна

канд. физ.-мат. наук, доцент

*ФГАОУ ВО Севастопольский государственный университет,
РФ, г. Севастополь*

E-mail: yulia.parkova@gmail.com

Папкина Анна Станиславовна

магистрант

*ФГАОУ ВО Севастопольский государственный университет,
РФ, г. Севастополь*

E-mail: hanna.parkova@gmail.com

GROUP VELOCITY OF HYDROACOUSTIC WAVEGUIDE

Yulia Parkova

*PhD, assistant professor of Sevastopol State University,
Russia, Sevastopol*

Anna Parkova

*master of Sevastopol State University,
Russia, Sevastopol*

АННОТАЦИЯ

Рассматривается влияние донного затухания и рефракционного члена профиля скорости звука на групповую скорость в гидроакустическом волноводе. Поучено аналитическое представление групповой скорости в двухслойной модели гидроакустического волновода.

ABSTRACT

Influence of bottom attenuation and refraction member of sounds speed on group velocity in the hydroacoustic waveguide is considered. The analytical representation of group velocity is presented for two-layer model of hydroacoustic waveguide.

Ключевые слова: групповая скорость; гидроакустический волновод; моды; скорость звука; донное затухание.

Keywords: group velocity; hydroacoustic waveguide; normal modes; sounds speed; bottom attenuation.

Введение

Для моделирования свойств дна волновода используют два основных подхода: плоскостроистая модель на абсолютно жестком основании и плоскостроистая модель на жидком полупространстве. Данные модели приводят к разным краевым задачам для вертикального волнового уравнения. В случае жесткого дна оператор задачи имеет только дискретную часть спектра, для жидкого полупространства оператор имеет также и непрерывную составляющую спектра в силу того, что краевая задача формулируется на полуоси $z \in [0; \infty)$. Рассмотрим, как модель дна, донное затухание и профиль скорости звука влияют на групповую скорость в волноводе.

Постановка задачи

Для исследования основных волноводных эффектов в гидроакустическом волноводе, рассмотрим двухслойную модель гидроакустического волновода. Расположим начало цилиндрической системы координат на поверхности волновода над источником звука с координатами $(0, z_0)$, ось Oz направлена к дну. В случае цилиндрической симметрии звуковое поле точечного гармонического источника излучающего волну круговой частоты ω , описывается скалярной функцией $\Phi(r, z, t) = \Phi(r, z) \exp(-i\omega t)$, удовлетворяющей уравнению Гельмгольца

$$\Delta\Phi + \frac{\omega^2}{c^2(z)}\Phi = -\frac{\delta(z - z_0)\delta(r)}{2\pi r},$$

где: Δ — оператор Лапласа;
 $\Phi(r, z)$ — амплитуда потенциала скорости;
 δ — дельта функция Дирака;
 $c(z)$ — вертикальное распределение скорости звука в волноводе.
Поверхность волновода моделируется как акустически свободная, что соответствует краевому условию

$$\Phi|_{z=0} = 0.$$

На границе раздела слоев $z = h$ выполняются условия непрерывности звукового поля:

$$\lim_{z \rightarrow h^-} \rho_1 \Phi = \lim_{z \rightarrow h^+} \rho_2 \Phi; \quad \lim_{z \rightarrow h^-} \frac{\partial \Phi}{\partial z} = \lim_{z \rightarrow h^+} \frac{\partial \Phi}{\partial z},$$

где: ρ_1 — плотность слоя воды;
 ρ_2 — плотность донных осадков.

В случае наличия затухания γ в донном слое групповая скорость вычисляется аналитически как отношение среднего потока энергии через вертикальную плоскость $r = \text{const}$ к средней плотности энергии, находящейся между двумя вертикальными плоскостями, отстоящими друг от друга на расстоянии $2\pi / |\text{Re} \xi|$, где горизонтально-волновые числа ξ определяются из соответствующего дисперсионного уравнения [2]. В случае наличия постоянного профиля скорости звука как в водном слое c_1 , так и в донном слое c_2 и модели дна в виде жидкого полупространства групповую скорость можно определить как [1; 2]

$$U_m c_{\phi m} = \frac{v_m}{\sigma_m},$$

$$c_{\phi m} = \frac{\omega}{|\text{Re} \xi_m|};$$

где c_{ϕ} — фазовая скорость

$$v_m = \frac{\rho_1}{2\mu_m} (\mu_m h - \sin(\mu_m h) \cos(\mu_m h) - b_{12}^2 \sin^2(\mu_m h) \text{tg}(\mu_m h));$$

$$\sigma_m = \frac{\rho_1}{2c_1^2 \mu_{1m}} \left(\mu_{1m} h - \sin(\mu_{1m} h) \cos(\mu_{1m} h) - \frac{c_1^2 b_{12}^2}{c_2^2} \sin^2(\mu_{1m} h) \operatorname{tg}(\mu_{1m} h) \right),$$

$$\mu_{1m}^2 = \frac{\omega^2}{c_1^2} - \xi_m^2, \quad b_{12} = \frac{\rho_1}{\rho_2}.$$

В некоторых случаях удобнее аппроксимировать жидкое полупространство слоем конечной толщины (h_1-h), в результате получим модель гидроакустического волновода, дно которого расположено на абсолютно — жестком основании. При достаточно большой глубине жесткого дна h_1 выражения для групповой скорости совпадают как для модели волновода, в котором дно расположено на абсолютно жестком основании, так и для волновода, у которого дно представляет собой жидкое полупространство.

$$v_{1n} = \frac{\rho_1}{2\mu_{1n}} \left(\mu_{1n} h - \sin(\mu_{1n} h) \cos(\mu_{1n} h) - \right. \\ \left. - b_{12}^2 \sin^2(\mu_{1n} h) \operatorname{tg}(\mu_{1n} h) \right) (1 - \exp(-2i\mu_{2n}(h_1 - h))).$$

Если $\operatorname{Im}(\mu_2) < 0$ $\left(\mu_{2n}^2 = \frac{\omega^2}{c_2^2} (1 - i\gamma)^2 - \xi_n^2 \right)$, тогда

$\exp(-2i\mu_2(h_1 - h)) \rightarrow 0$, и как следствие получаем

$$v = v_1.$$

Аналогично можно показать, что $\sigma = \sigma_1$ и $U = U_1$.

Таким образом, непрерывная составляющая спектра для модели жидкого дна не влияет на групповую скорость, так как она определяется лишь дискретным спектром волновода.

Численные результаты.

В табл. 1 приводятся результаты численных расчетов групповой скорости для гидроакустического волновода, представляющего собой однородный слой воды глубины $h = 150$ м с профилем скорости звука $\tilde{c}_1 = 1467$ м/с, второй слой — грунт, состоящий из ила с постоянным профилем скорости звука $c_2 = 1474$ м/с и с затуханием $\gamma = 0,009$. Отношение плотностей водного слоя и слоя осадков полагаем $b_{12} = 0,806$, частота звука $f = 50$ Гц.

Таблица 1.

Результаты численных расчетов групповой скорости

ξ_m	$ U_m $
-0.213500+0.000150i	97.385
-0.211432+0.000678i	296.679
-0.210425+0.001942i	571.540
-0.209289+0.001953i	546.314
-0.207369+0.001530i	292.438

В табл. 2 показано влияние частоты на групповую скорость гидроакустического волновода.

Таблица 2.

Влияние частоты на групповую скорость

f (Гц)	$ U_1 $
50	97.385
75	84.892
100	5.500
150	1.702
200	7.153

Список литературы:

1. Бреховских Л.М. Волны в слоистых средах/Л.М. Бреховских. — М.: Наука, 1973. — 343 с.
2. Buckingham M.J. On the acoustic field in a Pekeris waveguide with attenuation in the bottom half-space/ M.J. Buckingham, E.M. Giddens // J.Acoust.Soc.Am. — 2006. — № 1. — P. 123—142.

2.2. ОПТИКА

БИСТАБИЛЬНОСТЬ АВТОМОДУЛЯЦИОННЫХ КОЛЕБАНИЙ В АВТОНОМНОМ ТВЕРДОТЕЛЬНОМ КОЛЬЦЕВОМ ЛАЗЕРЕ

Дудецкий Вадим Юрьевич

аспирант

Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова,

РФ, г. Москва

E-mail: mazarito@yandex.ru

BISTABILITY OF AUTOMODULATION VIBRATIONS IN AUTONOMOUS SOLID-STATE RING LASER

Vadim Dudetskiy

post-graduate student of Lomonosov Moscow State University,

Russia, Moscow

АННОТАЦИЯ

На основе численного моделирования исследованы бистабильные автомодуляционные режимы генерации кольцевого чип-лазера на YAG:Nd с несимметричной обратной связью встречных волн через обратное рассеяние. В области параметрического резонанса между автомодуляционными и релаксационными колебаниями найдены две ветви бистабильных автомодуляционных режимов генерации.

ABSTRACT

Bistable automodulation oscillation modes of ring chip laser on YAG:Nd with nonsymmetrical back-coupling of counterpropagating waves through the backward scattering are studied on the basis of numerical simulation. Two branches of bistable automodulation oscillation modes are found in the sphere of parametric resonance between automodulation and relaxation oscillations.

Ключевые слова: Твердотельный кольцевой лазер; автомодуляционный режим генерации; динамический хаос; амплитудная

невозвратимость; частотная невозвратимость; стохастический резонанс; бистабильность.

Keywords: solid-state ring laser; automodulation oscillation mode; dynamic chaos; amplitude nonreciprocity; frequency nonreciprocity; stochastic resonance; bistability.

Введение

Для твердотельных кольцевых лазеров (ТКЛ) с однородно уширенной линией усиления характерна сложная динамика генерации. В автономном ТКЛ наблюдаются разнообразные режимы генерации, различающиеся по временным, спектральным и поляризационным характеристикам излучения. При исследовании нелинейной динамики автономных кольцевых чип-лазеров одной из важных задач является выявление условий, при которых возникает бистабильность генерации. Бистабильные состояния представляют интерес при изучении нелинейных стохастических процессов в ТКЛ [2] и, в частности, стохастического резонанса в кольцевых лазерах [10; 11; 3].

В работе [2] было обнаружено, что при параметрах кольцевого чип-лазера, соответствующих области параметрического резонанса между автомодуляционными и релаксационными колебаниями, может возникать бистабильность автомодуляционных колебаний. Бистабильными оказываются автомодуляционный режим первого рода и квазипериодический автомодуляционный режим. В исследовании, проведенном в работе [2], не было изучено влияние амплитудной невозвратимости резонатора на бистабильность и, кроме того, анализ был проведен не во всей области параметрического резонанса, а лишь в некоторой части этой области.

В настоящей работе в рамках векторной модели ТКЛ с помощью численного моделирования проводится детальный анализ бистабильных автомодуляционных колебаний, возникающих при несимметричной связи встречных волн в области параметрического резонанса между автомодуляционными и релаксационными колебаниями.

Найдены две ветви бистабильных состояний, в которых имеет место периодическая и квазипериодическая автомодуляция интенсивностей встречных волн, а также может возникать и динамический хаос.

Результаты исследований

В исследованиях использовалась векторная модель ТКЛ. При вычислениях часть параметров полагалась равной экспериментально измеренным параметрам исследуемого лазера.

Время релаксации для чип-лазера Nd:YAG равно $T_1=240$ мкс. Ширина полосы резонатора определялась по релаксационной частоте $\omega_r = \sqrt{\eta\omega_c/QT_1}$. При превышении накачки над порогом $\eta=0.218$ в исследуемом лазере основная релаксационная частота равнялась $\omega_r/2\pi = 98.5$ кГц, что дает величину $\omega_c/Q=4.37*10^8\text{с}^{-1}$. Значение поляризационного параметра $\beta=0.75$ было определено (так же, как и в [6]) по экспериментально измеренной зависимости дополнительной релаксационной частоты ω_{r1} от частотной невязимности резонатора Ω .

Как было показано в работе в [1], в кольцевом чип-лазере можно изменять отношение модулей коэффициентов связи m_1/m_2 при регулировке температуры моноблока. В настоящей работе модуль одного из коэффициентов связи полагался равным $m_1/2\pi = 129.4$ кГц, а отношение $m_1/m_2 = 0.41$. Разность фаз комплексных коэффициентов связи $\tilde{m}_{1,2}$ трудно оценить по характеристикам автомодуляционных колебаний. Для простоты, разность фаз коэффициентов связи $\mathcal{G}_1 - \mathcal{G}_2$ полагалась равной нулю. Величина амплитудной невязимности кольцевого резонатора $\Delta = \omega_c/Q_2 - \omega_c/Q_1$ варьировалась при численном моделировании, частотная невязимность резонатора полагалась равной нулю.

В автономном кольцевом чип-лазере в широкой области лазерных параметров возникает автомодуляционный режим первого рода, для которого характерна противофазная синусоидальная модуляция интенсивностей встречных волн. Если частота автомодуляции ω_m близка к удвоенному значению основной релаксационной частоты, возникает ряд нелинейных эффектов, связанных с параметрическим взаимодействием автомодуляционных и релаксационных колебаний (параметрический резонанс). В этой области возникает неустойчивость автомодуляционного режима генерации первого рода, и возбуждаются более сложные автомодуляционные режимы генерации (в том числе, и режим динамического хаоса) [2; 4; 5; 7—9].

При наличии амплитудной невязимности кольцевого резонатора, связанной с неравенством модулей коэффициентов связи m_1, m_2

и неравенством добротностей резонатора для встречных волн $\Delta = \omega_c / Q_2 - \omega_c / Q_1$, как было впервые показано в работе [

], в этой области может возникать бистабильность автомодуляционных режимов.

Первая ветвь бистабильных автомодуляционных режимов

При изменении превышения накачки над порогом с $\eta = 0.17$ до $\eta = 0.44$ в зависимости от начальных условий наблюдаются две ветви автомодуляционных режимов генерации.

Обозначим их как Ветвь 1 и Ветвь 2, соответственно. Рассмотрим вначале Ветвь 1. В этом случае при $\eta = 0.17$ и $\Delta = 0$ кольцевой чип-лазер работал в автомодуляционном режиме первого рода. Значения превышения накачки над порогом далее последовательно увеличивались с шагом $\delta\eta = 0.01$. При прохождении всего интервала по шкале η изменялось значение амплитудной невязанности, и расчет повторялся снова с превышения накачки над порогом $\eta = 0.17$ в указанных пределах (от $\eta = 0.17$ до $\eta = 0.44$). Значение амплитудной невязанности варьировалось от 500 с^{-1} до 3000 с^{-1} с шагом 250 с^{-1} .

На Ветви 1 при $0.17 < \eta < 0.22$ наблюдается автомодуляционный режим первого рода. На рис. 1 показаны временная зависимость интенсивности излучения волны I_1 (а), а также спектр автомодуляционных колебаний (б).

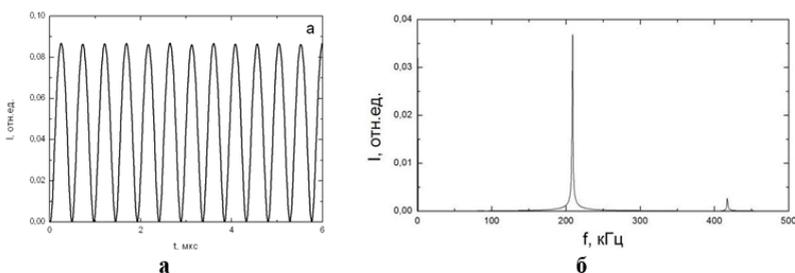


Рисунок 1. Временная зависимость интенсивности волны $I = aE_1^2$ в автомодуляционном режиме первого рода (а) и спектр интенсивности (б) при $\eta = 0.19$ и $\Delta = 500 \text{ с}^{-1}$

В области $0.22 < \eta < 0.33$ возникает периодический режим с удвоенным периодом автомодуляционных колебаний (см. рис. 2, а).

Для этого режима характерно появление в спектре выходного излучения дополнительной спектральной компоненты на частоте, равной половине автомодуляционной частоты (см. рис. 2, б).

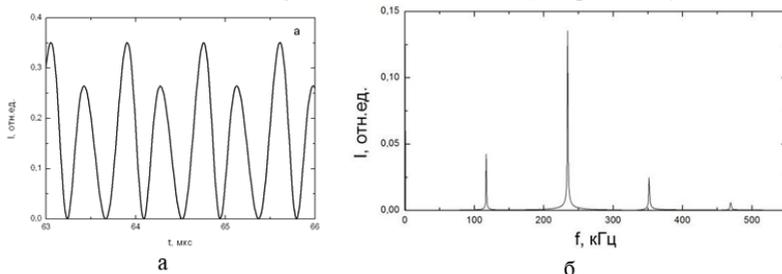


Рисунок 2. Временная зависимость интенсивности волны $I = aE_1^2$ в периодическом режиме с удвоенным периодом автомодуляционных колебаний (а) и спектр интенсивности (б) при $\eta = 0.28$ и $\Delta = 500 \text{ с}^{-1}$

В области $0.33 < \eta < 0.39$ периодический автомодуляционный режим с удвоенным периодом автомодуляционных колебаний сменяется квазипериодическим режимом с удвоенным периодом автомодуляции (рис. 3).

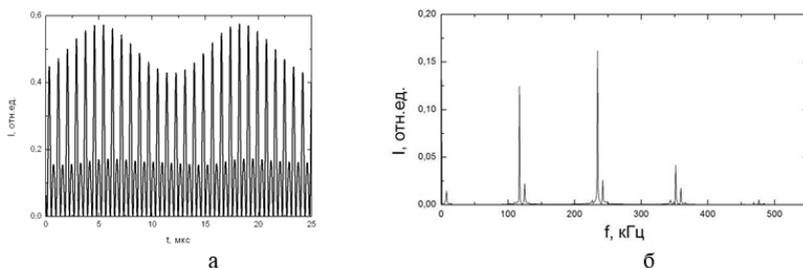


Рисунок 3. Временная зависимость интенсивности волны $I = aE_1^2$ в квазипериодическом режиме с удвоенным периодом автомодуляции (а) и спектр интенсивности (б) при $\eta = 0.35$ и $\Delta = 500 \text{ с}^{-1}$

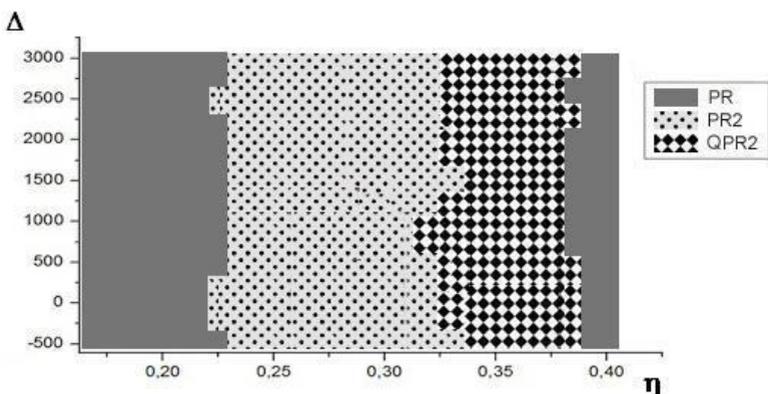
В этом режиме появляется огибающая амплитуды автомодуляционных колебаний (см. рис. 3, а), а в спектре выходного излучения, помимо спектральных компонент на автомодуляционной

и релаксационной частотах, возникают также компоненты на частоте, равной половине автомодуляционной частоты.

Характерная зависимость интенсивности выходного излучения от времени и спектр автомодуляционных колебаний для этого режима показаны на рис. 3,а и 3,б.

При превышении накачки над порогом $\eta > 0.39$ данный режим сменяется вновь автомодуляционным режимом первого рода.

На рис. 4, в плоскости лазерных параметров (η, Δ) показаны области существования автомодуляционных режимов генерации на Ветви 1.



а

Рисунок 4 а. Области существования автомодуляционных режимов генерации на Ветви 1 (а) в плоскости лазерных параметров (η, Δ)

Вторая ветвь бистабильных автомодуляционных режимов

Для Ветви 2 эволюция автомодуляционных режимов генерации при изменении параметров η и Δ представлена на рис. 4, б.

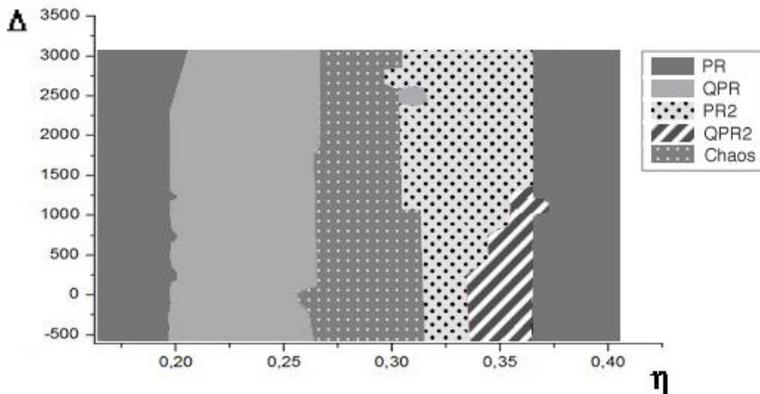


Рисунок 4, б. Области существования автомодуляционных режимов генерации на Ветви 2 (б) в плоскости лазерных параметров (η, Δ)

Как было ранее установлено в [

], в исследуемом кольцевом чип-лазере с несимметричной связью ($m_1/m_2=0.4$) при $\eta > 0.19$ помимо периодического автомодуляционного режима первого рода (PR) возникает квазипериодический автомодуляционный режим (QPR). Учитывая это, на Ветви 2 при $\eta = 0.19$ и $\Delta = 0$ задавались начальные условия, при которых возникает режим QPR. Значения превышения накачки над порогом далее последовательно увеличивались с шагом $\delta\eta = 0.01$. После прохождения всего интервала по параметру η , как и для Ветви 1, изменялось значение амплитудной невязности, и расчет повторялся при новом значении Δ .

Как видно из рис. 4, б, квазипериодический режим QPR при $\Delta = 0$ существует в области превышений накачки над порогом $0.19 < \eta < 0.26$. При увеличении амплитудной невязности Δ происходит сужение области существования режима QPR.

На рис. 5 показана характерная форма автомодуляционных колебаний интенсивности излучения одной из волн (а) и спектр интенсивности. В этом режиме помимо частоты автомодуляционных колебаний f_m возбуждается основная релаксационная частота f_r , остальные компоненты спектра являются комбинационными частотами от двух этих основных частот.

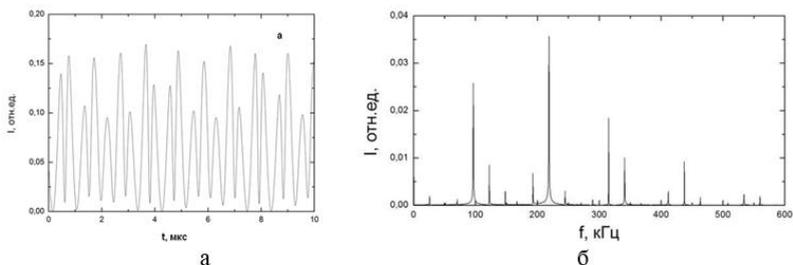


Рисунок 5. Временная зависимость интенсивности волны $I = aE_1^2$ в квазипериодическом автомодуляционном режиме QPR (а) и спектр интенсивности (б) при $\eta = 0.22$ и $\Delta = 250 \text{ с}^{-1}$

С увеличением параметра η на Ветви 2, режим QPR переходит в режим динамического хаоса (Chaos), который при $\Delta = 0$ существует в области накачек $0.26 < \eta < 0.32$.

Как видно из представленных рисунков, амплитудная невязанность слабо влияет на ширину области существования режима хаоса.

На рис. 6, а,б показаны временные зависимости интенсивностей встречных волн в режиме хаоса на двух интервалах времени (коротком и длинном).

На рис. 6, в показан спектр интенсивности одной из волн. Видно, что в этом режиме имеется характерная для режимов динамического хаоса область непрерывного спектра, на которой выделяется ряд дискретных частот, соответствующих автомодуляционным и релаксационным колебаниям.

На Ветви 2 в диапазоне превышений $0.32 < \eta < 0.37$ возникают периодический автомодуляционный режим с удвоенным периодом PR2 и квазипериодический автомодуляционный режим QPR2.

Эти режимы аналогичны одноименным режимам, возникающим на Ветви 1. В области превышений накачки над порогом $\eta > 0.37$ бистабильность исчезает и наблюдается автомодуляционный режим первого рода (PR).

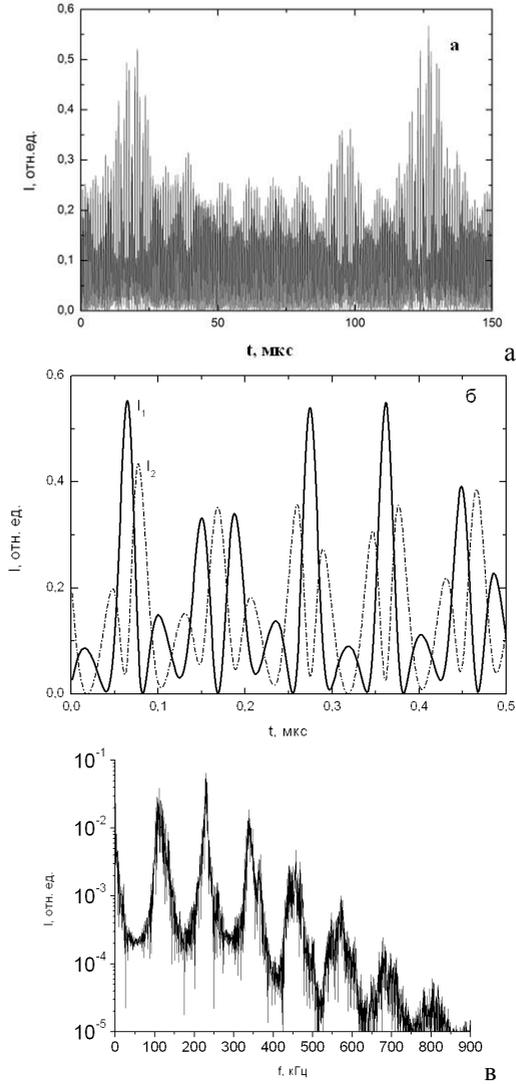


Рисунок 6. Временные зависимости интенсивностей встречных волн $I_{1,2} = aE_{1,2}^2$ в режиме динамического хаоса на коротком (а) и длинном (б) интервалах времени, а также спектр интенсивности волны I_1 в этом режиме (в) при $\eta = 0.28$ и $\Delta = 250 \text{ c}^{-1}$

Сравнение с экспериментом

Автомодуляционные режимы, возникающие в области параметрического резонанса, были исследованы ранее экспериментально. В этих работах были обнаружены лишь автомодуляционные колебания, возникающие на Ветви 1: периодический режим с удвоенным периодом автомодуляционных колебаний (PR2) и квазипериодический режим с удвоенным периодом автомодуляции (QPR2). Экспериментальные результаты хорошо согласуются с результатами численного моделирования для Ветви 1.

Ветвь 2, исследованная в настоящей работе, не наблюдалась ранее экспериментально. Исключение представляет лишь квазипериодический автомодуляционный режим, который удалось наблюдать косвенно при наличии шумовой модуляции накачки [2].

Исследования, проведенные в работе [2], показали, что на бистабильность автомодуляционных колебаний, возникающую при несимметричной связи встречных волн, оказывают сильное влияние флуктуации мощности накачки. При наличии даже слабого шума накачки квазипериодический автомодуляционный режим, как показано в [2], перестает наблюдаться.

Учитывая результаты этих исследований, можно предположить, что автомодуляционные режимы, относящиеся к Ветви 2, не удастся наблюдать из-за технических флуктуаций мощности накачки.

Для наблюдения бистабильности в этом случае необходимо провести экспериментальные исследования при тщательной стабилизации излучения накачки и контроле уровня шумов (технических и естественных).

Кроме того, причина, почему в эксперименте не удалось наблюдать вторую ветвь, может быть связана не только с влиянием технических флуктуаций мощности накачки, но и с ограничениями на скорость изменения мощности накачки в использованном чип-лазере.

При проведении эксперимента в начале осуществляется генерация при накачке, близкой к пороговой, и в этом начальном состоянии в чип-лазере бистабильность отсутствует, так как возникающий автомодуляционный режим генерации находится далеко от области параметрического резонанса.

При увеличении накачки лазер переходит в область параметрического резонанса. Численное моделирование показывает, что медленный переход в область параметрического резонанса не позволяет реализовать экспериментальное наблюдение второй ветви. При медленном включении кольцевой чип-лазер будет всегда

находиться на первой ветви генерации, то есть, медленное включение всегда будет приводить к тому, что реализуется лишь первая ветвь.

Выводы

В настоящей работе в рамках векторной модели ТКЛ с помощью численного моделирования проведен детальный анализ бистабильности автомодуляционных режимов генерации, возникающих в области параметрического резонанса между автомодуляционными и релаксационными колебаниями.

На основе проведенных исследований найдены области значений превышения накачки над порогом и величины амплитудной невязимости, в которых возникает бистабильность автомодуляционных колебаний.

Найдены две ветви бистабильных состояний. На первой ветви наблюдаются периодические автомодуляционные режимы: автомодуляционный режим первого рода и режим с удвоенным периодом. Для второй ветви характерна более сложная динамика излучения в зависимости от уровня накачки: с ростом превышения накачки над порогом генерации квазипериодический автомодуляционный режим переходит в режим динамического хаоса, затем в периодический автомодуляционный режим с удвоенным периодом, и, наконец, в автомодуляционный режим первого рода.

Список литературы:

1. Аулова Т.В., Кравцов Н.В., Ларионцев Е.Г., Чекина С.Н. Квазипериодический режим автомодуляционных колебаний с низкочастотной импульсной огибающей. — Квантовая электроника, 41, 13 (2011).
2. Золотоверх И.И., Кравцов Н.В., Ларионцев Е.Г., Чекина С.Н. Стохастические эффекты при воздействии шума накачки на бистабильные автомодуляционные колебания в твердотельном кольцевом лазере. — Квантовая электроника, 39, 515 (2009).
3. Золотоверх И.И., Кравцов Н.В., Ларионцев Е.Г., Фирсов В.В., Чекина С.Н. Экспериментальное наблюдение стохастического резонанса в твердотельном кольцевом лазере в отсутствие бистабильности. — Квантовая электроника, 39, 853 (2009).
4. Золотоверх И.И., Кравцов Н.В., Кравцов Н.Н., Ларионцев Е.Г., Макаров А.А. Взаимодействие автомодуляционных и релаксационных колебаний и его роль в нелинейной динамике твердотельного кольцевого лазера. — Квантовая электроника, 24, 638 (1997).
5. Золотоверх И.И., Ларионцев Е.Г. Параметрический резонанс в автономном твердотельном кольцевом лазере. — Квантовая Электроника, 22, 1171 (1995).

6. Золотоверх И.И., Кравцов Н.В., Ларионцев Е.Г., Фирсов В.В., Чекина С.Н. Влияние различия поляризации встречных волн на динамику твердотельных кольцевых лазеров. — Квантовая электроника, 37, 1011 (2007).
7. Золотоверх И.И., Кравцов Н.В., Ларионцев Е.Г., Макаров А.А., Фирсов В.В. Новые механизмы возникновения динамического хаоса в твердотельном кольцевом лазере. — Квантовая электроника, 22, 213, (1995).
8. Золотоверх И.И., Камышева А.А., Кравцов Н.В., Ларионцев Е.Г., Фирсов В.В., Чекина С.Н. Нелинейные процессы при удвоении периода автомодуляционных колебаний в кольцевом твердотельном лазере. — Квантовая Электроника, 38, 956 (2008).
9. Kravtsov N.N., Lariontsev E.G. Nonlinear dynamics of solid-state ring laser. *Laser Physics*, 7, 196 (1997).
10. Mc Namara B., Wiesenfeld K., Roy R. Observation of Stochastic Resonance in a ring laser, *Phys. Rev. Lett.*, 60, 2626 (1988).
11. Vemuri G., Roy R. Stochastic resonance in a bistable ring laser. *Phys. Rev. A*, 39, 4668 (1989).

2.3. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

ИСТОРИЯ СТАНОВЛЕНИЯ АНАЛИТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ

Королев Владимир Степанович

*доцент, канд. физ.-мат. наук,
Санкт-Петербургский Государственный Университет,
РФ, г. Санкт-Петербург
E-mail: vokorol@bk.ru*

HISTORY OF FORMATION OF ANALYTICAL MECHANICS

Vladimir Korolev

*candidate of Physical and Mathematical Sciences, assistant professor,
Saint-Petersburg State University,
Russia, Saint-Petersburg*

АННОТАЦИЯ

Рассматриваются работы классиков науки по механике, которые были выполнены за прошедшие годы. Сделана попытка оценить их вклад в дальнейшее развитие науки.

ABSTRACT

Works of classics of science on mechanics which were performed for last years are considered. Attempt to estimate their contribution to further development of science is made.

Ключевые слова: история механики; развитие науки.

Keywords: history of mechanics; development of science.

Введение

Механика — это наука о движении. Слова теоретическая или аналитическая показывают, что изложение не использует постоянного обращения к эксперименту, а проводится математическим моделированием на основании аксиоматически принятых постулатов и утверж-

дений, содержание которых определяется глубинными свойствами материального мира.

Теоретическая механика является фундаментальной основой научного познания. Трудно провести четкую грань между теоретической механикой и некоторыми разделами математики или физики. Многие методы, созданные при решении задач механики, будучи сформулированными на внутреннем математическом языке, получили абстрактное продолжение и привели к созданию новых разделов математики и других наук.

Предметом исследования теоретической механики являются отдельные материальные тела или выделенные системы тел в процессе их движения и взаимодействия между собой и окружающим миром при изменении взаимного расположения в пространстве и времени. Принято считать, что окружающие нас предметы являются почти абсолютно твердыми телами. Деформируемые тела, жидкие и газообразные среды почти не рассматриваются или учитываются косвенным образом через их влияние на движение выделенных механических систем. Теоретическая механика занимается общими закономерностями механических форм движения и построением математических моделей для описания возможного поведения механических систем. Она опирается на законы, установленные в опытах или специальных физических экспериментах и принимаемых за аксиомы или истину, которая не требует доказательств, а также использует большой набор фундаментальных (общих для многих разделов науки) и специальных понятий и определений. Они верны лишь приближенно и подвергались сомнению, что послужило появлению новых теорий и направлений дальнейших исследований. Нам не даны идеальное неподвижное пространство или его метрика, а также процессы равномерного движения, по которым можно отсчитывать абсолютно точные промежутки времени.

Как наука она зародилась в IV веке до нашей эры в трудах древнегреческих ученых [2; 11] по мере накопления знаний вместе с физикой и математикой, активно развивалась различными философскими школами вплоть до первого века и выделилась в самостоятельное направление. К настоящему времени сформировалось [5; 6; 10] много научных направлений, течений, методов и возможностей исследований, которые создают отдельные гипотезы или теории для описания и моделирования на основе всех накопленных знаний. Многие достижения естественных наук развивают или дополняют основные понятия в задачах механики. Это **пространство**, которое определяется размерностью и структурой, **материя** или

вещество, которое заполняет пространство, **движение** как форма существования материи, **энергия** как одна из основных характеристик движения.

Основоположники классической механики

- **Архит** Тарентский (428—365 гг. до н. э.), представитель пифагорейской школы философии, одним из первых начал разрабатывать проблемы механики.
- **Платон** (427—347), ученик Сократа, развивал и обсуждал многие проблемы в рамках философской школы, создал теорию идеального мира и учение об идеальном государстве.
- **Аристотель** (384—322), ученик Платона, сформировал общие принципы движения, создал теорию движения небесных сфер, принцип виртуальных скоростей, источником движений считал силы, обусловленные внешним воздействием.

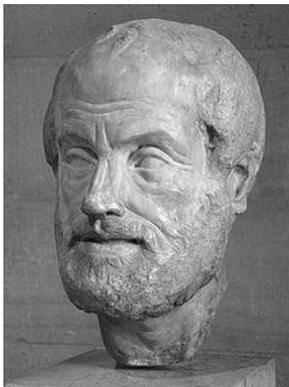


Рисунок 1.

- **Евклид** (340—287), сформулировал множество математических постулатов и физических гипотез, заложил основы геометрии, которая используется в классической механике.
- **Архимед** (287—212), заложил основы механики и гидростатики, теории простых машин, изобрел архимедов винт для подачи воды, рычаг и много различных грузоподъемных и военных машин.

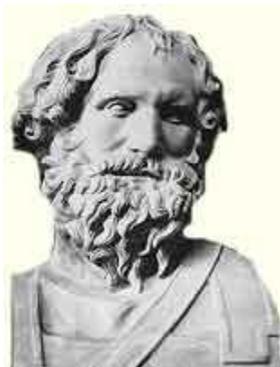


Рисунок 2.

- **Гиппарх** (180—125), создал теорию движения Луны, объяснил видимое движение Солнца и планет, ввел географические координаты.
- **Герон** Александрийский (1 век до н. э.), исследовал подъемные механизмы и приспособления, изобрел автоматические двери, паровую турбину, первым начал создавать программируемые устройства, занимался гидростатикой и оптикой.
- **Птолемей** (100—178 г. н. э.), механик, оптик, астроном, предложил геоцентрическую систему мира, исследовал видимое движение Солнца, Луны и планет.



Рисунок 3.

Дальнейшее развитие наука получила в эпоху возрождения в исследованиях многих европейских ученых.

- **Леонардо да Винчи** (1452—1519), универсальный творческий человек, много занимался теоретической и практической механикой, исследовал механику движений человека и полета птиц.
- **Николай Коперник** (1473—1543), разработал гелиоцентрическую систему мира и опубликовал в работе «Об обращении небесных сфер».
- **Тихо Браге** (1546—1601), оставил точнейшие наблюдения за движением небесных тел, пытался объединить системы Птолемея и Коперника, но в его модели Солнце и Луна вращались вокруг Земли, а все прочие планеты вокруг Солнца.

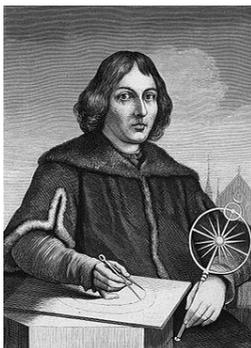


Рисунок 4.

- **Галилео Галилей** (1564—1642), проводил исследования по статике, динамике и механике материалов, изложил важнейшие принципы и законы, которые наметили путь к созданию новой динамики, изобрел телескоп и открыл спутники Марса и Юпитера.

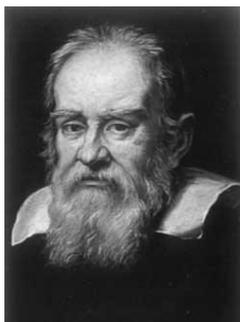


Рисунок 5.

- **Иоганн Кеплер** (1571—1630), предложил законы движения планет и положил начало небесной механике. Открытие законов движения планет были сделаны по результатам обработки таблиц наблюдений астронома Тихо Браге.

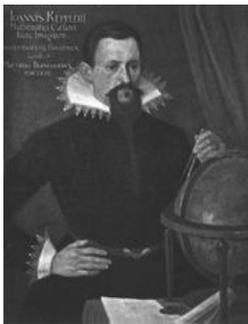


Рисунок 6.

Основоположники аналитической механики

Аналитическая механика была создана трудами представителей почти вплотную следующих друг за другом трех поколений [6].

К 1687 году относится публикация «Математических начал натуральной философии» Ньютона [3; 4]. В год его смерти двадцатилетний Эйлер публикует свою первую работу по применению математического анализа в механике. Многие годы он прожил в Санкт-Петербурге, опубликовал сотни научных работ и этим способствовал становлению Академии Наук России. Через пять лет после Эйлера Лагранж в 52-летнем возрасте публикует «Аналитическую динамику». Пройдет еще 30 лет, и будут опубликованы труды по аналитической динамике трех знаменитых современников: Гамильтона, Остроградского и Якоби. Основное развитие механика получила в исследованиях европейских ученых.

- **Христиан Гюйгенс** (1629—1695), изобрел маятниковые часы, закон о распространении колебаний, разработал волновую теорию света.

- **Роберт Гук** (1635—1703), занимался теорией планетных движений, высказал идею закона всемирного тяготения [9] в своем письме Ньютону, изучал давление воздуха, поверхностное натяжение жидкости, открыл закон деформации упругих тел.



Рисунок 7. Роберт Гук

- **Исаак Ньютон** (1643—1727), создал основы современной теоретической механики, в своем главном труде «Математические начала натуральной философии» [4] обобщил результаты предшественников, дал определения основных понятий и сформулировал основные законы, выполнил обоснование и получил общее решение в задаче двух тел. Перевод с латинского языка на русский язык был выполнен академиком А.Н. Крыловым.

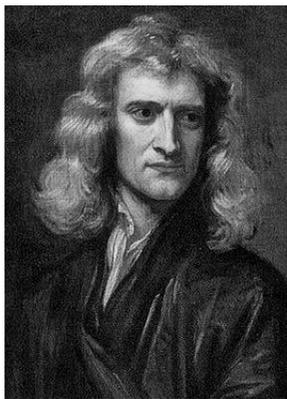


Рисунок 8.

- **Готфрид Лейбниц** (1646—1716), ввел понятие живой силы, сформулировал принцип наименьшего действия, исследовал теорию сопротивления материалов.

- **Иоганн Бернулли** (1667—1748), решил задачу о брахистохроне, разрабатывал теорию ударов, исследовал движение тел в сопротивляющейся среде.

- **Леонард Эйлер** (1707—1783), заложил основы аналитической динамики в книге «Механика или наука о движении в аналитическом изложении», разобрал случай движения тяжелого твердого тела, закрепленного в центре тяжести, является основоположником гидродинамики, развил теорию полета снаряда, ввел понятие силы инерции.



Рисунок 9.

- **Жан Лерон Даламбер** (1717—1783), получил общие правила составления уравнений движения материальных систем, изучал движение планет, установил основные принципы динамики в книге «Трактат о динамике».

- **Жозеф Луи Лагранж** (1736—1813), в своей работе «Аналитическая динамика» предложил принцип возможных перемещений, ввел обобщенные координаты и придал уравнениям движения новую форму, открыл новый случай разрешимости уравнений вращательного движения твердого тела.

Трудами этих ученых было завершено построение основ современной классической механики, положено начало анализу бесконечно малых. Разработан курс механики, который излагался строго аналитическим методом на основе общего математического начала. Этот курс получил название «аналитическая механика». Успехи механики были столь велики, что оказали влияние на философию того времени, которая проявилась в создании «механицизма».

Способствовал развитию механики также интерес астрономов, математиков и физиков [8] к задачам определения движения видимых небесных тел (Луны, планет и комет). Открытия и работы Коперника, Галилея и Кеплера, теория движения Луны Даламбера и Пуассона, пятитомная «Небесная механика» Лапласа и других классиков позволили создать достаточно полную теорию движения в гравитационном поле, давая возможность применения аналитических и численных методов к исследованиям других задач механики. Дальнейшее развитие механики связано с трудами выдающихся ученых своего времени.

- **Пьер Лаплас** (1749—1827), завершил создание небесной механики на основе закона всемирного тяготения, доказал устойчивость Солнечной Системы, разработал теорию приливов и отливов, исследовал движение Луны и определил сжатие земного сфероида, обосновал гипотезу возникновения Солнечной Системы.



Рисунок 10.

- **Жан Батист Фурье** (1768—1830), создал теорию уравнений с частными производными, разработал учение о представлении функций в виде тригонометрических рядов, исследовал принцип виртуальных работ.

- **Карл Гаусс** (1777—1855), великий математик и механик, опубликовал теорию движения небесных тел, установил положение планеты Церера, изучал теорию потенциалов и оптики.

- **Луи Пуансо** (1777—1859), предложил решение в общем виде для задачи о движении тела, ввел понятие эллипсоида инерции, исследовал многие задачи статики и кинематики.

- **Симеон Пуассон** (1781—1840), занимался решением задач по гравитации и электростатике, обобщил теорию упругости и построение уравнений движения на основе принципа живых сил.
- **Михаил Васильевич Остроградский** (1801—1862), великий математик и механик [5; 8], его работы относятся к аналитической механике, теории упругости, небесной механике, гидромеханике, исследовал общие уравнения динамики.
- **Карл Густав Якоби** (1804—1851), предложил новые решения уравнений динамики, разработал общую теорию интегрирования уравнений движения, использовал канонические уравнения механики и уравнения в частных производных.
- **Уильям Роуан Гамильтон** (1805—1865), привел уравнения движения произвольной механической системы к каноническому виду, ввел понятие кватернионов и векторов, установил общий интегральный вариационный принцип механики.

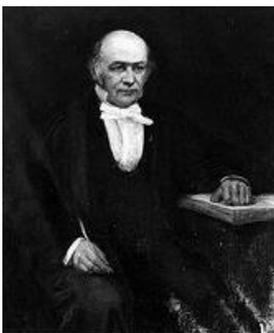


Рисунок 11.

- **Герман Гельмгольц** (1821—1894), дал математическую трактовку закона сохранения энергии, положил начало широкому применению принципа наименьшего действия к электромагнитным и оптическим явлениям.
- **Николай Владимирович Маиевский** (1823—1892), основатель русской научной школы баллистики, создал теорию вращательного движения снаряда, первым начал учитывать сопротивление воздуха.
- **Пафнутий Львович Чебышев** (1821—1894), занимался теорией машин и механизмов, создал паровую машину, центробежный регулятор, шагающий и гребной механизмы.

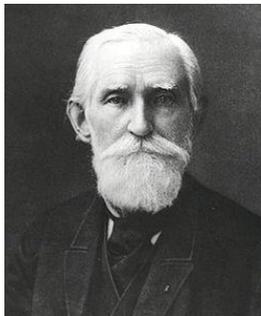


Рисунок 12.

- **Густав Кирхгоф** (1824—1887), изучал деформацию, движение и равновесие упругих тел, работал над логическим построением механики.
- **Софья Васильевна Ковалевская** (1850—1891), занималась теорией вращательного движения тела вокруг неподвижной точки, открыла третий классический случай решения задачи, исследовала задачу Лапласа о равновесии колец Сатурна.
- **Анри Пуанкаре** (1854—1912), опубликовал более 1000 работ по различным научным направлениям, в том числе по небесной механике, теории колебаний, условиям устойчивости [10].



Рисунок 13.

- **Генрих Герц** (1857—1894), основные работы посвящены электродинамике и общим теоремам механики на основе единого принципа.

Современное развитие механики

В двадцатом столетии занимались и сейчас продолжают заниматься решением многих новых задач механики. Особенно активно это было после появления современных вычислительных средств. Прежде всего, это новые сложные проблемы управляемого движения, космической динамики, робототехники, биомеханики, квантовой механики. Можно отметить работы выдающихся ученых, многих научных школ Вузов и исследовательских коллективов России [1; 5; 11].

- **Николай Егорович Жуковский** (1847—1921), основоположник аэродинамики, исследовал движение твердого тела с неподвижной точкой и проблему устойчивости движений, вывел формулу для определения подъемной силы крыла, занимался теорией удара.



Рисунок 14.

- **Александр Михайлович Ляпунов** (1857—1918), основные работы посвящены теории устойчивости равновесия и движения механических систем, основоположник современной теории устойчивости [1; 5; 7].

- **Константин Эдуардович Циолковский** (1857—1935), основоположник современной космонавтики, аэродинамики и ракетодинамики, создал теорию поезда на воздушной подушке и теорию движения одноступенчатых и многоступенчатых ракет.

- **Иван Всеволодович Мещерский** (1859—1935), исследовал движение тел переменной массы, составил сборник задач по механике, который используется и в настоящее время.



Рисунок 15.

- **Алексей Николаевич Крылов** (1863—1945), основные исследования относятся к строительной механике и кораблестроению, непотопляемости судна и его устойчивости, гидромеханике, баллистике, небесной механике, теории реактивного движения, к теории гироскопов и численным методам, перевел на русский язык труды многих классиков науки [4; 5; 9].

- **Сергей Алексеевич Чаплыгин** (1869—1942), основные работы относятся к неголономной механике, гидродинамике, теории авиации и аэродинамики, дал полное решение задачи о воздействии воздушного потока на обтекаемое тело.

- **Альберт Эйнштейн** (1879—1955), сформулировал специальную и общую теорию относительности, создал новую систему пространственно–временных отношений и показал, что тяготение является выражением неоднородности пространства и времени, которая производится присутствием материи.

- **Александр Александрович Фридман** (1888—1925), создал модель нестационарной вселенной, где он предсказал возможность расширения Вселенной.

- **Николай Гурьевич Четаев** (1902—1959) исследовал свойства возмущённых движений механических систем, вопросы устойчивости движения, доказал основные теоремы о неустойчивости равновесия.



Рисунок 16.

• **Лев Семенович Понтрягин** (1908—1988) исследовал теорию колебаний, вариационное исчисление, теорию управления, создатель математической теории оптимальных процессов.

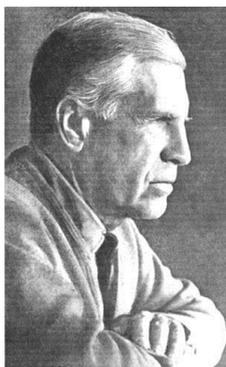


Рисунок 17.

Возможно, что еще в древние времена [2; 5; 11] и последующие периоды существовали центры знания, научные школы и направления исследования науки и культуры народов или цивилизаций: арабские, китайские или индийские в Азии, народа майя в Америке, где появлялись достижения, но европейские философские и научные школы развивались особым образом, не всегда обращая внимание на открытия или теории других исследователей. В разные времена для общения использовали языки латинский, немецкий, французский, английский... Нужны были точные переводы доступных текстов

и общие обозначения в формулах. Это затрудняло, но не останавливало развития.

Современная наука пытается изучать **единый комплекс** всего существующего, который проявляется столь многообразно в окружающем нас мире. К настоящему времени сформировалось много научных направлений, течений, методов и возможностей исследований. При изучении классической механики традиционно выделяют в качестве основных разделов кинематику, статику и динамику. Самостоятельным разделом или наукой сформировались небесная механика [8], как часть теоретической астрономии, а также квантовая механика [7].

Основные задачи динамики состоят в определении движения системы тел по известным учитываемым действующим силам или в определении сил по известному закону движения. **Управление** в задачах динамики предполагает [6], что есть возможность изменения для условий реализации процесса движения по нашему собственному выбору параметров или функций, которые определяют процесс или входят в уравнения движения, в соответствии с заданными требованиями, пожеланиями или критериями.

**Аналитическая, Теоретическая, Классическая, Прикладная,
Рациональная, Управляемая, Небесная, Квантовая...
Это все Механика в различных изложениях!**

Список литературы:

1. Алешков Ю.З. Замечательные работы по прикладной математике. СПб.: Изд. СПбГУ, 2004. — 309 с.
2. Богомолов А.Н. Математики механики. Биографический справочник. Киев: Изд. Наукова думка, 1983. — 639 с.
3. Вавилов С.И. Исаак Ньютон. 4-е изд., доп. М.: Наука, 1989. — 271 с.
4. Крылов А.Н. Исаак Ньютон: Математические начала натуральной философии. Перевод с латинского с примечаниями и пояснениями флота генерал-лейтенанта А.Н. Крылова. // Известия Николаевской Морской Академии (Вып. 4), Петроград. Книга 1. 1915. 276 с., Книга 2. 1916. (Вып. 5). 344 с. или в кн.: А.Н. Крылов. Собрание Трудов. М.-Л. Изд-во АН СССР. Т. 7. 1936. 696 с. или в серии «Классики науки»: И. Ньютон. Математические начала натуральной философии. Перевод с лат. И комментарии А.Н. Крылова. М.: Наука. 1989. — 687 с.
5. Люди русской науки // Очерки о выдающихся деятелях естествознания и техника. (Математика. Механика. Астрономия. Физика. Химия). Сборник статей под ред. И.В. Кузнецова. М.: Физматлит, 1961. 600 с.
6. Новоселов В.С., Королев В.С. Аналитическая механика управляемой системы. СПб.: Изд. СПбГУ, 2005. 298 с.

7. Новоселов В.С. Квантовая механика и статистическая физика. СПб.: Изд. ВВМ, 2012. 182 с.
8. Поляхова Е.Н. Классическая небесная механика в работах Петербургской школы математики и механики в XIX веке. СПб.: Изд. Нестор-История, 2012. 140 с.
9. Поляхова Е.Н., Королев В.С., Холшевников К.В. Переводы трудов классиков науки академиком А.Н. Крыловым. «Естественные и математические науки в современном мире» № 2(26). Новосибирск: Изд. СибАК, 2015. С. 108—128.
10. Пуанкаре А. О науке. Пер. с фр. под ред. Л.С. Понтрягина. М.: Наука, 1990. 736 с.
11. Тюлина И.А., Чиненова В.Н. История механики сквозь призму развития идей, принципов и гипотез. М.: URSS (Либроком), 2012. 252 с.

2.4. ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

ВЛИЯНИЕ ЧАСТОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ПОЛЯРИЗУЕМОСТЬ НАНОЧАСТИЦ АЛМАЗА В ВОДЕ

Войтылов Алексей Владиславович

канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник
Санкт-Петербургского Государственного Университета,
РФ, г. Санкт-Петербург
E-mail: voivv@mail.ru

Петров Михаил Павлович

канд. физ.-мат. наук, старший преподаватель
Санкт-Петербургского Государственного Университета,
РФ, г. Санкт-Петербург
E-mail: mihaeles@list.ru

Трусов Анатолий Анатольевич

д-р физ.-мат. наук, профессор
Санкт-Петербургского Государственного Университета,
РФ, г. Санкт-Петербург
E-mail: trusov@mail.ru

Войтылов Владислав Викторович

д-р физ.-мат. наук, профессор
Санкт-Петербургского Государственного Университета,
РФ, г. Санкт-Петербург
E-mail: vojtylov@gmail.com

Клемешев Сергей Алексеевич

старший инженер
Санкт-Петербургского Государственного Университета,
РФ, г. Санкт-Петербург
E-mail: s_alexeevich@mail.ru

FREQUENCY INFLUENCE OF ELECTRIC FIELD ON POLARIZABILITY OF DIAMOND NANOPARTICLES IN WATER

Alexey Voitylov

*candidate of science, senior researcher
at Saint Petersburg State University,
Russia, Saint-Petersburg*

Mikhail Petrov

*candidate of science, senior teacher
at Saint Petersburg State University,
Russia, Saint-Petersburg*

Anatoly Trusov

*doctor of science, professor at Saint Petersburg State University,
Russia, Saint-Petersburg*

Vladislav Vojtylov

*doctor of science, professor at Saint Petersburg State University,
Russia, Saint-Petersburg*

Sergey Klemeshev

*senior engineer at Saint Petersburg State University,
Russia, Saint-Petersburg*

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта СПбГУ «Самоорганизующиеся многокомпонентные структуры в растворах и расплавах», 11.38.267.2014 и технической поддержке МРЦ СПбГУ.

Авторы выражают благодарность Калганову В.Д. и Волковой А.В. за помощь в электронно-микроскопических и электрофоретических измерениях.

АННОТАЦИЯ

В настоящей работе были исследована поляризуемость частиц алмаза (100—1000 нм) в водных взвесьях. Экспериментально исследовано влияние частоты внешнего электрического поля на величину электрооптического эффекта в диапазоне до 4 МГц. Получены дисперсионные зависимости анизотропии поляризуемости наночастиц алмаза. Аналогичные зависимости рассчитаны теоретически

и сопоставлены с результатами эксперимента. Расчитанные и измеренные дисперсионные кривые анизотропии поляризуемости наночастиц алмаза согласуются в области частот выше 1 кГц.

ABSTRACT

Polarizability of diamond nanoparticles (100—1000 nm) suspended in water was studied. Frequency dependence of electro-optical effect of diamond suspensions was measured in range up to 4 MHz. It was used to plot the dispersion curve of polarizability anisotropy. The dispersion curve of polarizability anisotropy was also calculated theoretically. The comparison of experimental and theoretical curves was made. It was shown that these curves are in a good agreement in range upper 1 kHz .

Ключевые слова: частицы алмаза; водный коллоид; электро-оптический эффект; поляризуемость частиц; дисперсия поляризуемости.

Keywords: Diamond particles; aqueous colloid; Electro-optical effect; particle polarizability; polarizability dispersion.

Введение

Данная работа является продолжением ранее начатых электрооптических исследований нанодисперсных систем алмаза, содержащих частицы неправильной формы в области размеров от нескольких десятков до тысячи и более нанометров взвешенных в водной среде [1]. Интерес к таким системам продиктован широким их использованием в ряде технологий и их необычными свойствами, которые проявляются в образовании структур из частиц алмаза. На характер взаимодействия между частицами влияют их поверхностный электрический заряд, а также постоянная и наведенная поляризация. Цель данной работы проанализировать в какой степени существующая теория поляризуемости коллоидных частиц, обладающих двойным электрическим слоем применима к определению поляризуемости коллоидной частицы алмаза в воде. Частично такая проверка проводилась при частотах в несколько килогерц [8], когда диффузная часть двойного электрического слоя частиц в основном и определяет их поляризуемость. В данном исследовании рассмотрено влияние частоты поля приложенного к частице на её поляризуемость в более широкой области частот.

Исследованная система и её свойства

Выбранная для исследования система содержала частицы, взвешенные в водном электролите, форма которых напоминала гранитный щебень. Электронно-микроскопические снимки показали,

что в процессе подготовки проб частицы при высыхании капле системы на кварцевой подложке образуются структуры кластерного типа. Один из таких снимков представлен на рис. 1.

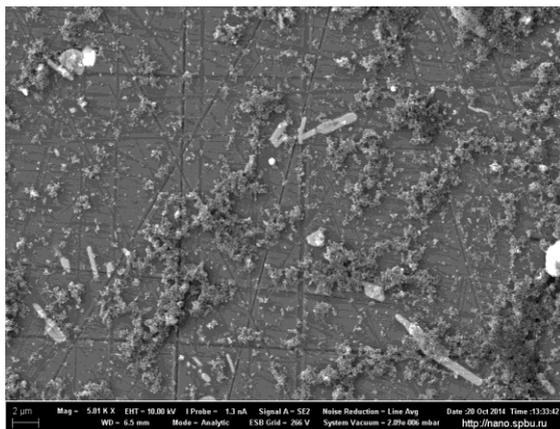


Рисунок 1. Электронно-микроскопический снимок высохшей капли с частицами алмаза

Образование таких структур в коллоиде мешало бы исследованию поляризуемости отдельных частиц. Для исследования приготавливались сильно разбавленные системы, агрегаты из частиц в которых разбивались периодическим взбалтыванием и ультразвуковой обработкой, а мелкие частицы из дисперсной фазы убирались центрифугированием. Среднее расстояние между частицами более чем на десятичный порядок превышало их размеры. Счетная концентрация частиц в исследованных системах варьировалась в пределах 10^9 – 10^{10} см⁻³. По электронно-микроскопическим снимкам можно определить их распределение по размерам, понимая под размерами частиц их радиусы r . Полагаем, что r — это радиус круга, имеющего ту же площадь, что и проекция частицы на подложку. Гистограмма распределения частиц по размерам r представлена на рис. 2.

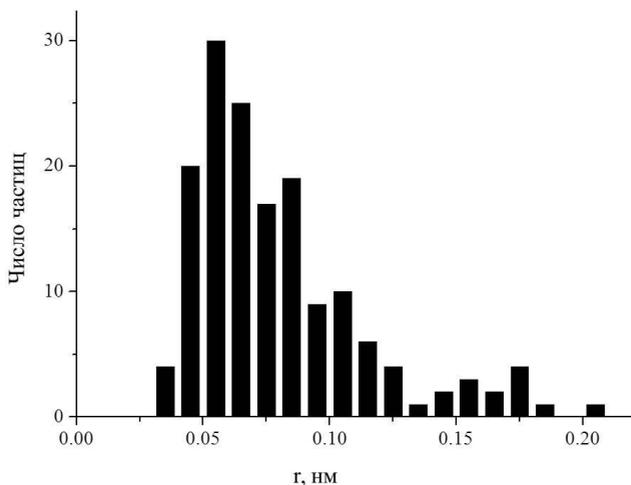


Рисунок 2. Плотность распределения частиц по их радиусам

Частицы алмаза не обладают внутренней анизотропией, и направлению их наибольшей поляризуемости будет отвечать направление их максимального размера. Обозначим половину этого размера a , а половину среднего размера в перпендикулярном направлении b . Будем полагать, что поляризуемость и вязкое трение частицы алмаза в воде близка к поляризуемости и вязкому трению сфероида с полуосями a и b . Отношение полуосей частиц $p = a/b$ можно оценить из их снимков. Как для более крупных, так и для более мелких частиц, исследованных нами, $1.1 < p < 2$, а среднее значение этого отношения $\langle p \rangle = 1.5$. При получении коллоидов использована дистиллированная вода, но для получения среды, в которой основной состав ионов известен приготавливался раствор с концентрацией в нем $KCl \ 3 \cdot 10^{-5}$ Моль/л. Для исследованных взвесей алмаза электропроводность и кислотность составляли $K = 10 \text{ МОм}^{-1}\text{см}^{-1}$ и $pH = 6.09$. Эти характеристики коллоидов оставались прежними при варьировании концентрации частиц. Такие системы не меняли оптических и электрооптических свойств в течение недели и более. Электрофоретическая подвижность частиц в системах составляла $2.58 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2\text{В/с}$, а рассчитанный по ней, согласно теории Гельмгольца-Смолуховского, электрокинетический потенциал $\xi = 36,4 \text{ мВ}$.

Техника и методика эксперимента

В данных исследованиях мы ограничились измерениями зависимостей консервативного дихроизма от величины и частоты вызывающего его поля. Так как для экспериментов такого типа серийной аппаратуры не имеется, была создана экспериментальная установка, в которой узкий пучок неполяризованного света проходил между плоскопараллельными электродами ячейки Керра, заполненной исследуемым коллоидом. Прошедший пучок света разбивался на два, первый из них линейно поляризован вдоль напряженности поля между электродами ячейки, а второй ортогонально ей. Интенсивности J_{\parallel} и J_{\perp} первого и второго пучков, соответственно, регистрировались и сравнивались. При отсутствии поля в ячейке они равны, однако если в рассеивающей свет системе полем создать упорядоченную ориентацию частиц, то прошедший свет становится частично поляризованным, и интенсивности J_{\parallel} и J_{\perp} различаются, если размеры частиц соизмеримы с длинами волн падающего света. В системе с частицами, не обладающими анизотропией поглощения, наблюдается консервативный дихроизм в электрическом поле [4]. Величину N дихроизма можно определить как произведение разности констант мутности для пучков света, выделенных поляризаций, на длину используемой ячейки Керра. В результате

$$N = \ln(J_{\perp} / J_{\parallel}). \quad (1)$$

Если частицы слабо ориентированы полем, то справедливо соотношение [8]

$$N = N_{\max} \frac{4\pi \varepsilon_m}{15kT} \langle \gamma \rangle E^2, \quad (2)$$

где: N_{\max} — значение N при полной ориентации всех частиц вдоль поля;

E — напряженность поля в ячейке;

kT — тепловая энергия;

ε_m — диэлектрическая проницаемость дисперсионной среды.

При определении средней анизотропии поляризуемости частиц $\langle \gamma \rangle$, входящей в (2), необходимо учитывать функцию распределения частиц с дихроическим весом [7]. А именно,

$$\langle \gamma \rangle = \int_{r_{\min}}^{r_{\max}} \gamma f(r) dr. \quad (3)$$

Здесь: γ — анизотропия поляризуемости отдельной частицы; $f(r) = \Delta K \cdot \phi(r)$; ΔK — дихроический вес частиц; $\phi(r)$ — плотность их распределения по r . Функция $f(r)$ распределения частиц с дихроическим весом может быть определена при изучении зависимостей эффекта N от времени, созданного в ячейке слабыми бисинусоидальными полями [9], либо сильными полями коротких импульсов [5]. Нормировка $f(r)$ определяется соотношением

$$\int_{r_{\min}}^{r_{\max}} f(r) dr = 1.$$

Неизменность функции $f(r)$ может служить критерием того, что система не коагулирует в процессе исследований.

Поляризуемость частиц, элементы теории

Теория поляризуемости коллоидной частицы учитывает образование её диполя в поле как за счёт поляризации вещества частицы, так и прилегающего к ней двойного электрического слоя [6]. Здесь представлены основные соотношения для сферической и внутренне изотропной частицы. Тензор поляризуемости такой частицы в ее собственной системе координат, связанной с полуосями сфероида, имеет две компоненты γ_{\parallel} и γ_{\perp} , отвечающие поляризуемости частиц вдоль полуосей a и b , соответственно. Компоненты γ_{\parallel} и γ_{\perp} учитывают фазовую задержку между полем и поляризацией частиц в рамках теорий Максвелл-Вагнера и α -дисперсии и могут быть представлены в комплексном виде. Входящая в (3) анизотропия поляризуемости γ определяется разностью

$$\gamma = \text{Re}(\gamma_{\parallel}) - \text{Re}(\gamma_{\perp}).$$

Обобщенные формулы, учитывающие влияние круговой частоты поля $\omega = 2\pi\nu$ на поляризуемость, имеют вид [6]

$$\gamma_{\parallel, \perp} = \gamma_{\parallel, \perp}^{(\infty)} + (\gamma_{\parallel, \perp}^{(i)} - \gamma_{\parallel, \perp}^{(\infty)})F(\omega, \tau_{MW\parallel, \perp}) + (\gamma_{\parallel, \perp}^{(0)} - \gamma_{\parallel, \perp}^{(i)})F(\omega, \tau_{\alpha\parallel, \perp}), \quad (4)$$

где
$$\chi_{\parallel,\perp}^{(0,i,\infty)} = \frac{ab^2}{3} \frac{\chi_{\parallel,\perp}^{(0,i,\infty)} - 1}{1 + (\chi_{\parallel,\perp}^{(0,i,\infty)} - 1) \cdot A_{\parallel,\perp}}$$

и при $a > b$,

$$A_{\parallel} = \frac{ab^2}{h^3} \left[\operatorname{arctanh} \frac{h}{a} - \frac{h}{a} \right], \quad A_{\perp} = (1 - A_{\parallel}) / 2, \quad h = \sqrt{a^2 - b^2}.$$

Параметры $\chi_{\parallel,\perp}^{(0,i,\infty)}$ для разных составляющих элементов тензора поляризуемости определяется, соответственно, диэлектрическими проницаемостями частиц и дисперсионной среды ε_p и ε_m , значениями их электропроводности K_p и K_m и поверхностной проводимости K^σ .

Они равны: $\chi_{\parallel,\perp}^{(\infty)} = \frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_m}$ в случае $\gamma_{\parallel,\perp}^{(\infty)}$; $\chi_{\parallel,\perp}^{(0)} = \frac{K_p}{K_m}$ в случае $\gamma_{\parallel,\perp}^{(0)}$;

$\chi_{\parallel,\perp}^{(i)} = \frac{K_p + f_{\parallel,\perp} \cdot K^\sigma}{K_m}$ в случае $\gamma_{\parallel,\perp}^{(i)}$. Коэффициенты f_{\parallel} и f_{\perp} зависят

только от размеров частиц и равны

$$f_{\parallel} = \frac{3a}{2bh} \left[\frac{a^2 - 2b^2}{h^2} \arctan \frac{h}{b} + \frac{b}{h} \right], \quad f_{\perp} = \frac{3a}{2bh} \left[\frac{a^2}{2h^2} \operatorname{arccot} \frac{b}{h} + \frac{b(a^2 - 2b^2)}{2a^2 h} \right].$$

Множители $F(\omega, \tau)$ во втором и третьем слагаемых (4) в случае синусоидального поля определяется соотношением

$$F(\omega, \tau) = \frac{1}{1 + i\omega\tau}, \quad (5)$$

в котором характерное время релаксации τ в разных областях дисперсии различное. В области Максвелл-Вагнеровской дисперсии оно определяется соотношением

$$\tau_{MW \parallel,\perp} = \varepsilon_0 \frac{\varepsilon_m + (\varepsilon_p - \varepsilon_m) \cdot A_{\parallel,\perp}}{K_m + (K_p - K_m) \cdot A_{\parallel,\perp}}.$$

В области α -дисперсии для оценки $\tau_{\alpha||, \perp}$ достаточно $\tau_{MW ||, \perp}$ умножить на квадрат отношения размера частицы к толщине дебаевского радиуса экранирования её двойного электрического слоя [2], который может быть рассчитан для заданного электролита. Формулы для строгого определения времени релаксации $\tau_{\alpha||, \perp}$ поляризуемости в области α -дисперсии приведены в работе [6]. Если к коллоиду приложено поле, не имеющее форму синуса, то входящие в (4) множители $F(\omega, \tau)$ не определяются соотношением (5). Однако, используя Фурье преобразование его нетрудно определить, и в случае использования импульсов прямоугольной формы $F(\omega, \tau)$ можно записать в виде

$$F(\omega, \tau) = 1 - \frac{4i\omega\tau}{\pi^2} \left(\int_0^1 \frac{1-x \frac{i+\omega\tau}{2\omega\tau}}{1-x} dx + \ln(4) \right). \quad (6)$$

Данные формулы были использованы для расчета анизотропии поляризуемости частиц алмаза в водном растворе KCl , приготовленном для экспериментальных исследований. Рассмотрено влияние частоты поля ν на анизотропию поляризуемости в полях синусоидальной и прямоугольной формы. Для малых средних и больших частиц алмаза, вносящих вклад в наблюдаемый электрооптический эффект, дисперсионные зависимости $\gamma(\nu)$ в случае синусоидального поля представлены на рис. 3.

Как видно из рисунка дисперсионные зависимости содержат максимум и минимум. Согласно теории, в области частот нескольких десятков герц, как вещество, так и двойной электрический слой частиц поляризованы, а действующее на частицу поле частично экранировано диффузионным слоем частиц. Повышение частоты внешнего поля снижает экранирование и $\gamma(\nu)$ достигает максимального значения. При дальнейшем повышении частоты поляризация двойного слоя уменьшается, зависимость $\gamma(\nu)$ спадает, начиная с частот $\sim (0,1-1)$ МГц она полностью отсутствует. В этой области наблюдается Максвелл-Вагнеровская дисперсия поляризуемости и зависимость $\gamma(\nu)$ проходит через минимум. Как видно из рисунка, линейная зависимость поляризуемости частиц от их объема наблюдается только при частотах выше нескольких мегагерц, а при более низких частотах — сублинейная зависимость. В случае полей прямоугольной формы,

максимум, зависимости $\gamma(\nu)$ менее выражен и при повышении электропроводности дисперсионной среды он практически исчезает.

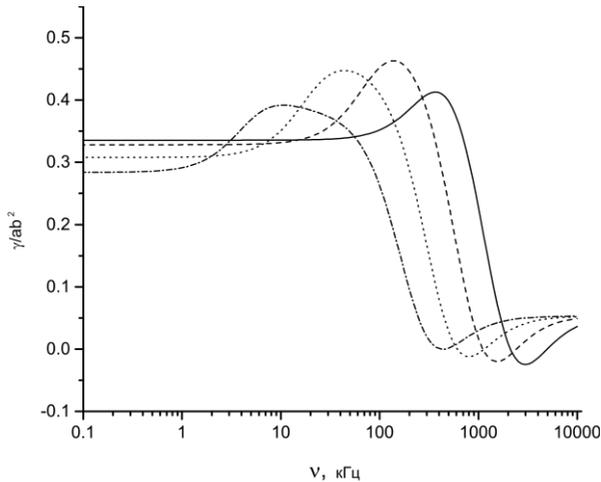


Рисунок 3. Дисперсионные зависимости рассчитанные при $a = 50$ (сплошная линия), 100 (пунктир), 200 (точки) и 400 (штрих-пунктир) нм $p = 1.5$

Экспериментальные результаты

Были исследованы зависимости $\langle \gamma \rangle$ от частоты поля ν . Электрооптический эффект создавался полями прямоугольной формы (меандр) в области частот от 5 Гц до 4 МГц (при использовании синусоидальных полей в области частот в несколько Гц интерпретация экспериментальных данных затруднительна). Рассчитанная и экспериментально определенная зависимости $\langle \gamma \rangle$ от ν представлены на рис. 4.

Для построения экспериментальной зависимости $\langle \gamma \rangle$ от ν измерялись зависимости $N(\nu)$ в области полей $E < 100$ В/см, для которых N меняется пропорционально E^2 . Необходимые для определения $\langle \gamma \rangle$ значения N_{\max} , входящие в соотношение (2), определялись при использовании полей $E > 1500$ В/с. Они определялись в области частот $\nu > 100$ Гц и были пропорциональны концентрации частиц. Для расчета зависимости $\langle \gamma \rangle$ от ν использовались соотношения (3) и (6). Они позволяют рассчитать

аналогичную зависимость при использовании выше упомянутой теории поляризуемости коллоидной частицы. Необходимая для расчетов функция распределения $f(r)$ определялась как методом коротких импульсов [5], так и бисинусоидального поля [9]. Результаты её определения обоими методами совпадают.

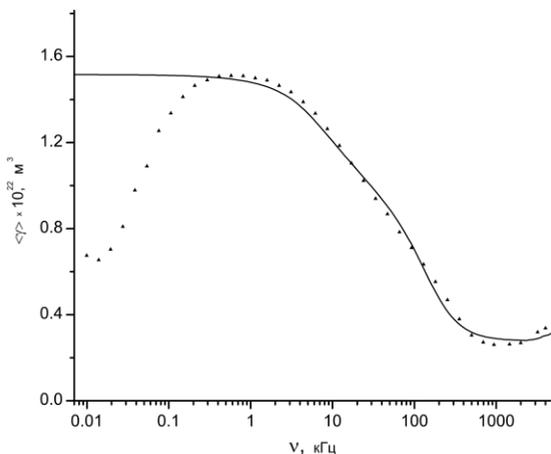


Рисунок 4. Дисперсионные зависимости $\langle \gamma \rangle$, экспериментально определенная (точки) и теоретически рассчитанная (сплошная линия)

Представленная на рис. 4 теоретическая зависимость рассчитана при поверхностной проводимости частиц $K^\sigma = 3.6 \cdot 10^{-11} \text{ Ом}^{-1}$. Как видно из рисунка теоретическая и экспериментальная зависимости $\langle \gamma \rangle$ от ν совпадают при частотах в 1 кГц и более. При понижении частоты, в области $\nu < 1 \text{ кГц}$, экспериментально определенные значения $\langle \gamma \rangle$ существенно понижаются, проходят через минимум и начинают снова возрастать при $\nu < 10 \text{ Гц}$. Значения $\langle \gamma \rangle$, рассчитанные согласно теории, остаются практически без изменения в этой области частот. Различие зависимостей $\langle \gamma \rangle$ от ν в области низких частот, полученных электрооптическими методами и теоретически рассчитанных, может быть связано с несколькими причинами. К ним можно отнести частичную поляризацию электродов и снижение величины действующего на частицы поля, а также влиянием постоянного дипольного момента частиц в поляризованных средах на их ориентацию [3].

Заключение

Проведенные исследования водного коллоида алмаза позволяют заключить, что поляризуемость частиц алмаза хорошо описывается использованной теорией в области частот более 1 кГц , а дисперсионные зависимости электрооптического эффекта вполне пригодны для определения поверхностной проводимости частиц алмаза в водных электролитах.

Список литературы:

1. Войтылов А.В., Петров М.П., Трусов А.А., Войтылов В.В., Клемешев С.А. Оптические и электрооптические свойства взвесей наночастиц алмаза / Технические науки от теории к практике — Сб. ст. по материалам XXXII междунар. науч.-практ. конф.. Новосибирск: Изд. «СибАК», — 2014. — № 3(28) — С. 148—162.
2. Стоилов С.П., Шилов В.Н., Духин С.С., Соколов С., Петканчин В. Электрооптика коллоидов. / Киев. «Наукова Думка» — 1977. — 200 с.
3. Толстой Н.А., Спартакос А.А. Электрооптика и магнитооптика дисперсных систем. / СПб: Изд-во СПбГУ. — 1996. — 244 с.
4. Heller W. Anisotropic Light Scattering of Streaming Suspensions and Solutions // Rev. Mod. Phys. — 1959. — Vol. 31, — № 4. — P. 1072—1077.
5. Klemeshev S.A., Petrov M.P., Trusov A.A., Voitylov A.V. // Journal of Physics: Condensed Matter. 2010. — Vol. 22, — № 49. — P. 494106_1-10.
6. Shilov V.N., Borkovskaia Yu.B., Budankova S.N. Thin Double Layer Theory of the Wide-Frequency Range Dispersion of the Polarizability of Nonconducting Spheroidal Particles / Chap.2 in “Molecular and Colloidal Electro-Optics”, chap.2, CRC Taylor & Francis. — 2007. — Vol. 134. — P. 39—57.
7. Spartakov A.A., Trusov A.V., Voitylov A.V., Vojtylov V.V. Electro-optics of polydisperse colloids. // Chap.7. in “Molecular and Colloidal Electro-Optics”, ed. By Stoylov S. and Stoimenova M., London, N.Y.: CRC Press. — 2006. — P. 193—227.
8. Trusov A.A., Vojtylov V.V. Electrooptics and conductometry of polydisperse systems. / CRC Press, Boca Raton, London, Tokyo, — 1993. — 145 p.
9. Vojtylov V., T. Zernova, A. Spartakov, A. Trusov, and A. Voitylov Determination of distribution of colloidal particles on their parameters in electro-optical investigation // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. — 2002. — Vol. 209, — № 2. — P. 123—129.

**АВТОМАТИЗАЦИЯ МЕТОДА СЛАБЫХ
СИНУСОИДАЛЬНЫХ ПОЛЕЙ С СИНУСОИДАЛЬНОЙ
МОДУЛЯЦИЕЙ АМПЛИТУДЫ
ДЛЯ ЭЛЕКТРО-ОПТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ**

Войтылов Алексей Владиславович

канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник
Санкт-Петербургского Государственного Университета,
РФ, г. Санкт-Петербург
E-mail: voivv@mail.ru

Петров Михаил Павлович

канд. физ.-мат. наук, старший преподаватель
Санкт-Петербургского Государственного Университета,
РФ, г. Санкт-Петербург
E-mail: mihaeles@list.ru

Трусов Анатолий Анатольевич

д-р физ.-мат. наук, зав. каф.молекулярной биофизики
Санкт-Петербургского Государственного Университета,
РФ, г. Санкт-Петербург
E-mail: trusov@mail.ru

Войтылов Владислав Викторович

д-р физ.-мат. наук, профессор
Санкт-Петербургского Государственного Университета,
РФ, г. Санкт-Петербург
E-mail: vojtylov@gmail.com

Клемешев Сергей Алексеевич

инженер
Санкт-Петербургского Государственного Университета,
РФ, г. Санкт-Петербург
E-mail: s_alexeevich@mail.ru

AUTOMATION OF WEAK SINE SHAPED SINE MODULATED FIELDS TECHNIQUE OF ELECTO-OPTICAL STUDY OF DISPERSE SYSTEMS

Alexey Voitylov

*candidate of science, senior researcher at Saint Petersburg State University,
Russia, Saint-Petersburg*

Mikhail Petrov

*candidate of science, senior lecturer at Saint Petersburg State University,
Russia, Saint-Petersburg*

Anatoly Trusov

*doctor of science, professor at Saint Petersburg State University,
Russia, Saint-Petersburg*

Vladislav Vojtylov

*doctor of science, professor at Saint Petersburg State University,
Russia, Saint-Petersburg*

Sergey Klemeshev

*engineer at Saint Petersburg State University,
Russia, Saint-Petersburg*

АННОТАЦИЯ

В настоящей работе разработаны методики обработки экспериментальных данных электрооптического метода исследования дисперсных систем с применением синусоидальных электрических полей с синусоидальной модуляцией. Показано, что применение разработанных автоматизированных методик позволяет определять размеры частиц в дисперсной фазе этим методом даже в случае наличия в исследуемом растворе частиц разного размера. Представленные экспериментальные результаты исследования водного коллоида алмаза этим методом подтверждают надежность разработанных алгоритмов.

ABSTRACT

In this paper we present the development of an algorithm of experimental data processing of electro-optical method of study of disperse systems using sine-shaped sine-modulated electric fields. It is shown that the use of robust automated techniques allows to determine size of particles

in disperse medium using this method even in the case of disperse systems with particles of different sizes. The presented experimental results of study of aqueous colloid of diamond confirm the robustness of the developed algorithms.

Ключевые слова: электрооптический эффект; распределение по размерам; частицы алмаза;

Keywords: Electro-optical effect; distribution of particle sizes; Diamond particles

Введение

Электрооптические методы используются для исследования дисперсных систем с размерами частиц от нескольких нанометров до нескольких микрон [7]. В отличие от широко распространенного метода динамического светорассеяния [2], с помощью электрооптических методов можно получать не только значения размеров частиц в дисперсной фазе, но и информацию, характеризующую поверхностные свойства частиц, например, значения анизотропии поляризуемости и поверхностной проводимости. Разработанные методы обработки экспериментальных данных электрооптических эффектов [1] позволяют определять не только средние значения размеров и анизотропии поляризуемости, но и функции распределения по ним частиц в дисперсной фазе. В том случае, если исследуемая система допускает приложение электрических полей большой величины (например, не является электропроводной) и исследовательская аппаратура допускает создание насыщенной ориентации частиц, можно применять метод коротких импульсов [3; 4] или исследовать стационарные электрооптические эффекты для определения распределений частиц по размерам и анизотропии поляризуемости. В случае, если исследуемая система является электропроводной или не допускает создание насыщенной ориентации частиц, можно использовать электрооптические эффекты в слабых полях [5] для определения размеров частиц в исследуемой системе и функции распределения частиц в системе по размерам.

В данной работе авторы развивают методику обработки экспериментальных данных электрооптического метода исследования дисперсных систем с применением синусоидальных электрических полей с синусоидальной модуляцией для автоматизации эксперимента и надежного определения дисперсионных зависимостей электрооптического эффекта. Такой подход позволит более точно определять функцию распределения частиц по размерам, а значит исследовать

динамику дисперсных систем, состоящих из нескольких фракций, и механизмы агрегации коллоидных частиц.

Электро-оптические эффекты в слабых синусоидальных полях с синусоидальной модуляцией

Метод исследования электро-оптических эффектов в слабых электрических полях ($\gamma E_0^2 / kT \ll 1$) вида

$$E = E_0 \sin(\Omega t) \sin(\omega t) \quad (1)$$

предполагает получение дисперсионной зависимости электро-оптического эффекта N , варьируя частоту приложенного к системе электрического поля ω и оставляя Ω постоянной. Теоретическая зависимость Φ , описывающая электрооптический эффект в поле такого вида для частиц с заданным размером r и константой вращательной диффузии $D = kT / 8\pi\eta r^3$, получена в работе [5]:

$$\Phi(\omega, D) = \frac{\gamma E_0^2}{60kT} \left[\left(1 + \left(\frac{\omega}{3D} \right)^2 \right)^{-1/2} \sin \left(2\omega t + \arctan \left(\frac{3D}{\omega} \right) \right) + 1 \right]. \quad (2)$$

В том случае, если в исследуемом растворе присутствуют частицы разного размера, экспериментальную дисперсионную зависимость $N(\omega)$ можно связать с $\Phi(\omega, D)$ в (2) следующим выражением

$$N(\omega) = \int_{D_a}^{D_b} \Phi(\omega, D) f(D) dD, \quad (3)$$

где: $f(D)$ — функция распределения частиц в исследуемом растворе по константам вращательной диффузии с дихроическим весом [7],

D_a, D_b — минимальное и максимальное значение константы вращательной диффузии частиц в исследуемом растворе. Подставляя (2) в (3), можно получить следующую формулу:

$$N(\omega, t) = N_0 + N_s(\omega) \sin(2\omega t) + N_c(\omega) \cos(2\omega t), \quad (4)$$

где

$$N_0 = \frac{E_0^2}{60kT} \int_{D_a}^{D_b} \gamma f(D) dD, \quad (5)$$

$$N_s(\omega) = \frac{E_0^2}{60kT} \int_{D_a}^{D_b} \frac{\omega}{3D} \left(1 + \frac{\omega^2}{9D^2}\right)^{-1} \cdot \gamma f(D) dD, \quad (6)$$

$$N_c(\omega) = \frac{E_0^2}{60kT} \int_{D_a}^{D_b} \left(1 + \frac{\omega^2}{9D^2}\right)^{-1} \cdot \gamma f(D) dD. \quad (7)$$

Таким образом, определяя $N_s(\omega)$ или $N_c(\omega)$ из $N(\omega, t)$, а затем решая уравнение (7) или (8) относительно $f(D)$ можно определить функцию распределения частиц в исследуемом растворе по константам вращательной диффузии D , а значит и по размерам r .

Автоматизированный метод обработки экспериментальных данных

Процедура экспериментального определения $N_s(\omega)$ и $N_c(\omega)$ с помощью традиционных методик (например, с помощью фигур Лиссажу на экране осциллографа) трудоемка, так как требуется определять значения N_s и N_c для целого набора частот. Поскольку уравнения (6), (7) — уравнения Фредгольма I рода, решение которых относится к классу некорректных задач, определение $N_s(\omega)$ и $N_c(\omega)$ требуется проводить с максимально возможной точностью. Применять метод Фурье анализа для получения $N_s(\omega)$ или $N_c(\omega)$ из $N(\omega)$ затруднительно, поскольку за время измерения исследуемого эффекта система может измениться (например, вследствие коагуляции частиц). Поэтому для определения зависимостей $N_s(\omega)$ и $N_c(\omega)$ разработана методика обработки экспериментальных данных на основе метода наименьших квадратов.

Для численного определения N_0 , $N_s(\omega_i)$ и $N_c(\omega_i)$ из экспериментальной зависимости установившегося электрооптического эффекта от времени $N(\omega, t)$, измеренной в моменты времени $\{t_j\}_{j=1}^J$, составляется функционал

$$\Phi(N_0, N_s(\omega_i), N_c(\omega_i)) = \sum_{j=1}^J (N_0 + N_s(\omega_i) \sin(2\omega_i t_j) + N_c(\omega_i) \cos(2\omega_i t_j) - N(\omega_i, t_j))^2,$$

необходимое условие минимума которого

$$\frac{\partial \Phi}{\partial N_k} = 0, \quad k \in \{0, s, c\}. \quad (8)$$

Уравнение (8) может быть записано в виде

$$\begin{pmatrix} J & \alpha & \beta \\ \alpha & \gamma & \varepsilon \\ \beta & \varepsilon & \delta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} N_0 \\ N_s \\ N_c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_0 \\ A_1 \\ A_2 \end{pmatrix}, \quad (9)$$

где $\alpha = \sum_{j=1}^J \sin(2\omega_i t_j)$, $\beta = \sum_{j=1}^J \cos(2\omega_i t_j)$, $\gamma = \sum_{j=1}^J \sin^2(2\omega_i t_j)$,
 $\delta = \sum_{j=1}^J \cos^2(2\omega_i t_j)$, $\varepsilon = \sum_{j=1}^J \sin(2\omega_i t_j) \cos(2\omega_i t_j)$, $A_0 = \sum_{j=1}^J N(t_j)$,
 $A_1 = \sum_{j=1}^J N(t_j) \sin(2\omega_i t_j)$, $A_2 = \sum_{j=1}^J N(t_j) \cos(2\omega_i t_j)$.

Решением линейного уравнения (9) являются искомые параметры N_0 , N_s и N_c .

Такой способ обработки экспериментальных данных позволяет автоматизировать проведение исследований и повысить точность определения $N_s(\omega)$ и $N_c(\omega)$, что, в свою очередь, позволяет применить численные методы, описанные в [3] для решения уравнений (6), (7).

Результаты эксперимента

Для проверки предлагаемого метода были проведены экспериментальные исследования водного коллоида алмаза, который приготавливался разбавлением алмазного порошка бидистиллированной водой. Полученный таким образом коллоид обладает ярко выраженным дихроизмом в электрическом поле даже при низкой концентрации дисперсной фазы (менее 1 мг вещества на 100 г воды). Коллоид не коагулировал в течение нескольких суток. Как показали данные электронной микрофотографии, частицы алмаза можно считать эллипсоидами с соотношением осей $p \approx 1.5$.

Частота Ω ориентирующего частицы электрического поля была выбрана равной 20 кГц , а ω варьировалась от 1 Гц до 2 кГц при $E_0 = 30 \text{ В/см}$.

Дисперсионные кривые $N_s(\omega)$ и $N_c(\omega)$, полученные описанным выше методом для данного коллоида представлены на Рис. 1. Функции $f(r) = \Delta K \phi(r)$, где ΔK — дихроический вес частиц алмаза с заданным размером и $\phi(r)$ (истинная функция распределения частиц в исследуемом растворе по размерам), рассчитанные при использовании зависимости $N_s(\omega)$ и уравнения (6), хорошо согласуются с функциями $f(r)$ и $\phi(r)$, рассчитанными при использовании зависимости $N_c(\omega)$ и уравнения (7). Как видно из рисунка, в исследуемой дисперсной системе присутствуют частицы разного размера, причем, наряду с частицами размером 200 нм (основная фракция в дисперсной фазе) присутствуют также частицы алмаза меньшего размера (70 нм). Эти результаты согласуются с результатами электрооптических исследований коллоида алмаза в сильных электрических полях [3; 6]. Данные агрегаты образуются в растворе, и на микрофотографических снимках отсутствуют.

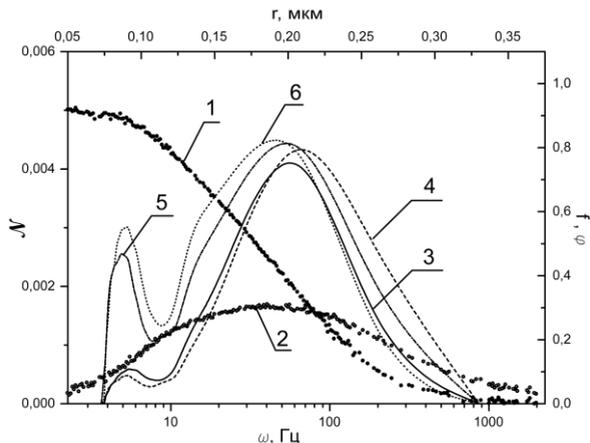


Рисунок 1. Дисперсионные зависимости электрооптического эффекта N в слабом синусоидальном поле в гидрозоль алмаза и результаты их обработки: 1 — $N_c(\omega)$; 2 — $N_s(\omega)$; 3 — $f(r)$ (рассчитана по $N_c(\omega)$); 4 — $\phi(r)$ (рассчитана по $N_c(\omega)$); 5 — $f(r)$ (рассчитана по $N_s(\omega)$); 6 — $\phi(r)$ (рассчитана по $N_s(\omega)$).

Выводы

Разработанный метод обработки экспериментальных данных электрооптических исследований позволяет надежно определять дисперсионные зависимости электрооптического эффекта в слабом синусоидальном поле. Проведенные экспериментальные исследования водного коллоида алмаза показывают, что использование автоматизированного метода исследования позволяет надежно определять размеры частиц в исследуемой системе даже в случае полидисперсных систем и дисперсных систем, содержащих агрегаты частиц.

Список литературы:

1. Babadzanjanz L, Voitylov A. Numerical methods for inverse problems in electrooptics of polydisperse colloids. *Colloids Surf B Biointerfaces* — 2007. — Vol. 56, — № (1—2). — P. 121—125.
2. Berne B.J., Pecora R. *Dynamic light scattering: with applications to Chemistry, Biology and Physics*. Dover Publications Inc., 2000, — 376 p.
3. Klemeshev S.A., Petrov M.P., Trusov A.A., Voitylov A.V. Electrooptical effects in colloid systems subjected to short pulses of strong electric field. // *Journal of Physics — Condensed matter*. — 2010. — Vol. 22, — № 49. — P. 12—22.
4. Klemeshev S.A., Petrov M.P., Shalygin A.K., Trusov A.A., Voitylov A.V. Electro-optical effects in disperse systems in strong electric fields of arbitrary shape. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. — 2014. — Vol. 456. — P. 114—119.
5. Trusov A.A., Voitylov V.V., and Zernova T.Yu. Electrooptic and conductometric effects in colloids and suspensions in sinusoidally amplitude modulated sine-shaped electric fields. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* — 2002. — Vol. 201.1. — P. 31—40.
6. Voitylov V.V., Klemeshev S.A., Petrov M.P., Trusov A.A. Light scattering by diamond and graphite nanodisperse systems with their particles orientationally ordered in an electric field. *Optics and Spectroscopy*, — 2013. — Vol. 114(3). — P. 432—439.
7. Voitylov V.V., Trusov A.A., Spartakov A.A., and Voitylov A.V. *Electro-Optics of Polydisperse Colloids*. // Chap. 7 in "Molecular and Colloidal Electro-optics", Ed. by Stoyl P. Stoylov and Maria Stoimenova, London, N.Y.: CRC Press — 2006. — P. 193—227.

СЕКЦИЯ 3.

БИОЛОГИЯ

3.1. БОТАНИКА

ТРАНСФОРМАЦИЯ ПОЙМЕННОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ РЕКИ ЧАГАН В ПРЕДЕЛАХ ЗАПАДНО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Аманбаев Каныбек Сайынович

*магистр биологии, средняя общеобразовательная школа «Асан»,
Республика Казахстан, Западно-Казахстанская область,
Зеленовский район
E-mail: a-amanbaeva@mail.ru*

TRANSFORMATION FLOODPLAIN VEGETATION OF CHAGAN RIVER WITHIN THE WEST KAZAKHSTAN REGION

Kanybek Amanbayev

*master of biology, Asan secondary School
Republic of Kazakhstan, West Kazakhstan region, of Zelenov area,*

АННОТАЦИЯ

Исследован растительный покров поймы реки Чаган Западно-Казахстанской области. Представлены данные о разнообразии растительного покрова реки Чаган. Важность исследования связана, во-первых, с практической значимостью пойменных угодий, дающих высокие и устойчивые урожаи кормовых и сельскохозяйственных культур, а во-вторых, со своеобразием, специфичностью и динамичностью пойменных экосистем, делающих их удобным объектом для отработки общетеоретических и методических вопросов геоботаники.

ABSTRACT

There are reaserches the cover of floodplain vegetation of Chagan river of West Kazakhstan region. There are presents the researches about variety of vegetable cover of the river Chagan. Importance of research is related to practical meaningfulness of streamside lands giving the high and steady harvests of green and agricultural crops, and secondly, with originality, specificity and dynamic quality of streamside ecosystems doing their comfortable object for working off the general theoretic and methodical questions of geobotany.

Ключевые слова: пойма; вид; сообщество; трансформация.

Keywords: floodplain; kind; association; transformation.

В настоящее время при изучении биологического разнообразия приоритетным становится подход, основанный на изучении пойм рек как естественных природных выделов, которые характеризуются особым набором биотических и абиотических факторов, что обуславливает неповторимость флористического состава и специфичность растительных сообществ. Пойменные экосистемы достаточно широко распространены и вопросы их биологического разнообразия, естественной и антропогенной динамики представляют несомненный практический и научный интерес.

Ниже представлены результаты ботанического исследования растительного покрова поймы реки Чаган Западно-Казахстанской области.

Согласно геоботаническому районированию Е.М. Лавренко (1947,1970,1991) [3, с. 235], бассейн реки Чаган относится к Евразийской степной области. Более точно — это часть Зауральско-Тургайской (Западно-Казахстанской) степной подпровинции. Зауральско-Тургайская степная подпровинция занимает обширную территорию от Заволжья и Ергеней до Тургайской столово-останцевой равнины и охватывает на подзоны средних и южных степей (Карамышева [2, с. 92], Огуреева [4, с. 97] и др., Сафронова [6, с. 60]).

Наши исследования проходили с 2012 по 2014 гг., за этот период нами были заложены 3 эколого-геоботанических профиля в разных частях поймы реки Чаган. Рассмотрим профиль № 1, который был сделан в районе села Плодоовощной.

В правобережье поймы реки Чаган в прирусловой пойме произрастают тростниковые (*Phragmites communis*.L.) и сусаковые сообщества (*Butomus umbelatus*.L.) с мезофитным разнотравьем из *Potentilla bifurca*.L, *Achillea ptarmica*.L., и другие.

Центральную пойму занимают пырейные (*Agropyrum répens.L.*) и вейниковые (*Calamagrostis epigeios.L.*) в сочетании с солодково-вейниковыми (*Glycyrrhiza glabra L.*, *Calamagrostis epigeios.L.*). Для средней части центральной поймы характерны лоховые (*Elaeagnus angustifolia L.*). Чилижно-полынные, солодкового, мятликовые (*Poa pratensis.L.*) наиболее типичны для пониженной части центральной поймы. Проективное покрытие таких луговых ценозов 80—90 %. Это хорошо сохранившиеся луговые ценозы по всей пойме Чагана.

Повышенная часть центральной поймы занята амброзией (*Ambrosia artemisifolia.L.*). Судя по описаниям пойменной растительности наиболее хорошо сохранена правобережная пойма реки Чаган, чем левобережье. В прирусловой левобережной пойме нами отмечено: осоковое (*Carex melanostachya.L.*) сообщество высотой 30—40 см, среди них произрастает дербенник прутьевидный (*Lythrum virgatum L.*), кроме того отмечена поросль тополя (*Populus alba L.*). Выше по склону произрастает белотопольник спорышевый (*Populus alba.L.*, *Polygonium aviculare.L.*).

Выше прирусловой поймы расположено спорышевое сообщество (*Polygonium aviculare*), в травостое отмечены одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale*), лапчатка (*Potentilla bifurca*).

В центральной части поймы реки Чаган образуется староречье, длина которого 15,75 м., глубина 1,3 м., достаточно обширно в этой зоне распространено лебедовое (*Atriplex tatarica.L.*) сообщество в сочетании с дурнишниково-костровой (*Xanthium strumarium.L.*, *Bromopsis inermis.L.*), проективное покрытие 40—50 %.

По длине центральной поймы более чем на 2 000 м. сформировано 28 сообществ. По днищу староречья произрастают осоковые и лебедовые ценозы в сочетании с сорно-костровым сообществом, среди которого появляется окопник (*Symphytum officinale.L.*).

Староречье постепенно углубляется на 2,2 м., его склоны поросли сорно-осоковой растительностью, а днище дурнишниково-осоковой, в сочетании с полынковым (*Artemisia austriaca.L.*).

В травостое нами отмечены мезофиты, такие как клевер луговой (*Trifolium pratense L.*) и лапчатка вильчатая (*Potentilla bifurca L.*). Склон староречья занят татарниково-осоковым (*Onopordum tataricum.L.*, *Carex pralcox.L.*), а плакор — осоковым сообществами. По-видимому, такие сообщества возникли из-за интенсивного выпаса домашнего скота. Ниже плакора староречье опять углубляется до 3 м глубины, его склоны заняты полынно-осоковым сообществом, проективное покрытие 50—60 %.

В нижней части склона нами отмечены дурнишниково-пырейное (*Xanthium strumarium*.L.-*Elytrigia repens*.L) сообщество в сочетании с чертополохом (*Carduus uncinatus*.L.). Самые глубокие места заняты клубнекамышовыми (*Bolboschoenus maritimus*.L.), молочаевыми (*Euphorbia palustris*.L.) сообществами, проективное покрытие 50-60%.

В их видовом составе нами отмечены щавель (*Rumex acetosella* L.), змееголовник (*Dracosephalum thymiflorum*.L.), девясил британский (*Inula britannica* L.). Для северных склонов староречья характерны осоковые ценозы. По плакору староречья развиты чилижно-полынно-костровые *Artemisia abrotanum* L., *Bromopsis inermis*.L) сообщества.

Южные склоны и днище заняты чилижно-полынным и пырейным сообществами. Северные склоны поросли осоково-пырейной растительностью. Наиболее выровненные места центральной поймы заняты чертополохово-костровыми и разнотравно-осоковыми ценозами, проективное покрытие 80—90 %.

Таким образом, по длине центральной поймы более чем на 2 000 м. сформировано 28 сообществ. Из них собственно луговых, наиболее ценных сообществ, т. е. костровых, пырейных и осоковых, приходится 60,5 м., т. е. всего 3 % поймы реки Чаган занято естественной растительностью, а остальная территория занята сорно-рудеральной растительностью.

Второй профиль был заложен в окрестностях с. Жамбыл, его длина от уреза воды до притеррасной поймы реки Чаган составил 85 метров.

Приусловая пойма занята осоково-лебедовым (*Atriplex urbicum* L., *Carex praecox* L.) сообществом.

В видовом составе преобладают распростерты виды, такие как спорыш (*Polygonum aviculare*), одуванчик (*Taraxacum officinale*), лапчатка (*Potentilla bifurca*) и другие виды.

Доминирование распростертых видов свидетельствует об усиленном антропогенном факторе. Выше, ближе к центральной пойме нами отмечены дурнишниково-щетинниковое сообщество (*Xanthium strumarium*, *Setaria veridis*), состоящее из сорных видов конопли (*Cannabis sativa*), крапивы (*Urtica dioica*), пустырника (*Leonurus cardiaca*) и другие виды. Длина такого сообщества составляет 8 метров.

Центральная пойма занята спорышевым сообществом длиной 32 метра, возникшим в результате антропогенного воздействия и пожаров.

Татарниково-мелколепестниковое сообщество (*Erigonacer, oporordium asanthium*) составляет 26 метров, в видовом составе доминирует татарник, высокобурьянистый сорняк высотой 1,5—2 метра.

Ближе к притеррасной пойме нами отмечено шиповниково-полынное (*Artemisia abrotanum*, *Rosa canina*) сообщество, размер которого составляет 13 метров. Здесь нами отмечены луговые виды: мышинный горошек (*Vicia cracca*), костер (*Bromopsis inermis*) и другие виды. Лоховое (*Eleagnus angustifolia*) сообщество занимает притеррасную пойму. В видовом составе преобладают сорные виды, такие как пустырник, крапива, лапчатка. Проективное покрытие всех сообществ, учтенных нами, составляет 50—60 %, истинное — 20 %.

Третий геоботанический профиль был заложен нами в окрестностях п. Новокирпичный, который расположен напротив парка им. Кирова от уреза воды до притеррасной поймы. Прирусловую пойму занимают полидоминантное сусаково-тростниковое (*Phragmites australis*, *Butomus umbellatus*) сообщество, составляющее 3,5 метра. После него мы отметили пырейно-вейниковое (*Calamagrostis epigeios*, *Elytrigia repens*) сообщество 4,5 метра длины.

В сообществе отмечены сорные виды, такие как лебеда Оше (*Atriplex aucheri* Mog. (*A. amblyostegia* Turcz.), ярутка полевая (*Thlaspi arvense* L.), дурнишник обыкновенный (*Xanthium strumarium* L.) и другие виды. Всю центральную пойму занимает солодково-вейниковое (*Glycyrrhiza glabra*, *Calamagrostis epigeios*) сообщество, длиной 48 метров.

Среди сообщества встречаются крестовник обыкновенный (*Senecio vulgaris* L.), астра итальянская (ромашковая) (*Aster amellus* L.), чертополох колючий (*Carduus acanthoides* L.) и другие виды.

Притеррасную пойму занимает лоховое сообщество по видовому составу аналогичное второму эколого-геоботаническому профилю.

Таким образом, в районе п. Новокирпичный также отмечается трансформация пойменной растительности реки Чаган. Причиной этого является интенсивное антропогенное воздействие, которое происходит в ускоренных темпах и проявляется посредством индивидуального жилищного строительства и чрезмерного выпаса скота.

В результате проделанной работы по изучению пойменных экосистем реки Чаган в пределах Западно-Казахстанской области были сделаны следующие выводы:

1. Река Чаган подвержена антропогенному воздействию, так как она пересекает 8 населенных пунктов по территории Западно-Казахстанской области. Поэтому, на всех элементах поймы наблюдается трансформация растительности, в частности, наличие достаточно большого числа распростертых, приземистых, высокобурьянистых и пришлых американских растений (клен, амброзия,

дурнишник, мелколепестник), а также длиннокорневищных и корнеотпрысковых растений.

2. Необходимо в дальнейшем сохранить реку с интереснейшим флористическим составом и вести постоянный и длительный мониторинг с целью предупреждения интенсивного антропогенного воздействия на флору Чагана.

Список литературы:

1. Дарбаева Т.Е. Конспект флоры меловых ландшафтов северо-западного Казахстана. — Уральск: ЗКГУ, 2002. — С. 11—16.
2. Карамышева З.В., Рачковская Е.И. Ботаническая география степной части Центрального Казахстана. — Ленинград: Искусство, 1973. — С. 92—105.
3. Лавренко Е.М. История флоры и растительности по данным современного распространения растений // Растительность СССР. Т. 1. — М.: Наука, 1938. — С. 235—296.
4. Огуреева Г.Н., Сафронова И.Н., Юрковская Т.К. Карта «Зоны и типы поясности растительности России и сопредельных государств» — М.: Просвещение, 1999. — С. 97.
5. Петренко А.З., Ли К.А., Дебело П.В. Природа Уральской области и ее охрана. — Уральск: УПИ, 1991. — С. 78—86.
6. Сафронова И.Н. Растительный покров степной части Предуральяского плато // Современные проблемы биогеографии. — 1980. — № 5. — С. 60—68.

ИЗУЧЕНИЕ ХОЗЯЙСТВЕННО-ЦЕННЫХ РАСТЕНИЙ ГОСУДАРСТВЕННОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДНОГО ПАРКА «БУЙРАТАУ»

Ишмуратова Маргарита Юлаевна

*канд. биол. наук, доцент, старший научный сотрудник
Карагандинского государственного университета
им. академика Е.А. Букетова,
Республика Казахстан, г. Караганда
E-mail: margarita.ishmur@mail.ru*

Исмаилова Фируза Махмудовна

*младший научный сотрудник
Государственный национальный природный парк «Буйратау»,
Республика Казахстан, пос. Молодежный
E-mail: ismailovafiruza@mail.ru*

Минаков Александр Иванович

*заведующий научным отделом
Государственный национальный природный парк «Буйратау»,
Республика Казахстан, пос. Молодежный
E-mail: randr@hotmail.ru*

STUDY OF ECONOMIC AND VALUABLE PLANTS OF STATE NATIONAL NATURAL PARK “BUIRATAU”

Margarita Ishmuratova

*cand. of biol. science, associated professor, senior researcher
of Karagandy State University named after academic E.A. Buketov,
Republic of Kazakhstan, Karagandy*

Firusa Ismailova

*junior researcher of State National Natural Park “Buiratau”,
Republic of Kazakhstan, Molodezhnoe village*

Alexander Minakov

*head of Science Department of State National Natural Park “Buiratau”,
Republic of Kazakhstan, Molodezhnoe village*

*Исследования выполнены в рамках научной темы «Флора
сосудистых растений «Буйратауского ГНПП».*

АННОТАЦИЯ

В статье приводятся результаты выделения хозяйственно-ценных видов растений на территории Государственного национального природного парка «Буйратау» (Карагандинская область, Республика Казахстан). Определен флористический состав полезных видов растений, приведена таксономическая характеристика.

ABSTRACT

Results of allocation of economic and valuable species of plants in the territory of the State national natural park "Buiratau" (Karaganda region, Republic of Kazakhstan) are given in article. The floristic structure of useful species of plants is defined, the taxonomical characteristic is provided.

Ключевые слова: ГНПП «Буйратау»; полезные растения; хозяйственно-ценные группы.

Keywords: SNNP “Buiratau”; useful plants; economic and valuable groups.

Введение. Растения многие тысячелетия являлись источниками пищевых, технических, кормовых и лечебных средств для человека.

Флора Казахстана, насчитывающая свыше 5500 видов сосудистых растений, до сих пор слабо изучена в отношении возможностей ее практического применения. О практических свойствах и хими-

ческом составе растений Республики имеются недостаточные сведения [12], современные сводки по отдельным регионам стали появляться только последние 5 лет [4; 6—10].

Современное развитие отраслей сельского хозяйства и промышленности Казахстана определяет использование собственного сырья, в том числе поиска возобновляемых источников, к которым относятся и растительные ресурсы. Выявление полезных групп растений позволяет правильно оценивать и использовать их потенциал.

Цель настоящего исследования — провести изучение состава флоры и выделить полезные растения Государственного национального природного парка «Буйратау» (далее ГНПП «Буйратау»).

Методика. При выделении отдельных групп хозяйственно-ценных растений использовали изданные научные публикации и нормативные документы [1—3; 10; 11; 13; 14; 17]. Определение видов проведено по «Флоре Казахстана», тт. 1-9 [18—26]. Названия растений откорректированы в соответствии с современной ботанической номенклатурой (Черепанов, 1995) [27].

Результаты и их обсуждение. Государственный национальный природный парк «Буйратау» располагается на территории Ерейментауского района Акмолинской области и Осакаровского района Карагандинской области.

Конспект флоры национального природного парка «Буйратау» на сегодняшний день насчитывает 498 видов из них 277 родов и 73 семейств [5; 11].

Среди изученных видов были выделены следующие хозяйственные группы растений: кормовые, технические, лекарственные, медоносные, декоративные, пищевые, эфирно-масличные (табл. 1).

Кормовые растения. Данная группа является одной из самых многочисленных, представлена 115 видами из 76 родов и 20 семейств.

Среди кормовых растений максимальное число видов принадлежит семействам *Poaceae*, *Rosaceae* и *Fabaceae*. Наиболее ценными кормовыми растениями являются *Festuca valesiaca*, *Poa annua*, *Poa bulbosa*, *Bromus squarrosus*, *Glycyrrhiza uralensis*, *Trifolium arvensis*, *Lupinaster triphylla*, *Medicago sativa*, *M.falcata*, *Onobrychis tanaitica*, *Vicia cracca* и другие.

Таблица 1.

Группы хозяйственно-ценных растений на территории
ГНПП «Буйратау»

Хозяйственная группа	Количество видов	Количество родов, шт.	Количество семейств, шт.
Кормовые	115	76	20
Технические	40	31	19
Лекарственные	106	85	32
Медоносные	74	55	17
Декоративные	72	61	20
Пищевые	28	17	15
Эфирно-масличные	60	37	12

Технические растения. Во флоре ГНПП «Буйратау» группа технических растений представлена незначительно — 40 видами из 31 рода и 19 семейства. К ним относятся дубильные, волокнистые, красильные, каучуконосные, строительные растения и растения, используемые для изготовления различных изделий.

Самыми распространенными являются дубильные и красильные растения, среди которых *Equisetum arvense*, *Alnus glutinosa*, *Betula pendula*, *Salix caprea*, *Artemisia dracuncululus*, *Art.frigida*. На втором месте по численности видов находятся волокнистые и щеточные виды; это — *Cannabis rudarale*, *Limun perenne*, *Humulus lupulus*, *Urtica dioica*, *Calamagrostis epigeous*, *Pharmites communis*. Наименьшая часть принадлежит видам, используемым в строительстве и для изготовления различных изделий (*Betula pendula*, *B.kirgisorum*, *Padus racemosa*, *Alnus glutinosa*, *Salix rosmarinifolia*, *S.caprea*, *S.triandra*, *Populus tremula*).

Лекарственные растения представлены 106 видами, принадлежащими 85 родам и 32 семействам. Из них ряд видов используется в официальной медицине Республики Казахстан: алтей лекарственный, полынь горькая, полынь обыкновенная, подорожник большой, горец птичий, солодка уральская, горицвет весенний, термopsis ланцетный, зизифора пахучковидная, шиповник коричный, шиповник рыхлый, сосноря солончаковая, тимьян Маршалла, серпуха венценосная и другие. Остальные виды являются заменителями фармакопейных растений, викарными видами и видами, используемыми в народной медицине, а также видами, для которых в научной медицине были определены фармакологические свойства.

Медоносные растения. Флора ГНПП «Буйратау» содержит большое количество медоносных растений — 74 видов из 55 рода

и 17 семейств. Наибольшую ценность представляют растения из семейств *Lamiaceae* (*Ziziphora clinopodioides*, *Hyssopus ambiguus*, *Salvia stepposa*, *Thymus marschallianus*, *Nepeta ucranica*, *Glechoma hederaceae*), *Rosaceae* (*Filipendula ulmaria*, *Filipendula vulgaris*, *Rosa laxa*, *Potentilla bifurca*, *Hulthemia persica*, *Spiraea hypericifolia*), являющиеся медоносами.

Декоративные растения. Видовое разнообразие и обилие жизненных форм исследуемой территории позволило выделить значительное разнообразие декоративных растений, представленных 72 видами из 61 рода и 20 семейств. В декоративное озеленение из древесно-кустарниковых видов используются *Betula pendula*, *Lonicera tatarica*, *Juniperus sabina*, *Rosa*, *Salix*, *Padus*, *Crataegus*. Для формирования цветников перспективны луки, тюльпаны, дикие шалфеи, зизифора, котовник, очиток, горечавка, ирисы, спаржа, мальва и другие. Некоторые растения (*Tanacetum vulgare*, *Achillea nobilis*, *Achillea millefolium*, *Sanguisorba officinalis*, *Polygala hybrida* и другие) можно использовать для создания живых букетов и сухоцветов.

Пищевые растения. Данная группа представлена 28 видами из 17 рода и 15 семейств. Меньшая часть группы пищевых растений представлена ягодными видами из родов *Rosa*, *Fragaria*, *Solanum*, *Crataegus*, *Padus*, *Rubus*.

Большая часть растений используются как непосредственно пищевые (*Equisetum*, *Urtica dioica*, *Heracleum sibiricum*, *Tulipa patens*, *Allium strictum*, *Allium rubrum*, *Asparagus officinalis* и другие), а также в качестве приправ к пище и ароматизации напитков (*Artemisia dracunculus*, *Thymus marschallianus*, *Mentha arvensis*, *Artemisia absinthium*, *Peucedanum morisoni* и другие).

Эфирно-масличные растения. На территории ГНПП «Буйратау» произрастает 60 видов эфирно-масличных растений, отнесенных к 37 родам и 12 семействам. Наибольшее число эфирноносителей относятся к семействам *Apiaceae*, *Asteraceae*, *Lamiaceae*. Наибольшее количественное накопление эфирного масла отмечено для таких видов, как *Artemisia frigida*, *Ziziphora clinopodioides*, *Hyssopus ambiguus*, *Eryngium planum*, *Glechoma hederaceae*, *Achillea nobilis*, *Achillea millefolium*, *Juniperus Sabina*, *Nepeta ucranica*, *Peucedanum morisoni*, *Ferula soongarica* и другие. Около 10 видов эфирноносителей находят применение в фармацевтической промышленности и ароматерапии.

Список литературы:

1. Абышева Л.Н., Беленовская Л.М., Бобылева Н.С. Дикорастущие полезные растения России. СПб.: Изд-во СПХФА, 2001. — 663 с.
2. Берсон Г.З. Дикорастущие съедобные растения. Л.: Гидрометеониздат, 1991. — 72 с.
3. Вульф Е.В., Малеева О.Ф. Мировые ресурсы полезных растений (Пищевые, кормовые, технические, лекарственные и др.). Справочник. Л.: Наука, 1969. — 566 с.
4. Грудзинская Л.М., Гемеджиева Н.Г. Список лекарственных растений Казахстана (Справочное издание). Алматы, Издательство Формат, 2012. — 61 с.
5. Исмаилова Ф.М. Инвентаризация флоры территории государственного национального природного парка Буйратау // Тезисы межд.конф. Сохранение степных и полупустынных экосистем Евразии. Алматы, 2013. — С. 89.
6. Ишмуратова М.Ю. Перечень хозяйственно-ценных видов растений флоры Центрального Казахстана. Жезказган: Полиграфия АСАР, 2012. — 52 с.
7. Ишмуратова М.Ю., Ивлев В.И., Иманов К.С., Нурбаев Д.Н. Дикорастущие хозяйственно-ценные растения Баянаульского нагорья (краткий справочник). Жезказган — Шонай: Полиграфия АСАР, 2012. — 50 с.
8. Ишмуратова М.Ю., Ивлев В.И., Мырзалы Г.Ж., Матвеев А.Н. Дикорастущие хозяйственно-ценные растения гор Улытау. Жезказган: Изд-во ЖезУ, 2014. — 72 с.
9. Ишмуратова М.Ю. Лекарственные растения народной медицины. — Караганда: РИО Болашак-Баспа, 2015. — 191 с.
10. Котухов Ю.А., Данилова А.Н., Кубентаев С. Перечень лекарственных растений казахстанского Алтая. Риддер, 2015. — 180 с.
11. Куприянов А.Н., Хрусталева И.А., Габдуллин Е.М., Исмаилова Ф.М. Конспект флоры государственного национального парка «Буйратау» (горы Ерментау, Центральный Казахстан) // Ботанические исследования Сибири и Казахстана. — 2014. — Вып. 20. — С. 30—57.
12. Павлов Н.В. Растительное сырье Казахстана. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1947. — 552 с.
13. Растительные цветковые растения России, их компонентный состав и биологическая активность. Т. 2. Сем. Actinidaceae — Malvaceae, Euphorbiaceae — Haloragaceae. СПб.: Изд-во КМК, 2009. — 513 с.
14. Растительные цветковые растения России, их компонентный состав и биологическая активность. Т. 3. Сем. Fabaceae — Ariaceae. — СПб.: Изд-во КМК, 2010. — 601 с.
15. Растительные цветковые растения России, их компонентный состав и биологическая активность. Т. 4. Сем. Carpfoliaceae — Lobeliaceae. СПб.: Изд-во КМК, 2011. — 513 с.

16. Растительные цветковые растения России, их компонентный состав и биологическая активность. Т. 5. Сем. Asteraceae (Compositae). Часть 1. Роды *Achillea* — *Dogonicum*. СПб.: Изд-во КМК, 2012. — 317 с.
17. Соколов С.Я. Фитотерапия и фитофармакология. М.: Мед. информ. агенство, 2000. — 953 с.
18. Флора Казахстана. Т. 1. Алма-Ата: Изд-во АН КазССР, 1956. — 354 с.
19. Флора Казахстана. Т. 2. Алма-Ата: Изд-во АН КазССР, 1958. — 290 с.
20. Флора Казахстана. Т. 3. Алма-Ата: Изд-во АН КазССР, 1960. — 458 с.
21. Флора Казахстана. Т. 4. Алма-Ата: Изд-во АН КазССР, 1961. — 545 с.
22. Флора Казахстана. Т. 5. Алма-Ата: Изд-во АН КазССР, 1961. — 515 с.
23. Флора Казахстана. Т. 6. Алма-Ата: Изд-во АН КазССР, 1963. — 465 с.
24. Флора Казахстана. Т. 7. Алма-Ата: Изд-во АН КазССР, 1964. — 498 с.
25. Флора Казахстана. Т. 8. Алма-Ата: Наука, 1965. — 448 с.
26. Флора Казахстана. Т. 9. Алма-Ата: Наука, 1966. — 425 с.
27. Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). Санкт-Петербург, 1995. — 990 с.

3.2. ТОКСИКОЛОГИЯ

СОДЕРЖАНИЕ ГОРМОНОВ В КРОВИ ЛАКТИРУЮЩИХ КРЫС ПРИ ИНТОКСИКАЦИИ СОЛЯМИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И ИХ КОРРЕКЦИЯ

Жапаркулова Назгуль Иксановна

*канд. биол. наук, КазНУ им. Аль-Фараби,
Республика Казахстан, г. Алматы*

Ерназарова Айша Ергешкызы

*учитель биологии и химии, КГУ ОШ № 49,
Республика Казахстан, г. Алматы*

Рахмаева Зарина Тилияжановна,

*учитель биологии и химии, КГУ ОШ № 49,
Республика Казахстан, г. Алматы*

THE MAINTENANCE OF HORMONES IN BLOOD OF THE VARNISHING RATS AT INTOXICATION SALTS OF HEAVY METALS AND THEIR CORRECTION

Nazgul Zhaparkulova

*PhD of biology, Al-Farabi Kazakh National University,
Republic of Kazakhstan, Almaty*

Aysha Ernazarova

*teacher of biology and chemistry, KSU OR № 49,
Republic of Kazakhstan, Almaty*

Zarina Rahmaeva

*teacher of biology and chemistry, KSU OR № 49,
Republic of Kazakhstan, Almaty*

АННОТАЦИЯ

Исследованы лактирующие белые лабораторные крысы, получавшие в течение 10 дней до лактации, 10 дней во время лактации перорально соли кадмия и свинца. Соли свинца и кадмия вызывали снижение лактации. Угнетение лактации сопровождалось повышением содержания в крови крыс адреналина и норадреналина. Это свидетельствует о том, что повышение концентрации ионов свинца в циркулирующей крови нарушают функцию эндокринной системы. Применение антиоксидантных препаратов, таких, как биологическое активное вещество танакан и витамины С и Е, снижают секрецию адреналина и норадреналина на фоне интоксикации.

ABSTRACT

Some lactating white laboratory rats were investigated by taking oral doses of salts of cadmium and lead, within 10 days prior to lactation, during 10 days. The salts caused a decrease of lactation. The oppression of the lactation accompanied with an increase of adrenaline and nor adrenaline level in the blood of the rats. This indicates that increasing the concentration of lead ions in the circulating blood disrupt the function of the endocrine system. Using antioxidant agents, such as biologically active substance-tanakan and vitamins C and E-reduces the level of adrenaline and nor adrenaline a the background of intoxication.

Ключевые слова: лактация; интоксикация; гормоны; витамины.
Keywords: lactation; hormones; vitamins; intoxication.

Неблагоприятные условия окружающей среды включают в себя и увеличение концентрации тяжелых металлов в воде, продуктах питания и окружающей среде. Концентрации их даже в малых дозах кумулируются в тканях и вызывают серьезные последствия для организма, являющиеся стрессорными.

Постоянный контакт со всеми этими вредными факторами, несомненно, приводит к хроническому отравлению организма.

Среди хронических отравлений весомое место занимают отравления солями тяжелых металлов. К тяжёлым металлам относятся более сорока химических элементов с удельным весом 6,0 и более.

Известно, что под влиянием любых экстремальных раздражителей возникают неспецифические реакции организма. Синдром, возникающий в этих ситуациях, был назван Г. Селье стрессом, а раздражители, вызывающие эту реакцию различают следующие стадии стресса [5].

1. Стадия тревоги: Наступает при внезапном действии стрессора, повышается секреция АКТГ, который стимулирует

секрецию глюкокортикоидов в надпочечниках. В циркулирующей крови снижается содержание эозинофилов и лимфоцитов, но повышается содержание нейтрофилов.

2. Стадия резистентности: Развивается гиперплазия коры надпочечников. Происходит инволюция вилочковой железы и уменьшение лимфатических узлов. Выравниваются те сдвиги, которые имели место в начале напряжения организма.

3. Стадия истощения: Если напряжение столь велико, что организм не может к нему адаптироваться, то кора надпочечников не в состоянии выработать необходимое количество глюкокортикоидов. В крови увеличивается количество эозинофилов и лимфоцитов. Возникают патологические изменения в организме.

Концепция Селье была признана научной общественностью и получила дальнейшее развитие в трудах известных ученых [5; 8].

Состояние стресса сопровождается изменением секреции глюкокортикоидов в зависимости от величины и длительности действия раздражителя. Поэтому не может быть единой стандартной характеристики изменений функций надпочечников при стрессе [6].

Различают 5 типов реакций коры надпочечников при различных стрессах.

1. Если напряжение и стимуляция коры надпочечников кратковременны, то реакция быстро проходит.

2. Когда напряжение усиливается в течение нескольких недель, тогда происходит гипертрофия надпочечников.

3. При длительном стрессе наступает морфологическое изменение надпочечников и других желез.

4. Острый стресс вызывает очаговые или диффузные изменения коры надпочечников с кровоизлияниями.

5. Стресс может сопровождаться адаптацией функциональной деятельности надпочечников, гипофиза и гипоталамуса.

Селье считает, что любой стресс-фактор может вызывать неадекватную реакцию. При стрессе может нарушаться утилизация кортикостероидов тканями. Это позволило предположить о вне надпочечниковой кортикостероидной недостаточности, развивающейся при повышенном содержании гормонов в тканях, а также при нормальном соотношении между уровнем этих гормонов в крови, надпочечниках и тканях.

В экспериментах на крысах было выявлено, что при длительном поступлении в организм с питьевой водой свинец вызывает ультраструктурные изменения нейронов супраоптического и паравентрикулярного ядер гипоталамуса, которые проявлялись усилением

нейросекреторной активности нейронов, полиморфизмом клеточных ядер [3].

Присутствие свинца в крови выше существующих допустимых концентраций вызывало субклинические изменения в нервной, сердечно-сосудистой, иммунной и эндокринной системах [2].

Существует общая закономерность иммуно-токсических влияний ксенобиотиков: в раннем онтогенезе они наблюдаются изменения в вилочковой железе и системе Т-лимфоцитов. При действии же на зрелую иммунную систему в большей степени нарушаются функция β -лимфоцитов и продукция антител [4].

В регионах экологического неблагополучия выявлена мутагенная активность водной среды, ее генотоксичность, что может определить генотоксичность грудного молока, в образцах которого обнаруживаются Pb, Cd и др. Выявлена высокая взаимосвязь изменений с возникновением ряда заболеваний у матерей и их новорожденных. Так, выявлено, что распространенность болезней мочевой системы детей, проживающих в загрязненном тяжелыми металлами районе, обусловлена выделением последних через почки и их повреждающим воздействием на паренхиму [7; 8]. Предполагается, что основным патогенетическим механизмом развития нефропатии является длительное токсическое действие низких доз тяжелых металлов на клеточные мембраны [1].

При дефиците свинец всасывается из кишечника в кровь, а затем в молоко. Многочисленные работы свидетельствуют о присутствии ионов различных тяжелых металлов как в материнском грудном молоке, так и в искусственных молочных смесях [4; 7].

Кадмий является также загрязнителем природной среды, особенно продуктов питания. Отличительной его особенностью является то, что он выводится из организма крайне медленно и трудно.

Кадмий усиливает процесс перекисного окисления липидов, причем антиоксидантные ферменты подавляют эту активацию. Расстройство окислительного метаболизма может быть связано с повреждением митохондриальной мембраны и нарушением процессов тканевого дыхания [1].

Выявлено повреждающее действие кадмия на эндокринную систему. Это обусловлено быстрым проникновением его в клеточные структуры, блокированием ферментов и снижением окислительного фосфорилирования в митохондриях, подавлением белкового синтеза рибосомами [1; 3].

В опытах на крысах было доказано, что воздействие кадмия во время беременности изменяло уровень нейротрансмиттеров в мозге.

Поступление его в организм лактирующей крысы, вскармливающей детенышей, увеличивало массу их мозга и уменьшало уровень ДНК и РНК. При этом содержание дофамина в среднем мозге увеличивалось. Его действие на мозге реализуется через уменьшение популяции рецепторов половых стероидов в гипофизе, гипоталамусе [4; 8].

Материалы и методы исследования

В опытах использовали пять групп лактирующих самок белых лабораторных крыс по 180—200 г. Первая группа интактных животных использовалась в качестве контроля. Животные второй группы получали перорально соли свинца и кадмия по 2,4 мг/100 г и 0,47 мг/100 г соответственно, крысам третьей группы предварительно перорально вводили антиоксиданты: витамины Е и С и танакан по 100 мг на кг массы животного с их последующим введением на фоне интоксикации солями тяжелых металлов. Интоксикацию животных проводили в течение 10 дней до лактации и 10 дней во время лактации.

Для определения адреналина, норадреналина в плазме крови использовали флюориметрический метод определения катехоламинов, разработанный Матлиной Э.Ш. и Рахмановым Т.Б [9].

Результаты исследования

На рисунке 1 представлены результаты определения содержания адреналина в плазме крови в группах интактных животных, в группах, получавших длительный период соли кадмия и свинца и в группах крыс, получавших антиоксидантные препараты до и во время интоксикации солями тяжелых металлов. В крови крыс контрольной группы содержание адреналина в крови составляло $0,046 \pm 0,003$ нг/мг, при интоксикации солями кадмия содержание адреналина возросло до $0,101 \pm 0,05$ нг/мг и солями свинца — до $0,092 \pm 0,005$ нг/мг, $p < 0,05$. В следующих сериях опытов животные получали антиоксидантные препараты до и на фоне интоксикации. Из результатов видно, что предварительное введение антиоксидантов привело к достоверному снижению уровня адреналина.

На рисунке 2 показаны данные по определению концентрации норадреналина в плазме крови. Уровень содержания норадреналина в контрольной группе животных составило $0,116 \pm 0,07$ нг/мг, тогда как при затравке крыс солями кадмия и свинца уровень норадреналина повысился до $0,155 \pm 0,05$ нг/мг и, $138 \pm 0,03$ нг/мг, $p < 0,05$ соответственно.

Введение животным антиоксидантов витаминов Е, С и танакана на фоне солей кадмия достоверно снижало количество норадреналина до $0,119 \pm 0,044$; $0,128 \pm 0,035$ и $0,135 \pm 0,055$ нг/мг, ($p < 0,05$ относительно затравки) и на фоне солей свинца — до $0,092 \pm 0,05$; $0,105 \pm 0,065$ и $0,111 \pm 0,037$ нг/мг, ($p < 0,05$ относительно затравки) соответственно.

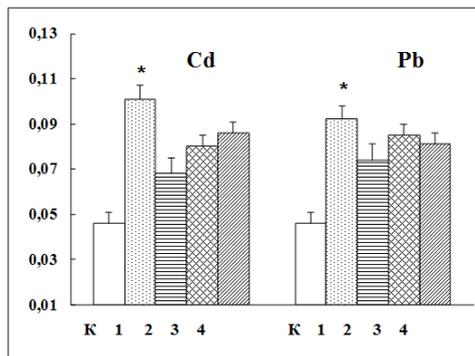


Рисунок 1. Влияние интоксикации солями тяжелых металлов на содержание адреналина в плазме крови лактирующих крыс.

По оси абсцисс: 1 — интоксикация, 2 — инток+E, 3 — инток+С, 4 — инток+Тан.; по оси ординат: концентрация гормона, нг/мг, $n = 5$, * — $p < 0,05$

Как показали результаты экспериментов, соли свинца и кадмия, попадая в организм крыс, вызывали стрессовые состояния, которые сопровождались повышением в крови катехоламинов. Первоначальное повышение содержания в крови адреналина и норадреналина можно рассматривать как адаптационные реакции, но высокий уровень их секреции в течение длительного периода указывает на истощение паренхимы надпочечников.

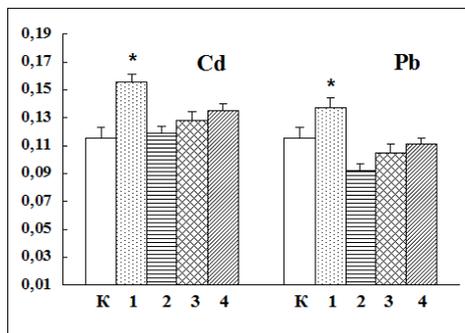


Рисунок 2. Изменение содержания норадреналина в плазме крови лактирующих крыс при интоксикации. По оси абсцисс: 1 — интоксикация, 2 — инток+E, 3 — инток+С, 4 — инток+Тан. по оси ординат: концентрация гормона, нг/мг, $n = 5$, * — $p < 0,05$

Хотя контрольных величин в содержании гормонов при введении антиоксидантов достигнуто не было, тем не менее, обнаружено значительное облегчение ответа адреналовой системы на стрессорное воздействие.

Катехоламины поражают сердечно-сосудистую, нервную и эндокринную системы, подавляют обмен веществ, замедляют синтез белков и снижают активность окислительно-восстановительных ферментов.

При длительном воздействии тяжелых металлов происходит их кумуляция в различных структурах мозга. Например, свинец вызывает ультраструктурные изменения нейронов супраоптического и паравентрикулярного ядер гипоталамуса, которые ответственны за секрецию лактогенного гормона окситоцина.

Необходимо учесть то, что во время лактации возрастает потребность материнского организма в витаминах, особенно в витамине С и Е. Воздействие негативных факторов может вызвать состояние авитаминоза и привести к истощению антиоксидантных систем при возросшей нагрузке на функциональные системы организма лактирующих животных. Отсюда вытекает необходимость восполнить образовавшийся дефицит природных антиоксидантов.

Длительная интоксикация солями тяжелых металлов лактирующих крыс вызывает стресс, что подтверждается увеличением концентрации адреналина и норадреналина в крови. Применение биологически активных веществ, таких, как танакан и витамины С и Е, подавляют секрецию адреналина и норадреналина на фоне интоксикации.

Список литературы:

1. Богер М.М. Некоторые аспекты физиологии и патологии органов пищеварению. Новосибирск. «Наука», 1983, — С. 192.
2. Конкабаева А.Е. Содержание кортикостерона в тканях молочной железы лактирующих крыс // VII Всесоюз. Симпоз. по физиол. и биохим. лактации: Тез. Докл — М., 1986, — С. 115—116.
3. Кроль М.Ю. Влияние интоксикации кадмием на перераспределение меди, цинка и железа в организме животных / Сб. научных трудов ВНИИ вет., сан., гигиены и эколог. — 1998, — Вып. 104, — С. 44—57.
4. Левина С.А. Влияние различных токсикантов на ферменты *in vitro* // Сб. науч. тр. ВНИИ сан.гиг. и экол., — 1998, — Вып. 105, — С. 101—103.
5. Левина С.А. Влияние ацетата свинца и нитрата кадмия на кинетику ферментативных реакций *in vitro* // Сб. науч. тр. ВНИИ сан. гиг. и экол., — 1998, — Вып. 105, — С. 119—123.

6. Матлина Э.Ш., Рахманов Т.Б. Метод определения адреналина, норадреналина, ДОФА и дофамина.-В кн.: Методы исследования некоторых систем гуморальной регуляции. М. 1967, — с. 136—144.
7. Сейдахметова З.Ж., Ташенова Г.К., Мурзахметова М.К. Защита мембран секреторных клеток молочной железы природными антиоксидантами при интоксикации крыс солями тяжелых металлов // Мат.V съезда физиол. Казахстана. Караганда, 2003, — С. 164.
8. Сейдахметова З.Ж., Ташенова Г.К., Мурзахметова М.К. Протекторное действие витаминов Е и С при перекисном гемолизе эритроцитов лактирующих крыс // Мат. V съезда физиол. Казахстан. Караганда., 2003, — С. 165.
9. Фолли С. Физиология и биохимия лактации. Изд. 2-е. М., 1972, — 350 с.

3.3. ФИЗИОЛОГИЯ

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ БАД «КЛАДОРОД» НА НЕСПЕЦИФИЧЕСКИЕ АДАПТИВНЫЕ РЕАКЦИИ ОРГАНИЗМА СПОРТСМЕНОВ, ЗАНИМАЮЩИХСЯ УШУ И ЦИГУН, ИХ ФИЗИЧЕСКУЮ РАБОТОСПОСОБНОСТЬ И СПОРТИВНЫЙ РЕЗУЛЬТАТ

Наумова Ксения Николаевна

*аспирант Института естественных наук
Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова,*

РФ, г. Якутск

E-mail: NaymKsy@mail.ru

STUDY OF THE INFLUENCE OF BAD "CLAMORED" NONSPECIFIC ADAPTIVE REACTIONS OF THE ORGANISM OF ATHLETES IN WUSHU AND QIGONG, THEIR PHYSICAL PERFORMANCE AND ATHLETIC PERFORMANCE

Ksenia Naumova

*post-graduate student of the Institute
of Natural Sciences North-Eastern Federal University Ammosov,
Russia, Yakutsk*

АННОТАЦИЯ

Разработан БАД «Кладород» из механохимически активированной порошкообразной ультрадисперсной смеси слоевищ лишайника рода Кладония (*Cladonia*) и корней и корневищ родиолы розовой. В целях выявления эффективности БАДа в отношении повышения адаптивного потенциала исследовали его влияние на неспецифические адаптивные реакции (НАР) организма спортсменов и их физическую работоспособность. По итогам эксперимента выявлено, что доля спортсменов находящихся в позитивных фазах НАР повысилась на 20 %, в негативных фазах НАР — уменьшилась на 20 %. Уровень адаптации к физическим нагрузкам, степень тренированности, уровень

энергетического обеспечения, психоэмоциональное состояние и спортивная форма увеличусь в разы.

ABSTRACT

Developed biologically active additive "Clamored" from mechanically activated powder mixture of ultrafine thalli of the lichen genus *Cladonia* (*Cladonia*) and roots and rhizomes of *Rhodiola rosea*. In order to identify the effectiveness of the biological preparation to enhance adaptive capacity investigated its effect on nonspecific adaptive reactions (NAR) of an organism and their physical performance. According to the results of the experiment revealed that the proportion of athletes in positive phases NAR increased by 20 %, in a negative phases NAR — decreased by 20 %. Level of adaptation to physical loads, the degree of fitness, the level of energy security, emotional state and sports uniforms will increase significantly.

Ключевые слова: лишайник; бикомплекс; спорт

Keywords: lichen; bicomplex; sports.

Введение. Разработка эффективных адаптогенных, не допинговых биофитопрепаратов, восстанавливающих нарушенные метаболические процессы — одна из актуальных задач спортивной медицины [1; 2].

Учитывая востребованность данного продукта, был создан бикомплекс на основе механохимически активированной порошкообразной ультрадисперсной смеси слоевищ лишайника Кладония (*Cladonia*), корней и корневищ родиолы розовой — «Кладород». Механоактивацию проводили в мельнице-активаторе проточного типа ЦЭМ-7-80 (разработка Института химии твердого тела и механохимии СО РАН).

В процессе механоактивации происходит, во-первых, разрушение клеточных стенок и β -полисахаридов слоевищ лишайника, сопровождающееся изменение химического состава компонентов растительного сырья из-за разрыва ряда химических связей — образованием β -олигосахаридов, а также разрушение клеточных стенок тканей корней и корневищ родиолы розовой, приводящее к переходу биоактивных веществ (БАВ), включая салидрозид, в свободную форму. Во-вторых, непосредственно в твердой фазе происходит образование межмолекулярного комплекса лишайниковых β -олигосахаридов с БАВ родиолы родовой (рис.1), обладающего бифильностью, малыми размерами и поэтому в повышенной усвояемостью в желудочно-кишечном тракте (ЖКТ) [3; 4].

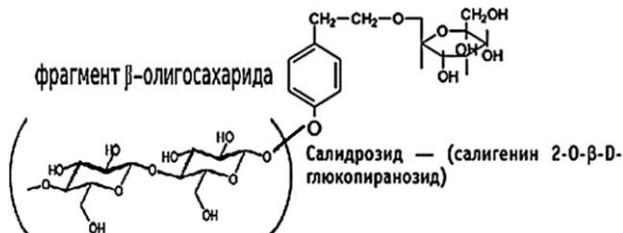


Рисунок 1. Схема межмолекулярных взаимодействий салидрозида и β-олигосахарида

В полученном бикомплексе лишайниковые β-олигосахариды («активный наполнитель»), связывая салидрозид и другие низкомолекулярные БАВ родиолы розовой, транспортируют его в кровь и далее через клеточные мембраны, обеспечивают его более высокую усвояемость и, как следствие, **повышают в 5—10 раз биодоступность** действующего вещества, что способствует увеличению его биоактивности. За счет этого бикомплекс обладает повышенной в 2,5—3,0 раза физиологической активностью даже при снижении дозы родиолы розовой в 10 раз [4].

В целях выявления эффективности бикомплекса провели анализ крови до и после эксперимента.

Цель исследования: Оценить степень напряжения функциональных и регуляторных систем организма спортсменов занимающихся ушу и цигун, определить критерии дезадаптационных изменений до и после приема БАД «Кладород».

Материал и методы исследования. В исследовании приняли участие спортсмены центра изучения ушу и цигун «Небесная река» Республики Саха (Якутия). Экспериментальное исследование провели в период с 11 по 25 июня 2014 г. Все респонденты, принимавшие участие в эксперименте, прошли углубленный медицинский осмотр и были признаны практически здоровыми. В исследовании участвовало 30 спортсменов в возрасте от 17 до 68 лет (средний возраст 43 ± 20 лет), разной спортивной квалификации. Эксперимент длился 2 недели. Контрольные измерения и забор крови для вычета лейкоцитарной формулы были проведены два раза: в начале (11 июня) и в конце эксперимента (25 июня).

В начале эксперимента всех спортсменов дифференцировали на три группы: I-я экспериментальная группа принимала БАД «Кладород» на основе механоактивированной смеси с массовым соотношением родиолы розовой и лишайника в комплексе 1:10

по 4 капсулы в день; II-я экспериментальная группа принимала препарат, содержащий только механоактивированные корни и корневища родиолы розовой, по 1 капсуле в день; III-я контрольная группа принимала плацебо (глюконат кальция) по 1 капсуле в день [заявка на патент № 2015122612 от 15.06.2015].

Методы исследования. Обследование спортсменов включало анкетирование, лабораторные и программно-аппаратный методы исследования.

Лабораторные методы исследования. 1) Общий анализ крови выполнялся по общепринятой методике на гематологическом анализаторе Abacus. Определялось количество эритроцитов, содержание гемоглобина, количество лейкоцитов и лейкоцитарная формула крови. 2) Фаза НАР оценивалась по методу Л.Х. Гаркави, Е.Б. Квакиной и М.А. Уколовой на основании анализа лейкоцитарной формулы крови при расчете на 300 клеток. Для различных видов НАР характерны следующие диапазоны соотношений форм лейкоцитов (рис. 2) [5]:

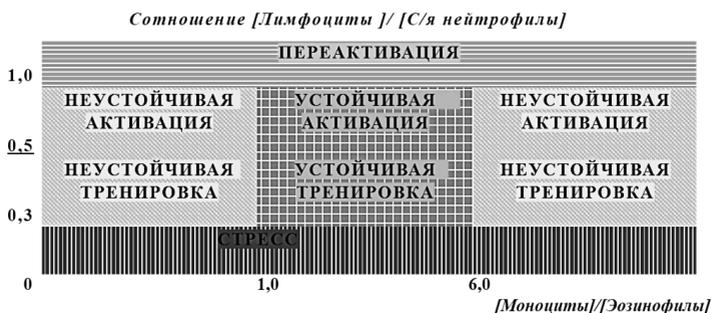


Рисунок 2. Номограмма для экспресс-интерпретации лейкоцитарной формулы белой крови в фазе НАР

В рамках теории НАР устойчивая активация и устойчивая тренировка рассматриваются как **позитивные** НАР, соответствуют высокому адаптивному потенциалу организма и состоянию «здоровье».

Реакции неустойчивая активация и неустойчивая тренировка объединены в **переходные** НАР и характеризуются вероятностью перехода при благоприятных условиях в реакции устойчивая активация или устойчивая тренировка, при неблагоприятных — в состояние «стресс» или «переактивация».

Реакции стресс и переактивация объединены в **негативные** НАР и соответствуют состоянию «предболезнь».

3) Оценка физического состояния (ФС) спортсменов по данным комплексного компьютерного исследования «Омега-С». Методика работы системы основана на исследовании интервалографии и корреляционной ритмокардиографии.

Результаты. По окончании эксперимента в **I-й группе** доля спортсменов, организм которых находился в **позитивных НАР**, увеличилась на 20 %, в **переходных НАР** — осталась неизменной, в **негативных НАР** — уменьшилась на 20 % (рис. 3). Во **II-й группе** доля спортсменов, организм которых находился в **позитивных НАР**, осталась неизменной, в **переходных НАР** — увеличилась на 25 %, в **негативных НАР** — уменьшилась на 25 % (рис. 4). В **III-й группе** доля спортсменов, организм которых находился в **позитивных НАР**, уменьшилась на 25 %, в **переходных НАР** — увеличилась на 12,5 %, в **негативных НАР** — увеличилась на 12,5 % (рис. 5).



Рисунок 3. Встречаемость фаз неспецифических адаптивных реакций в I экспериментальной группе спортсменов до (А) и после приема (Б) БАД «Кладород», (%)



Рисунок 4. Встречаемость фаз неспецифических адаптивных реакций во II экспериментальной группе спортсменов до (А) и после приема (Б) механоактивированной родиолы розовой, (%)



Рисунок 5. Встречаемость фаз неспецифических адаптивных реакций в III контрольной группе спортсменов до (А) и после приема (Б) плацебо, (%)

Организмы спортсменов, находящихся в переходных фазах НАР, наиболее подвержены метаморфозам в зависимости от ряда факторов. Поэтому именно для спортсменов этой группы проводили контроль психофизиологического состояния с помощью прибора «Омега-С». В таблице 1 приведены результаты обследования, показывающие относительное изменение физического и психо-физиологического состояния в процентах до и после эксперимента. Расчёты проводили по формуле $\omega (\%) = R_1/R_2 \times 100 \%$, где ω — показатель состояния спортсменов, R_1 — результат измерения после приема биопрепарата, R_2 — результат измерения до приема биопрепарата.

Такие же изменения наблюдаются и при измерении уровня тренированности, энергетического обеспечения, психоэмоционального состояния и спортивной формы.

Таблица 1.

Средние показатели физического состояния (отношение результатов измерения после эксперимента к результату до эксперимента, в %; $M \pm m$)

Показатели		I группа (n = 10)	II группа (n = 10)	III группа (n = 10)
А	Адаптация к физическим нагрузкам	477 ± 60,3	95 ± 30,5	119 ± 18,7
В	Тренированность	279 ± 45	142 ± 12,7	89 ± 11,6
С	Энергообеспечение	340 ± 34,4	126 ± 16	123 ± 21,4
Д	Психоэмоциональное состояние	509 ± 36	110 ± 23,1	84 ± 14,6
Н	Спортивная форма	310 ± 19,8	134 ± 17,5	93 ± 9,7

Анализ полученных данных свидетельствует о том, что в I группе уровень адаптация к физическим нагрузкам,

по сравнению со **II группой**, повысился в 5 раз, с **III группой** — в 4 раза. **Уровень тренированности** в **I группе**, по сравнению со **II группой**, увеличился 2 раза, с **III группой** — в 3,1 раза. Показатель **энергообеспечения** в **I группе** увеличился по сравнению со **II группой** в 2,7 раз, с **III группой** — в 2,8 раз. Показатель **психоэмоционального состояния** в **I группе** повысился, по сравнению со **II группой**, в 4,6 раз, с **III группой** — в 6 раз. **Уровень спортивной формы** увеличился в **I группе**, по сравнению со **II группой**, в 2,3 раза, с **III группой** — в 3,3 раза.

Выводы. Результаты проведенного исследования влияния БАД «Кладород» на адаптивный потенциал и физиологическое состояние организма спортсменов, занимающихся ушу и цигун показало, что его прием по определенной схеме достоверно повышает адаптивный потенциал организма: доля спортсменов находящихся в позитивных НАР при приеме биопрепарата «Кладород» повысилась на 20 %, в негативных НАР — уменьшилась на 20 %.

Также в **I экспериментальной группе** уровень адаптации к физическим нагрузкам увеличился в 4 раза; степени тренированности — в 3,1 раза, уровень энергетического обеспечения физических нагрузок — в 2,8 раза, показатель психоэмоционального состояния — в 6 раз и интегральный показатель «спортивной формы» — в 3,3 раза.

Проведенные исследования позволяют рекомендовать применение БАД «Кладород» для повышения эффективности тренировок и спортивных результатов спортсменов, занимающихся скоростно-силовыми видами спорта.

Список литературы:

1. Меерсон Ф.З. Адаптационная медицина механизмы и защитные эффекты адаптации. М., 1993. — С. 8—37.
2. Маргазин В.А. Руководство по спортивной медицине. СПб. СпецЛит, 2012. — С. 305—366.
3. Загребальный С.Н. Биотехнология: Учеб, пособие // Новосибирский гос. ун-т. Новосибирск, 2005. — С. 13—75.
4. Аньшакова В.В. Биотехнологическая механохимическая переработка лишайников рода *Cladonia*: учеб, для вузов. — М.: Издательский дом Академии Естествознания, 2013. — С. 61—89.
5. Гаркави Л.Х., Квакина Е.Б., Кузьменко Т.С. Антистрессорные реакции и активационная терапия. Реакция активации как путь к здоровью через процессы самоорганизации. М.: ИМЕДИС, 1998. — С. 250—370.

3.4. ВЕТЕРИНАРИЯ

ВЛИЯНИЕ АНЕСТЕЗИИ ТАЗОВОГО СПЛЕТЕНИЯ КОТОВ НА МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КРОВИ

Шамсутдинова Нажия Вагизовна

канд. ветеринар. наук, доцент каф. акушерства и ПМЖ
ФГБОУ ВПО КГАВМ,
РФ, г. Казань

Миншагаева Фарида Имамутдиновна

канд. ветеринар. наук, доцент каф. анатомии
ФГБОУ ВПО КГАВМ,
РФ, г. Казань
E-mail: qivar3@mail.ru

INFLUENCE OF PELVIC PLEXUS ANAESTHESIS OF CATS ON MORPHOLOGICAL BLOOD VALUES

Nazhiya Shamsutdinova

candidate of Veterinary Sciences,
Associate Professor of Obstetrics and PMJ Chair,
FSBEI HPO Bauman Kazan State Academy of Veterinary Medicine,
Russia, Kazan

Farida Minshagayeva

candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor of Anatomy Chair,
FSBEI HPO Bauman Kazan State Academy of Veterinary Medicine,
Russia, Kazan

АННОТАЦИЯ

Целью наших исследований было сравнение влияния анестетиков разной концентрации на морфологические показатели крови. При этом применяли методы подведения анестетика к тазовому сплетению и изучение морфологического состава крови. В результате

проведенных исследований установлено, что использование 0,5 и 1 % раствора новокаина и 0,5 % лидокаина в качестве анестетика не привели к изменениям в морфологических показателях крови. В то время как при использовании 1,0 % раствора лидокаина наряду с изменениями в общем состоянии наблюдались и морфологические изменения крови через сутки после выполнения анестезии, которые возвращались к норме на 7 сутки.

ABSTRACT

The aim of our study is to compare the effect of anesthetics of different concentrations on morphological parameters of blood. Methods of rendering the anesthetic to pelvic plexus and the study of the morphological composition of the blood are applied. In the results of undertaken studies, it is found that the use of 0,5 to 1% solution of novocaine and 0,5 % lidocaine as an anesthetic do not lead to changes in the morphological parameters of blood. While using a 1,0 % lidocaine solution, along with general changes, morphological changes of blood are observed every other day after anesthesia, which return to normal state on the 7th day.

Ключевые слова: анестетик; кровь; кот; лидокаин; местная анестезия; новокаин; тазовое сплетение.

Keywords: anesthetic; blood; cat; lidocaine; local anesthetic; novocaine; pelvic plexus.

Местная анестезия является достаточно широко используемой техникой обезболивания. Она применяется, как в изолированном варианте, так и в сочетании с другими типами анестезии. Для местного обезболивания часто применяют 0,5—1,0 % растворы новокаина и 0,5—2,0 % растворы лидокаина.

Обезболивание обычно используется в практике при небольших хирургических вмешательствах или диагностических исследованиях, при наличии противопоказаний к общей анестезии (наркозу), чаще при этом используют проводниковую анестезию, когда анестетик подводится к нервному узлу, нервному сплетению или стволу периферического нерва.

Цель наших исследований — сравнение влияния анестетиков разной концентрации на морфологические показатели крови.

Объектом исследований служили 12 котов в возрасте от 6 месяцев до 5-ти лет, которые были разделены на 4 группы по 3 животных в каждой.

Нами были использованы 0,5 и 1,0 % растворы новокаина, 0,5 и 1,0 % растворы лидокаина. В крови определяли количество

эритроцитов, лейкоцитов, гемоглобина, СОЭ до введения препарата, через 1 и 7 суток после анестезии. Изучение морфологического состава крови проводили на гематологическом анализаторе Junior Vet 18.

Для решения поставленной задачи нами использован метод подведения анестетика к тазовому сплетению кота (рис. 1) [1, с. 4, 2, с. 115]. Методика выполнения была отработана на трупах котов. Раствор анестетика предварительно был подкрашен тушью), чтобы потом на секции окончательно убедиться в правильности освоения методики инъекции (рис. 2 - 1).



Рисунок 1. Место подведения подкрашенного анестетика

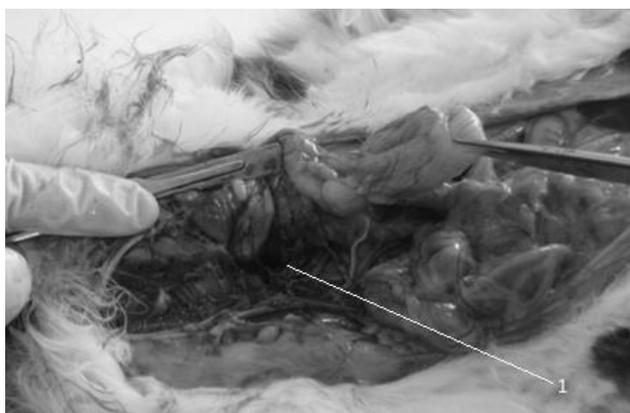


Рисунок 2. Инфильтрация подкрашенного анестетика в тазовой полости. 1 — область распространения анестетика

Исследования показали, что после подведения к газовому сплетению 0,5 и 1 % растворов новокаина и 0,5 % раствора лидокаина общее состояние животных оставалось удовлетворительным. Животные сохраняли активность, пищевую возбудимость. При катетеризации сильного беспокойства со стороны животного не наблюдалось. При пальпации ануса отмечалось его расслабление.

В морфологическом составе крови достоверных изменений не установлено (таб. 1).

При применении 1 % раствора лидокаина у трех котов 4 группы отмечались: в течение первых двух часов саливация, шаткость походки, сильное расслабление ануса, непровольное отхождение кала и отсутствие пищевой возбудимости в течение дня. Катетеризация мочевого пузыря не вызывала затруднений. Возникшие в этом случае изменения в общем состоянии сопровождались и незначительными изменениями морфологического состава крови (таб. 2).

Таблица 1.

Морфологический состав крови котов при подведении растворов новокаина

Показатели	0,5% р-р новокаина			1,0% р-р новокаина		
	До введения	1 сутки	7 сутки	До введения	1 сутки	7 сутки
СОЭ, мм/ч	3,0 ± 0,1	3,1 ± 0,3	3,0 ± 0,2	2,6 ± 0,4	3,0 ± 0,3	3,0 ± 0,2
RBC x 10 ⁶ /мл	8,8 ± 0,2	9,2 ± 0,2	9,6 ± 0,2	8,1 ± 0,4	8,8 ± 0,5	8,8 ± 0,4
WBC x 10 ³ /мл	6,5 ± 0,3	7,2 ± 0,4	7,0 ± 0,3	7,6 ± 0,4	8,2 ± 0,3	7,4 ± 0,2
Hb, г/л	118 ± 0,4	118 ± 0,5	118 ± 0,4	116 ± 0,3	118 ± 0,2	118 ± 0,3

Таблица 2.

Морфологический состав крови котов при подведении растворов лидокаина

Показатели	0,5% р-р лидокаина			1,0% р-р лидокаина		
	До введения	1 сутки	7 сутки	До введения	1 сутки	7 сутки
СОЭ, мм/ч	2,5 ± 0,2	3,0 ± 0,1	3,0 ± 0,2	2,0 ± 0,1	5,0 ± 0,4	3,0 ± 0,5
RBC x 10 ⁶ /мл	9,0 ± 0,3	9,8 ± 0,2	9,2 ± 0,2	8,2 ± 0,3	6,0 ± 0,6	8,4 ± 0,6
WBC x 10 ³ /мл	8,6 ± 0,4	9,2 ± 0,3	7,8 ± 0,1	8,0 ± 0,6	16 ± 0,4	11 ± 0,4
Hb, г/л	114 ± 0,4	112 ± 0,3	116 ± 0,2	120 ± 0,6	110 ± 0,5	118 ± 0,6

Таким образом, проведенные исследования показали, что использование 0,5 и 1 % раствора новокаина и 0,5 % лидокаина в качестве анестетика, обеспечивающего возможность безболезненной катетеризации котов и манипуляций в области прямой кишки, не привели к изменениям в морфологических показателях крови. В то время как при использовании 1,0 % раствора лидокаина наряду с изменениями в общем состоянии наблюдались и морфологические изменения крови через сутки после выполнения анестезии, которые возвращались к норме на 7 сутки.

Список литературы:

1. Акбирова С.Г. Источники иннервации органов тазовой полости кота./ С.Г. Акбирова, Ф.И. Миншагаева, Н.В. Шамсутдинова // Ученые записки КГАВМ имени Н.Э. Баумана. — Казань, 2011. — Т. 207 — С. 3—10.
2. Фролова А.И. Экстраорганный нервный аппарат мочеполового канала кота. /А.И. Фролова, С.Г. Акбирова, Ф.И. Миншагаева //«Современные проблемы анатомии, гистологии, эмбриологии»: Материалы 2-й Всероссийской виртуальной конференции. / ФГБОУ ВПО КГАВМ. — Казань, 2011. — С. 114—116.

СЕКЦИЯ 4.

ХИМИЯ

4.1. АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЛИПОЕВОЙ КИСЛОТЫ НА КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЕ МЕДИ С 1,10-ФЕНАНТРОЛИНОМ В ПРИСУТСТВИИ СТАБИЛИЗАТОРОВ

Хабарова Ольга Васильевна

*научный руководитель, канд. хим. наук, доцент
Астраханского государственного университета,
РФ, г. Астрахань*

E-mail: olga-habarova48@mail.ru

Серова Ксения Анатольевна

*магистрант I курса биологического факультета
Астраханского государственного университета,
РФ, г. Астрахань*

E-mail: ksusha-19.94@mail.ru

Самотаева Екатерина Валерьевна

*бакалавр химии Астраханского государственного университета
РФ, г. Астрахань*

E-mail: katrinnn.s@bk.ru

Хандусенко Екатерина Андреевна

*студент 4 курса химического факультета
Астраханского государственного университета,
РФ, г. Астрахань*

E-mail: katya_30@mail.ru

Мадыкова Жания Хасановна

*студент 4 курса химического факультета
Астраханского государственного университета,
РФ, г. Астрахань
E-mail: jania051195@mail.ru*

Бровко Екатерина Владимировна

*студент 4 курса химического факультета
Астраханского государственного университета,
РФ, г. Астрахань
E-mail: brovko_ekaterina_94@mail.ru*

RESEARCH OF INFLUENCE OF LIPOIC ACID ON COPPER WITH 1,10-PHENANTHROLINE COMPLEXING IN PRESENCE OF STABILIZERS

Olga Habarova

*research supervisor, Candidate of Chemistry, Assistant Professor
of Astrakhan State University,
Russia, Astrakhan*

Ksenia Serova

*1 course master of chemical faculty of Astrakhan State University,
Russia, Astrakhan*

Ekaterina Samotayeva

*bachelor of Chemistry of Astrakhan State University
Russia, Astrakhan*

Ekaterina Handusenko

*4 course student of chemical faculty of Astrakhan State University
Russia, Astrakhan*

Zhaniya Madykova

*4 course student of chemical faculty of Astrakhan State University,
Russia, Astrakhan*

Ekaterina Browko

*4 course student of chemical faculty of Astrakhan State University,
Russia, Astrakhan*

АННОТАЦИЯ

Цель работы — изучение влияния липоевой кислоты на комплексообразование меди(II) с 1,10-фенантролином с разработкой методики спектрофотометрического определения липоевой кислоты. При взаимодействии липоевой кислоты с медью (II) и 1,10-фенантролином образуется коричнево-оранжевое комплексное соединение. Исследована возможность определения липоевой кислоты в присутствии различных стабилизаторов. Разработанные методики позволяют установить содержание липоевой кислоты в лекарственных средствах.

ABSTRACT

The work purpose is to study the influence of lipoic acid on copper (II) with 1,10-phenanthroline complexing, resulted in the development of the technique in spectrophotometrical determination of lipoic acid. The interaction of lipoic acid, copper (II) and 1,10-phenanthroline produces a brown-orange complex compound. The ways of lipoic acid determination in presence of stabilizers. The developed techniques allow to determine the concentration of lipoic acid in pharmaceuticals.

Ключевые слова: липоевая кислота; медь; комплексное соединение; спектрофотометрия; фенантролин.

Keywords: lipoic acid; copper; complex compound; spectrophotometry; phenanthroline.

Разработка простых, экономичных, но в то же время — чувствительных и селективных методов определения лекарственных средств является одной из актуальных задач аналитической и фармацевтической химии. Широко применяется способность 1,10-фенантролина образовывать комплексные соединения с металлами. Фенантролин является токсичным веществом, что не позволяет применять его в композициях с металлами, находящимися в высокой степени окисления [2, с. 151]. В связи с этим представляет интерес поиск систем, которые эффективно расщепляют ДНК в мягких условиях, снижая токсическое влияние фенантролина. Необходимым условием применения данных систем является наличие восстановителя, такого как универсальный антиоксидант липоевая кислота [1, с. 678—691].

В данной работе представлен способ косвенного определения липоевой кислоты. Для количественного определения лекарственного препарата нами был выбран спектрофотометрический метод, как наиболее доступный в лабораторных условиях. Он основан

на восстановлении меди (II) до одновалентного состояния, с последующим образованием окрашенного комплекса $[\text{Cu}(\text{Phen})_2]^+$ оранжево-коричневого цвета ($\lambda=4 \cdot 10^{-7}$ м).

Растворы 1,10-фенантролина и липоевой кислоты бесцветны, раствор соли меди при фотометрируемой концентрации имеет слабо-голубое окрашивание, близкое к бесцветному. Раствор, содержащий медь, 1,10-фенантролин и липоевую кислоту, окрашен в водных растворах в коричневый цвет (максимальное светопоглощение при ($\lambda=4 \cdot 10^{-7}$ м)). В работе был выбран порядок сливания реагентов: буферный раствор — 1,10-фенантролин — липоевая кислота-медь (II). По литературным данным известно, что медь (I) с фенантролином образует комплекс $[\text{Cu}(\text{Phen})_2]^+$ при соотношении реагирующих веществ в соотношении 1:2 соответственно. Методом молярных отношений было выяснено, что присутствие липоевой кислоты не влияет на данное соотношение. Оптимальной средой для образования системы медь(I)-1,10-фенантролин в присутствии липоевой кислоты является pH=7. Для полного образования комплекса медь (I) — Phen требуется четырёхкратный избыток липоевой кислоты по отношению к исходному количеству ионов Cu^{2+} в растворе. Для предотвращения перехода меди из одновалентного состояния в двухвалентное использовались стабилизаторы, различающиеся способами стабилизации изучаемой системы: ПКФ, аскорбиновая кислота, диэтиловый эфир (таблица 1).

Таблица 1.

Сравнение эффективности стабилизаторов

Стабилизатор	ε_{cp}	$\beta_{обр.}$	<i>a</i>	<i>b</i>
Аскорбиновая кислота	$2,35 \cdot 10^3$	$1,25 \cdot 10^7$	$0,075 \pm 0,003$	620 ± 50
ПКФ	$9,1 \cdot 10^3$	$5,7 \cdot 10^7$	$0,69 \pm 0,003$	200 ± 40
Диэтиловый эфир	$1,5 \cdot 10^4$	10^8	$0,05 \pm 0,004$	100 ± 10

Наиболее стабильный комплекс $[\text{Cu}(\text{Phen})_2]^+$ образуется при использовании диэтилового эфира в качестве стабилизатора, о чём говорят высокие значения константы образования комплекса ($\beta_{обр} = 10^8$), меньший период образования $[\text{Cu}(\text{Phen})_2]^+$ и большее время, в течение которого он стабилен. Высокие значения коэффициента светопоглощения и параметра градуировочной зависимости *b* свидетельствуют о том, что чувствительность разрабатываемой методики повышается при изоляции изучаемой системы Cu(I)-Phen-

липовая кислота от воздействия кислорода воздуха с помощью диэтилового эфира. Для установления интервала концентраций липовой кислоты, в пределах которого, в исследуемой системе соблюдается закон Бугера-Ламберта-Бера, использовали метод градуировочного графика (Рис. 1).

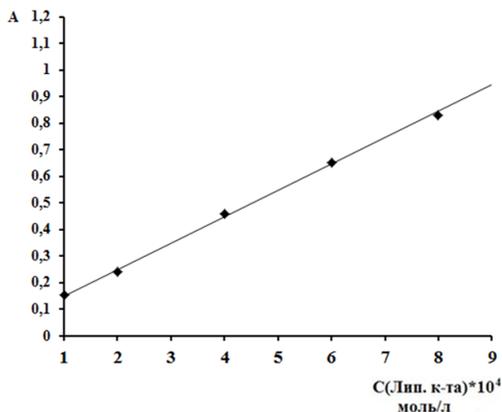


Рисунок 1. Градуировочный график для определения липовой кислоты, стабилизатор — диэтиловый эфир; $\lambda=400\text{нм}$, $\text{pH}=7$, $l=1\text{ см.}$, ПЭ 5400В

Из представленного графика видно, что закон Бугера-Ламберта-Бера соблюдается в интервале концентраций от $1 \cdot 10^{-4}$ до 10^{-3} моль/л. Уравнение градуировочной прямой имеет вид:

$$y = (0,05 \pm 0,004) + (100 \pm 10)x$$

В клинической практике липовую кислоту часто назначают в комплексе с другими препаратами, поэтому было проведено исследование применимости разработанной методики в присутствии никотиновой кислоты и пиридоксина (таблица 2).

Таблица 2.
**Результаты определения липоевой кислоты в присутствии
 сопутствующих лекарственных средств**

Сопутствующее лекарственное средство	Введено (мкг/мл)	Найдено (мкг/мл)	$X_{cp} \pm \frac{S \cdot t}{\sqrt{n}}$
Никотиновая кислота	85	83,7	83,7±2,51

Хорошая воспроизводимость результатов и допустимые значения погрешности при определении липоевой кислоты в присутствии никотиновой кислоты говорят о возможности применения разрабатываемой методики на практике. Таким образом, разработанная чувствительная методика определения липоевой кислоты позволяет косвенно определить содержание лекарственного вещества, обладающего восстановительными свойствами, по реакции взаимодействия с медью (II) и 1,10-фенантролином в присутствии диэтилового эфира в качестве стабилизатора, в ходе которой образуется окрашенный комплекс $[Cu(Phen)_2]^+$.

Список литературы:

1. Будников Г.К., Зиятдинова Г.К. Антиоксиданты как объекты биоаналитической химии // Журнал аналитической химии. 2005 — 731 с.
2. Харкевич Д.А. Фармакология. М.: Медицина, 1980. — 544 с.

4.2. МЕДИЦИНСКАЯ ХИМИЯ

СОРБЦИОННОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ ИОНОВ ЖЕЛЕЗА (III) ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ

Диденко Татьяна Александровна

*канд. хим. наук, доцент ОмГУ им. Ф.М. Достоевского,
РФ, г. Омск*

E-mail: tatiana.a.didenko@gmail.com

Веревкина Ольга Анатольевна

*студент ОмГУ им. Ф.М. Достоевского,
РФ, г. Омск*

E-mail: chemwork@mail.ru

SORPTION EXTRACTION OF IRON (III) IONS FROM WATER SOLUTIONS

Tatiana Didenko

*candidate of chemical sciences, Associate Professor
of Omsk State University n.a. F.M. Dostoyevsky,
Russia, Omsk*

Olga Verevkina

*student of Omsk State University n.a. F.M. Dostoyevsky,
Russia, Omsk*

АННОТАЦИЯ

Подземные воды многих источников имеют повышенную концентрацию ионов железа (III), препятствующую безопасному применению в водоснабжении населения. С целью разработки эффективного сорбционного материала для извлечения ионов железа (III) из водной среды получен окисленный углеродминеральный сорбент, для которого установлены закономерности сорбции ионов железа (III). Проведено сравнение сорбционной способности

по отношению к ионам железа (III) окисленного сорбента и исходного углеродминерального материала.

ABSTRACT

Underground waters a lot of sources have the increased concentration of iron (III) ions and it interferes safe application in the water supply of population. For the purpose of development of effective sorption material for extraction of iron (III) ions from water, the oxidized carbon-mineral sorbent is received. For this sorbent consistent patterns of sorption of ions of iron (III) of model water solutions are determined. Comparison of sorption ability in relation to iron (III) ions of the oxidized sorbent and initial carbon-mineral material is carried out.

Ключевые слова: подземная вода; сорбция; ионы железа (III), углеродминеральный материал; окисление; карбоксильные группы.

Keywords: underground water; sorption; iron (III) ions; oxidation; carbon-mineral material; carboxyl groups.

В настоящее время пресные воды подземных источников играют значительную роль в водообеспечении населения многих стран. При этом наблюдается тенденция к увеличению доли подземных вод в питьевом водоснабжении, что объясняется, в первую очередь, их стабильным составом и защитой от техногенных источников загрязнения благодаря естественным барьерам. Тем не менее, благодаря процессам вымывания из водовмещающих пород в подземных водах повышенными являются показатели содержания железа, органических веществ, общей минерализации [3]. Западно-Сибирский экономический регион расположен в пределах крупного одноименного артезианского бассейна, на территории которого формируются значительные запасы подземных вод, однако по территории района эти запасы распределены неравномерно. В наименее благоприятных условиях находятся Омская и южная часть Тюменской областей, где развиты главным образом минерализованные воды с повышенным содержанием железа, в связи с чем требуется их водоподготовка для обеспечения стандартов питьевой воды [2; 5].

В подземных водах присутствует, в основном, растворенное двухвалентное железо в виде ионов Fe^{2+} . Трехвалентное железо появляется после контакта воды с воздухом, а также после направленного применения таких окислителей как кислород воздуха, хлор, озон, перманганат калия. Однако даже после удаления образующейся гидроксида $Fe(OH)_3$, концентрация железа (III) в подземной воде превышает концентрацию, установленную

СанПиН [6] для питьевой воды. Поэтому перспективным является применение сорбционного метода для доведения подземной воды до стандартов питьевой воды.

Целью настоящей работы является изучение возможности извлечения ионов железа (III) из водных растворов окисленным углеродминеральным сорбентом, полученным из природного повсеместно распространенного сырья сапропеля.

Ранее было показано, что обработка 30% раствором пероксида водорода углеродминерального материала, полученного карбонизацией сапропеля [1; 7], приводит к получению окисленного углеродминерального сорбента. Полученный в результате окисления углеродминеральный сорбент имеет на своей поверхности не только силанольные [4], но и карбоксильные группы, что должно улучшить катионообменные свойства по сравнению с исходным углеродминеральным материалом (табл.).

Таблица 1.

Концентрация функциональных групп

	Содержание, ммоль/г		
	карбоксильных	лактонных	сумма карбоксильных и лактонных групп
Исходный материал	0,03±0,01	0,06±0,01	0,09±0,01
Окисленный сорбент	0,15±0,02	0,07±0,01	0,22±0,02

Для окисленного углеродминерального сорбента нами установлена зависимость величины сорбции ионов железа (III) от равновесной концентрации. Для этого были приготовлены растворы ионов железа с концентрацией 0,1—1,0 мг/мл и постоянным значением $pH = 1,0$. Навеска сорбента помещалась в раствор с заданной концентрацией, продолжительность контакта фаз составляла 24 часа, т:ж = 1:40. После сорбции раствор отделялся и анализировался на содержание ионов железа. Построенная по экспериментальным данным изотерма сорбции ионов железа (III) представляет собой выпуклую кривую, выходящую на плато. Для описания сорбции применено уравнение Лэнгмюра, исходя из которого графически определена величина предельной сорбции A_{∞} и константа сорбционного равновесия K . Уравнение Лэнгмюра, удовлетворительно описывающее полученные данные:
$$a = 32,0 \cdot \frac{21 \cdot C}{1 + 21 \cdot C}$$
 Линейная

корреляция достоверная значима с доверительной вероятностью 0,95 ($R^2_{\text{табл.}} = 0,95$; $R^2_{\text{расч.}} = 0,99$). Рассчитанная статическая обменная емкость окисленного сорбента по ионам железа (III) составляет $32,0 \pm 1,0$ мг/г.

Установлено, что окисленный углеродминеральный сорбент обладает высокими кинетическими характеристиками по отношению к ионам железа (III). Для этого установлена зависимость величины сорбции ионов железа от продолжительности контакта фаз. Показано, что равновесие сорбции достигается через 5 часов, время полусорбции составило 1 час.

В одинаковых условиях проведено сравнение величин сорбции ионов железа (III) на исходном углеродминеральном материале и окисленном сорбенте. Процесс сорбции проводили из раствора ионов железа (III) концентрацией 1 г/л, pH раствора 1,0, продолжительность контакта фаз 5 часов. Величина сорбции ионов железа (III) на исходном углеродминеральном материале составила $15,3 \pm 0,7$ мг/г, на окисленном сорбенте $31,7 \pm 0,7$ мг/г. Увеличение величины сорбции в 2 раза подтверждает целесообразность окисления углеродминерального материала с целью увеличения его катионообменной способности по отношению к ионам железа.

Таким образом, показано, что окислением углеродминерального материала может быть получен сорбент, способный извлекать ионы железа (III) из водной среды. Повсеместная распространенность и возобновляемость сапропеля как исходного сырья для получения углеродминерального материала делает окисленный углеродминеральный сорбент из сапропеля перспективным материалом для обезжелезивания подземных вод.

Список литературы:

1. Адеева Л.Н., Коваленко Т.А. Очистка воды от органических веществ и ионов металлов углеродминеральным сорбентом из сапропеля // Журнал прикладной химии. — 2012. — Т. 85. — № 4. — С. 535—541.
2. Домнин С.Г., Корсак М.Н. Влияние химического состава подземных вод на здоровье населения России // Вестн. С.-Петерб. гос. мед. акад. им. И.И. Мечникова. — 2004. — № 1 (5). — С. 67—70.
3. Зекцер И.С. Подземные воды как компонент окружающей среды. М.: Научный мир, 2001. — 328 с.
4. Коваленко Т.А., Адеева Л.Н. Углеродминеральный сорбент из сапропеля для комплексной очистки сточных вод // Химия в интересах устойчивого развития. — 2010. — Т. 18. — № 2. — С. 189—195.

5. Ничипор В.В. Рациональные методы и режимы обезжелезивания подземных вод — Мн.: БелНИИНТИ, 1991. — 20 с.
6. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества (утверждены Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 26.09.2001). 53 с.
7. Способ комплексной очистки сточных вод углеродминеральным сорбентом из сапропеля: пат. 2414430 Рос. Федерация: МПК⁵¹ C02F1/28 B01J20/16 B01J20/20 / Л.Н. Адеева, Т.А. Коваленко; заявитель и патентообладатель Омский гос. университет им. Ф.М. Достоевского. — № 2009144870/05; опубл. 20.03.2011, Бюл. № 8.

Научное издание

**«ЕСТЕСТВЕННЫЕ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ
НАУКИ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ»**

Сборник статей по материалам
XXXV международной научно-практической конференции

№ 10 (34)
Октябрь 2015 г.

В авторской редакции

Подписано в печать 11.10.15. Формат бумаги 60x84/16.
Бумага офсет №1. Гарнитура Times. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 6,75. Тираж 550 экз.

Издательство АНС «СибАК»
630049, г. Новосибирск, Красный проспект, 165, офис 4.
E-mail: mail@sibac.info

Отпечатано в полном соответствии с качеством предоставленного
оригинал-макета в типографии «Allprint»
630004, г. Новосибирск, Вокзальная магистраль, 3