

**АКАДЕМИЯ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ
«ACADEMY OF NATURAL HISTORY»**

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ
ЖУРНАЛ ПРИКЛАДНЫХ
И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

**INTERNATIONAL
JOURNAL OF APPLIED
AND FUNDAMENTAL
RESEARCH**

Журнал основан в 2007 году
The journal is based in 2007
ISSN 1996-3955

Двухлетний импакт-фактор
РИНЦ = 0,514

Пятилетний импакт-фактор
РИНЦ = 0,257

№ 10 2022

Научный журнал
Scientific journal

Журнал International Journal of Applied and Fundamental Research (Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований) зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свидетельство ПИ № ФС 77-60735.

Подписной индекс по электронному каталогу «Почта России» – ПИ140

Электронная версия размещается на сайте www.rae.ru

The electronic version takes places on a site www.rae.ru

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

к.м.н. Н.Ю. Стукова

Ответственный секретарь

к.м.н. М.Н. Бизенкова

EDITOR

Natalia Stukova

Senior Director and Publisher

Maria Bizenkova

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

д.б.н., проф. Абдуллаев А. (Душанбе); к.б.н. Алиева К.Г. (Махачкала); д.х.н., к.ф.-м.н., проф. Алоев В.З. (Чегем-2); д.б.н., проф. Андреева А.В. (Уфа); к.географ.н., доцент Аничкина Н.В. (Липецк); к.ф.-м.н. Барановский Н.В. (Томск); д.б.н., доцент Белых О.А. (Иркутск); д.т.н., проф. Бурмистрова О.Н. (Ухта); д.т.н., доцент Быстров В.А. (Новокузнецк); д.м.н., проф. Гарбуз И.Ф. (Тирасполь); д.ф.-м.н., проф. Геворкян Э.А. (Москва); д.х.н., проф. Гурбанов Г.Р. (Баку); д.ветеринар.н., доцент Ермолина С.А. (Киров); к.т.н. Есенаманова М.С. (Атырау); к.ф.-м.н., д.п.н., проф. Ефремова Н.Ф. (Ростов-на-Дону); д.м.н. Жураковский И.П. (Новосибирск); д.т.н., доцент Ибраев И.К. (Темиртау); к.т.н., доцент Исмаилов З.И. (Баку); д.б.н., с.н.с. Кавцевич Н.Н. (Североморск); д.т.н., проф. Калмыков И.А. (Ставрополь); д.б.н. Кокорева И.И. (Алматы); д.г.-м.н., доцент Копылов И.С. (Пермь); к.б.н., доцент Коротченко И.С. (Красноярск); к.с.-х.н., доцент Кряжева В.Л. (Нижний Новгород); д.ф.-м.н., доцент Кульков В.Г. (Волжский); д.б.н. Ларионов М.В. (Балашов); д.б.н., к.с.-х.н., доцент Леонтьев Д.Ф. (Иркутск); д.географ.н., к.б.н., проф. Луговской А.М. (Москва); д.г.-м.н., с.н.с. Мельников А.И. (Иркутск); д.т.н., проф. Несветаев Г.В. (Ростов-на-Дону); д.с.-х.н. Никитин С.Н. (п. Тимирязевский); д.фарм.н., доцент Олешко О.А. (Пермь); д.с.-х.н., с.н.с., проф. Партоев К. (Душанбе); к.п.н., доцент Попова И.Н. (Москва); д.т.н., проф. Рогачев А.Ф. (Волгоград); д.м.н., с.н.с., доцент Розыходжаева Г.А. (Ташкент); д.г.-м.н. Сакиев К.С. (Бишкек); д.т.н., проф. Сугак Е.В. (Красноярск); д.ветеринар.н., проф. Трефилов Б.Б. (Санкт-Петербург); д.м.н., проф. Чарышкин А.Л. (Ульяновск); д.географ.н., проф. Чодураев Т.М. (Бишкек); д.б.н., проф. Шалпыков К.Т. (Бишкек); к.х.н. Шарифуллина Л.Р. (Москва); д.п.н., проф. Щирин Д.В. (Санкт-Петербург)

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЖУРНАЛ ПРИКЛАДНЫХ
И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

INTERNATIONAL JOURNAL OF APPLIED
AND FUNDAMENTAL RESEARCH

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНТИ.

Сведения о журнале ежегодно публикуются в международной справочной системе по периодическим и продолжающимся изданиям «Ulrich's Periodicals directory» в целях информирования мировой научной общественности.

Журнал представлен в ведущих библиотеках страны и является рецензируемым.

Журнал представлен в НАУЧНОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ БИБЛИОТЕКЕ (НЭБ) –
головном исполнителе проекта по созданию Российского индекса научного
цитирования (РИНЦ) и имеет импакт-фактор Российского индекса научного
цитирования (ИФ РИНЦ).

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ = 0,514.

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ = 0,257.

Учредитель, издательство и редакция:
ООО НИЦ «Академия Естествознания»

Почтовый адрес: 105037, г. Москва, а/я 47

Адрес редакции и издателя: 410056, г. Саратов, ул. им. Чапаева В.И., д. 56

ISSN 1996-3955

Тел. редакции – 8-(499)-704-13-41

Факс (845-2)-47-76-77

E-mail: edition@rae.ru

Зав. редакцией Т.В. Шнуровозова

Техническое редактирование и верстка Е.Н. Доронкина

Корректор Е.С. Галенкина, Н.А. Дудкина

Подписано в печать – 31.10.2022

Дата выхода номера – 30.11.2022

Формат 60х90 1/8

Типография

ООО НИЦ «Академия Естествознания»

410035, Саратовская область, г. Саратов, ул. Мамонтовой, д. 5

Распространение по свободной цене

Усл. печ. л. 11,25

Тираж 500 экз.

Заказ МЖПиФИ 2022/10

© ООО НИЦ «Академия Естествознания»

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

СТАТЬИ

- НАКОПЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ЭПИФИТНОМ ЛИШАЙНИКЕ
HYPOGYMNIA PHYSOIDES В МИКРОМЕСТООБИТАНИЯХ НА БЕРЕЗЕ
И РЯБИНЕ В ХВОЙНЫХ ЛЕСАХ
Катаева М.Н., Беляева А.И. 7
- ПРОЦЕССЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБМЕНА В ТКАНЯХ ПОЛЕВКИ-ЭКОНОМКИ
В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННОГО УРОВНЯ РАДИОАКТИВНОСТИ
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДИНАМИКИ ЧИСЛЕННОСТИ
Кудяшева А.Г. 13

ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

СТАТЬЯ

- ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ УСЛОВИЙ
И ОСНОВНЫЕ ОГРАНИЧЕНИЯ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ
НА НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ НА ПРИМЕРЕ
КОВЫКТИНСКОГО ГАЗОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ
Шипицын Е.А. 18

МЕДИЦИНСКИЕ НАУКИ

СТАТЬИ

- ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ МЕДИЦИНСКИХ ЭФФЕКТОВ
ПЛАЦЕБО, ИСХОДЯ ИЗ УЧЕНИЯ О ДОМИНАНТЕ АКАДЕМИКА
А.А. УХТОМСКОГО
Ананьев В.Н., Прокопьев Н.Я., Ананьева О.В., Гуртовой Е.С. 22
- ДИНАМИКА ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫМИ
НОВООБРАЗОВАНИЯМИ МУЖСКОГО И ЖЕНСКОГО НАСЕЛЕНИЯ
В ЧУВАШСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ В 2016–2020 ГГ.
*Шамитова Е.Н., Москвичев Е.В., Гурьянова Е.А., Сугутская А.Н.,
Макаров А.Г., Михайлов Е.А.* 28

КЛИНИЧЕСКИЙ СЛУЧАЙ

- РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННАЯ АНГИОСАРКОМА
СРЕДОСТЕНИЯ ПОСЛЕ ЛЕЧЕНИЯ ЛИМФОМЫ ХОДЖКИНА
Огнерубов Н.А., Антипова Т.С., Караваева Г.С. 35

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

СТАТЬИ

- ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННОЕ ПОКРЫТИЕ НА ОСНОВЕ
КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКОЙ КОМПОЗИЦИИ,
МОДИФИЦИРОВАННОЙ ОКСИДОМ ЦЕРИЯ
Акимова А.С., Филиппова Л.С. 40

ТОПЛИВНЫЕ БРИКЕТЫ ИЗ КЕКА

Темникова Е.Ю., Богомолов А.Р., Горина В.З., Вилисов Н.Д. 45

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ**СТАТЬИ**О ПРИРОДЕ ДВИЖЕНИЯ ПО ИНЕРЦИИ В ПРЕДПОЛОЖЕНИИ
БЛИЗКОДЕЙСТВИЯ

Ромм Я.Е. 50

КОЛЕБАНИЯ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ
С ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТЬЮ

Сенницкий В.Л. 77

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ**СТАТЬИ**СТРУКТУРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНТЕРКАЛЯЦИИ
ГРАФИТА КИСЛОТАМИ

Гриднев А.А. 81

КИНЕТИКА ИЗМЕНЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ПРОДУКТОВ
РАДИОЛИЗА БЫТОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД В ПРИСУТСТВИИ
НАНО- γ - Al_2O_3 ПОД ДЕЙСТВИЕМ γ -ИЗЛУЧЕНИЯ

Курбанов М.А., Мамедова Н.Т., Кулиева У.А. 86

CONTENTS

BIOLOGICAL SCIENCES

ARTICLES

- ACCUMULATION OF HEAVY METALS IN EPIPHYTIC LICHEN
HYPOGYMNA PHYSOIDES IN MICROHABITATS
ON BIRCH AND MOUNTAIN ASH IN CONIFEROUS FORESTS
Kataeva M.N., Belyaeva A.I. 7
- ENERGY METABOLISM PROCESSES IN THE TISSUES
OF THE TUNDRA VOLE UNDER CONDITIONS OF INCREASED LEVEL
OF RADIOACTIVITY DEPENDING ON POPULATION DYNAMICS
Kudyasheva A.G. 13

GEOLOGICAL AND MINERALOGICAL SCIENCES

ARTICLE

- CHARACTERISTICS OF NATURAL AND MAN-MADE CONDITIONS
AND MAIN LIMITATIONS OF NATURE MANAGEMENT IN OIL
AND GAS FIELDS ON THE EXAMPLE OF THE KOVYKTA GAS FIELD
Shipitsyn E.A. 18

MEDICAL SCIENCES

ARTICLES

- PHYSIOLOGICAL MECHANISMS OF PLACEBO MEDICAL
EFFECTS BASED ON THE DOCTRINE OF THE DOMINANT
OF ACADEMICIAN A.A. UKHTOMSKY
Anan'ev V.N., Prokopenko N.Ya., Anan'eva O.V., Gurtovoy E.S. 22
- DYNAMICS OF THE INCIDENCE OF MALIGNANT
NEOPLASMS OF THE MALE AND FEMALE POPULATION
IN THE CHUVASH REPUBLIC IN 2016–2020
*Shamitova E.N., Moskvichev E.V., Guryanova E.A.,
Sugutskaya A.N., Makarov A.G., Mikhaylov E.A.* 28

CLINICAL CASE

- RADIATION-INDUCED MEDIASTINAL ANGIOSARCOMA
AFTER TREATMENT OF HODGKIN'S LYMPHOMA
Ognerubov N.A., Karavaeva G.S., Antipova T.S. 35

TECHNICAL SCIENCES

ARTICLES

- ELECTRICAL INSULATION COATING BASED ON ORGANOSILICON
COMPOSITION MODIFIED WITH CERIUM OXIDE
Akimova A.S., Filippova L.S. 40

FUEL BREQUETS FROM CAKE

Temnikova E.Yu., Bogomolov A.R., Gorina V.Z., Vilisov N.D. 45

PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES
ARTICLES

 ON THE NATURE OF INERTIA MOTION UNDER
 THE ASSUMPTION OF PROXIMITY

Romm Ya.E. 50

 OSCILLATIONS OF A HYDRO-MECHANICAL SYSTEM
 WITH A VISCOUS LIQUID

Sennitskiy V.L. 77

CHEMICAL SCIENCES
ARTICLES

STRUCTURAL MODELLING OF GRAPHITE INTERCALATION BY ACIDS

Gridnev A.A. 81

 KINETICS OF CHANGES IN THE CONCENTRATION
 OF RADIOLYSIS PRODUCTS OF DOMESTIC WASTEWATER
 IN THE PRESENCE OF NANO- Γ - Al_2O_3 BY THE Γ -RADIATION

Kurbanov M.A., Mamedova N.T., Gulieva U.A. 86

СТАТЬИ

УДК 574.472:582.29

НАКОПЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ЭПИФИТНОМ ЛИШАЙНИКЕ *HYPOGYMNIA PHYSODES* В МИКРОМЕСТООБИТАНИЯХ НА БЕРЕЗЕ И РЯБИНЕ В ХВОЙНЫХ ЛЕСАХ

Катаева М.Н., Беляева А.И.

ФГБУН Ботанический институт им. В.Л. Комарова Российской академии наук,
Санкт-Петербург, e-mail: mkmarikat@gmail.com

Изучены концентрации микроэлементов в эпифитных лишайниках и их субстратах в болотных и лесных сообществах подзоны средней тайги на северо-востоке Ленинградской области. Определено содержание химических элементов в эпифитном лишайнике *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. (Parmeliaceae). Изучено содержание тяжелых металлов в *H. physodes* в связи с влиянием кроны березы пушистой в разных микроместообитаниях, на стволах и ветвях березы в сообществе ельника кустарничково-сфагнового. Выявлено влияние кроны березы пушистой на накопление микроэлементов в лишайнике. На стволах молодых деревьев березы пушистой на краю болота в талломах лишайника до 2,50 раз ниже концентрации Mn по сравнению с березой и рябиной в подлеске под пологом леса. Лишайник на молодых деревьях березы пушистой при слабом влиянии крон накапливает меньше Mn, по сравнению с местообитанием на березе повислой под пологом сосняка. Концентрации Zn в талломах лишайников на стволах березы в 1,73 раза более высокие по сравнению со стволами рябины. По сравнению с листьями березы пушистой и повислой, в лишайнике *H. physodes* на стволах и ветвях березы содержание микроэлементов выше – Pb в 3,2–9,3 раза, Cd в 1,57–2,54 раз, Fe в 5,9–13 раз. В лишайниках и субстратах обнаружены низкие содержания тяжелых металлов, характеризующие отсутствие техногенного загрязнения в юго-восточном Приладожье.

Ключевые слова: эпифитные лишайники, средняя тайга, микроэлементы, *Hypogymnia physodes*, *Betula pubescens*, рябина

ACCUMULATION OF HEAVY METALS IN EPIPHYTIC LICHEN *HYPOGYMNIA PHYSODES* IN MICROHABITATS ON BIRCH AND MOUNTAIN ASH IN CONIFEROUS FORESTS

Kataeva M.N., Belyaeva A.I.

Komarov Botanical Institute RAS, Saint Petersburg, e-mail: mkmarikat@gmail.com

Concentrations of microelements in lichens and substrates in mire and forest communities in the middle taiga subzone the North-East of the Leningrad Region were studied. The content of chemical elements in epiphytic lichen *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. (Parmeliaceae) was determined. The content of heavy metals in *H. physodes* was studied in connection with the influence of pubescent birch crown in different microhabitats on trunks and branches in the dwarf-shrub-sphagnum Norway spruce forest. The influence of crown of pubescent birch on the accumulation of microelements in lichens was established. Lichen thalli on the trunks of young pubescent birch trees on the margin of mire differ from birch and rowan trunks in the undergrowth under forest canopy by concentration of Mn which is lower up to 2,50 times. Lichen on young trees of pubescent birch with weak influence of crowns accumulates less Mn compared to habitat on silver birch under canopy of pine forest. The content of Zn in lichen thalli on birch trunks is 1,73 times higher compared to lichens on rowan trunks. The content of microelements in lichen *H. physodes* on trunks and branches of birch is higher (Pb by 3,2–9,3 times, Cd 1,57–2,54 times, Fe 5,9–13 times) than in leaves of pubescent birch and silver birch. Concentrations of heavy metals in lichens and substrates that were found are reflected the absence of technogenic pollution of the South-Eastern Ladoga region.

Keywords: epiphytic lichens, middle taiga, microelements, *Hypogymnia physodes*, *Betula pubescens*, rowan

В регионе северо-запада европейской части России мало данных по содержанию микроэлементов в эпифитных лишайниках. В сопоставлении с соседними районами не установлен уровень загрязнения лишайников и не выявлены фоновые концентрации тяжелых металлов на разных видах форофитов. Особенностью территории южного берега Ладожского озера является широкое распространение болот в комплексе с лесами. В перспективных охраняемых лесных территориях около Ладоги отмечено высокое разнообразие видов лишайников [1, 2]. В южной части Ладожско-Онежского перешейка в лесных сообществах распростра-

нены береза повислая *Betula pendula* Roth. и береза пушистая *B. pubescens* Ehrh. Береза повислая предпочитает более сухие и светлые местообитания, береза пушистая – более сырые местообитания, окраины болот.

В среднетаежной подзоне широко распространены лесные сообщества, в которых древесный ярус образован двумя-тремя видами. По сравнению с другими форофитами, содержание микроэлементов в лишайниках на березе менее изучено. Биологические особенности березы как древесной породы могут определять отличия в биоаккумуляции тяжелых металлов в лишайниках. Береза имеет собирающий тип кроны,

с интенсивным стоком осадков по стволам, что может способствовать обогащению микроэлементного состава лишайников. Влияние сомкнутого древостоя формирует в пространстве крон градиенты влажности и температуры. Развитая крона деревьев сосны рассеивает атмосферные осадки.

Роль пород древесного яруса как эдификатора в условиях заболоченных лесов и болот снижена. Известно, что для роста и развития лишайников важными условиями являются влагообмен с атмосферой, освещенность местообитаний. Под пологом лесного сообщества образуется влажный микроклимат, который благоприятен для развития лишайников. В заболоченных сообществах и на болотах с разреженным древесным ярусом на эпифитные лишайники действуют такие экологические факторы, как высокая относительная влажность воздуха и интенсивная освещенность. Градиент влажности, обычный под пологом леса, изменяется. Для болот характерен особый микроклимат и высокая влажность воздуха. В открытых сильно освещенных местообитаниях болот при отсутствии влияния полога леса на древесном субстрате разнообразие лишайников снижается.

Исследование проводилось для выявления влияния экологических условий полога соснового леса и кроны березы на накопление тяжелых металлов в эпифитных лишайниках в различных микроместообитаниях, по сравнению с условиями роста на молодых деревьях березы пушистой в ельнике кустарничково-сфагновом. Лишайники, растущие на древесных породах в подлеске, находятся под влиянием осадков, прошедших через кроны древостоя. В дренированных лесах в подлеске обычный вид листовых пород – рябина обыкновенная, содержание микроэлементов в лишайниках на рябине ранее не было изучено. Представляет интерес определение накопления кадмия в лишайнике на березе.

Цель исследования – определить содержание тяжелых металлов в виде *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl., сем. Parmeliaceae, растущем на березе, по сравнению с рябиной в ярусе подлеска сосняка, в гидроморфных и дренированных условиях в среднетаежной подзоне.

Материалы и методы исследования

Образцы эпифитного лишайника *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. собирали в двух сообществах: в сосняке кустарничково-зеленомошном, в дренированных условиях и в ельнике кустарничково-сфагновом, краевая часть болота в июле–августе 2018–2019 гг. Район исследования – подзона сред-

ней тайги, северо-запад европейской части в южной части Ладожско-Онежского перешейка, юго-восток побережья Ладожского озера, бассейн р. Свирь, северо-восток Ленинградской области, Лодейнопольский район. Над уровнем моря высота 24–26 м. Локальные источники атмосферного загрязнения в районе отсутствуют.

В сосняке кустарничково-зеленомошном древостой образует сосна обыкновенная *Pinus sylvestris* L., встречается береза повислая *Betula pendula* Roth. В древесном ярусе и подлеске – рябина *Sorbus aucuparia* L., можжевельник, ольха, сосна. Возраст сообщества около 90–110 лет, пожаром не повреждено. В редкостойном ельнике кустарничково-сфагновом при интенсивном освещении эпифитные лишайники поселяются под кронами тонких берез на стволиках и ветвях, в кронах ели. На краю болота лишайник собирали в разных микроместообитаниях на стволиках и ветвях березы пушистой. Возраст низкорослой ели европейской (2,0–2,2 м) в ельнике кустарничково-сфагновом – 95 лет, определен по радиальным спилам основания стволов. При этом диаметр стволов ели при основании очень небольшой, всего 3,8–4,0 см. На высоте 1,3 м диаметр ствола ели 2,54 см. Возраст березы пушистой – 31 год, диаметр оснований стволов – 6,0–6,3 см. Высота березы 2,5–3,0 м.

В сосняке лишайники собраны на стволах березы повислой (диаметр 18–25 см) и на молодых невысоких рябинах (высота 1,5–2 м, диаметр стволика на 1,3 м 1,0–1,4 см). В ельнике кустарничково-сфагновом лишайники собирали на березе пушистой в двух типах микроместообитаний, на ветвях с диаметром 0,5 см толщины и на гладкой корке стволов. Высота сбора проб лишайников и корки стволов 1,3 м.

Размер талломов *H. physodes* – 4–5 см. Образцы собирали на двух-трех деревьях вида форофита. В местообитаниях лишайников также собирали субстрат, пробы корки стволов и листья березы. Образцы лишайников складывали в бумажные пакеты, высушивали в лаборатории до воздушно-сухого веса, сушили в термостате (40 °C). Пробы озоляли при 450 °C в муфеле, золу растворяли при нагревании в 2 N HCl, фильтровали через фильтр «синяя лента». Концентрации химических элементов определяли на ААС Квант-АФА, Россия, в двух аналитических повторностях. Данные обрабатывали в Microsoft Excel 2010.

Результаты исследования и их обсуждение

В лесных сообществах лишайник *Hypogymnia physodes* – обычный вид с широкой

экологической амплитудой на разных видах форофитов. На болотах деревья из-за недостатка питания и неблагоприятного водного режима низкорослые. На болотах лишайники осваивают ветви в низко расположенных кронах деревьев [3]. Особенность роста лишайников на болотах с влажным микроклиматом – это отсутствие выраженных зон развития по вертикали, обычных в дренированных лесах. В разреженном ельнике кустарничково-сфагновом лишайники, включая кустистые виды р. *Bryoria*, растут на ветвях и стволах берез, при затенении, начиная с нижней части стволов на высоте 30–50 см.

При анализе в лишайниках на стволах и ветвях березы в ельнике кустарничково-сфагновом обнаружены довольно низкие концентрации металлов – Ni, Cu, Pb, Cd (табл. 1).

Под пологом сосняка к ярусу подлеска поступают обогащенные микроэлементами осадки, прошедшие сквозь кроны верхнего яруса. Тяжелые металлы в талломах *H. physodes* содержатся в низких концентрациях, что свидетельствует об отсутствии техногенного влияния на сообщество. Под пологом леса и разных видах форофитов в *H. physodes* менее сильно изменяются концентрации других микроэлементов по сравнению с Zn и Mn. Концентрации Zn в *H. physodes* на ветвях и стволах березы – 82,2–82,7 мг/кг соответственно. Лишайники на стволах и ветвях березы пушистой в ельнике кустарничково-сфагновом накапливают Zn. Следует отметить, что содержание Mn в *H. physodes* на березе пушистой в двух микроместообитаниях выше содержания Fe или сопоставимое. На стволах и ветвях березы в лишайнике *H. physodes* содержание Mn – 306–358 мг/кг, что выше, чем на коротких (30–80 см) живых и сухих ветвях в слаборазвитой кроне низкорослой ели, 193 мг/кг [4]. Высокое содержание Zn на березах

в *H. physodes* под пологом дренированного сосняка и в ельнике кустарничково-сфагновом слабо различается. Под пологом сосняка *H. physodes* на березе и рябине содержит до 2,50 раз больше Mn (819–831 мг/кг). Под пологом леса Mn и Zn – обычные биогенные элементы в составе осадков. Кроны низкорослой березы пушистой в ельнике на краю болота способствуют обогащению состава лишайника. Состав лишайника в ельнике отличается при небольшой кроне и молодом возрасте березы, 31 год.

Два вида берез довольно хорошо отличаются по форме кроны, наличию трещин с темной корой на стволах березы повислой, опушению побегов березы пушистой. Листья березы обычно накапливают довольно высокие концентрации Zn, 156 мг/кг и, как многие древесные породы тайги, высокие концентрации Mn [5–7]. Лишайники на березе накапливают Zn. На березе пушистой лишайник *H. physodes* содержит концентрацию Zn в 1,73 раза выше, чем на рябине под пологом сосняка, 47,6 мг/кг. Под пологом леса в подлеске на рябине и стволах березы повислой лишайник накапливает Mn больше, чем на молодых деревьях березы пушистой на краю болота. Кроме этого, в лишайнике на стволах березы пушистой из-за стока осадков содержание Cd (0,460 мг/кг), несколько выше.

Древесная растительность влияет на концентрацию ионов в составе осадков под кронами [8, 9]. В лесном сообществе различается интенсивность смыва и растворения веществ в кронах разных форофитов. В кроне деревьев осадки частично стекают по стволам, часть проходит сквозь ветви и листья. Состав осадков, стекающих по коре стволов деревьев, обогащается дольше, в большей степени, чем при поступлении сквозь листья кроны. Минеральные элементы вымываются из крон березы с дождевыми осадками.

Таблица 1

Средние концентрации металлов в лишайниках на березе в разных микроместообитаниях ельника и под пологом сосняка, мг/кг сухой массы

Субстрат	Ni	Cu	Cd	Pb	Fe	Mn	Zn
<i>Ельник кустарничково-сфагновый, береза пушистая</i>							
Ствол березы 1,3 м	1,22±0,54	3,74±0,14	0,460±0,12	5,15±1,2	308±25	306±51	82,7±7
Ветви березы 1,3–1,5 м	1,23±0,46	3,40±0,44	0,361±0,01	4,54±0,7	333±26	358±81	82,2±18
Средние на березе	1,23±0,01	3,57±0,54	0,410±0,07	4,85±0,4	320±18	332±37	82,5±1
<i>Сосняк кустарничково-зеленомошный, под кронами</i>							
Ствол березы повислой	1,11±0,22	2,99±0,24	0,457±0,23	4,96±1,2	190±11	819±6	79,0±6
Ствол и ветви рябины	1,40±0,67	3,28±0,49	0,437±0,01	5,11±0,7	304±96	831±91	47,6±9

В составе подкроновых осадков березы в лесах средней тайги выявлено возрастание поступления водорастворимых форм Zn и Mn [8]. В составе осадков под кронами молодых лиственных лесов возрастает концентрация Mn, Zn, Ni, Cu по сравнению с атмосферными осадками [9]. Состав осадков под пологом леса связан с содержанием химических элементов в листьях и хвое, вымыванием и выщелачиванием из древесной растительности. Листья берез, хвоя сосны и ели интенсивно накапливают Mn [5, 6]. В фоновых условиях листья березы содержат высокие концентрации Mn, до 1600 мг/кг, Zn, до 156 мг/кг [5, 6]. Листья березы в фоновых условиях Карелии более интенсивно, чем хвоя, накапливают Cd – 0,67 мг/кг [7]. В листьях березы более высокая зольность и более высокие концентрации микроэлементов, по сравнению с хвоей сосны и ели [5, 6].

Строение кроны березы, в которой ветви прикреплены под острым углом к стволу, способствует интенсивному стоку по стволам. Крона березы – собирающая осадки. Осадки, стекающие по стволам и проходящие через кроны березы, обогащаются минеральными элементами, которые накапливаются в лишайниках. Состав лишайников на стволах березы, с повышением в них концентраций Zn и Mn, а также Cd, соответствует особенностям листьев.

На лишайники влияют экологические условия внутри лесного сообщества. Состав лишайников в связи с влиянием естественных факторов среды, видов фитофитов менее изучен, чем при промышленном загрязнении и в городской среде.

Химический состав эпифитных лишайников с их атмосферным способом питания связан с составом осадков. В промышленных выбросах тяжелые металлы поступают в фитоценозы при осаждении аэрозолей, пыли, также в виде растворенных соединений со снеговыми и дождевыми осадками. Тяжелые металлы могут быть обнаружены в лесных сообществах далеко от источни-

ков выбросов. Типичное техногенное влияние на леса в западноевропейских странах, на севере европейской части – поступление кислых осадков с высокими концентрациями тяжелых металлов в растворимой и твердой форме аэрозолей.

Древесный полог снижает интенсивность испарения, колебания температуры воздуха и почвы. Смешанный состав лесных сообществ способствует сохранению теплового баланса. При прохождении осадков через полог леса возрастает доля растворимой, геохимически активной части тяжелых металлов. Кадмий и Pb – одни из наиболее опасных металлов, загрязняющих экосистемы с дальним переносом выбросов. Кадмий при низких концентрациях высокотоксичный элемент, подвижен в водной и газовой фазе, способен к вторичному накоплению. При поступлении элементов в таллом лишайников и накоплении тяжелых металлов главный механизм – катионообменные свойства клеточных стенок [10].

В лишайнике выше содержание микроэлементов по сравнению с коркой березы (табл. 2).

Корка более молодых деревьев березы (береста) отличается большей влажностью [11], что может отчасти способствовать поселению лишайников. Концентрации микроэлементов в корке и листьях березы низкие, находятся в пределах естественных фоновых значений при отсутствии влияния загрязнения. В листьях березы пушистой по сравнению с *H. physodes* содержатся гораздо более высокие концентрации Mn, 1035 мг/кг, что выше, чем в лишайнике, в 1,26–3,11 раза. Концентрации Zn в листьях 105–175 мг/кг, выше до 1,33–2,12 раза. По сравнению с листьями берез пушистой и повислой, в лишайнике *H. physodes* на стволах и ветвях березы накапливается больше Pb (в 3,2–9,3 раза), Cd (в 1,57–2,54 раза), Fe (в 5,9–13 раза). В крайней части болота в лишайнике также выше Ni и Cu (2,2 раза). В лишайнике в фоновых условиях концентрация Cd в 4,15–4,56 раз, Pb в 14–16 раз выше, чем в корке ствола березы.

Таблица 2

Концентрации металлов в субстрате лишайников корке ствола и листьях березы, мг/кг

Субстрат	Ni	Cu	Cd	Pb	Fe	Mn	Zn
<i>Ельник кустарничково-сфагновый, береза пушистая</i>							
Корка стволиков	0,14±0,01	2,44±0,08	0,090±0,03	0,30±0,02	6,82±0,1	228±37	37,9±8
Листья березы	0,23±0,01	1,62±0,11	0,261±0,03	1,50±0,05	24,6±0,1	1035±17	175±18
<i>Сосняк кустарничково-зеленомошный, береза повислая</i>							
Корка стволов	0,17±0,01	2,80±0,45	0,110±0,07	0,35±0,35	7,20±0,1	244±7	38,0±0,40
Листья березы	2,35±1,40	2,79±0,07	0,180±0,01	0,53±0,02	32,0±2	1927±65	105±30

Сравнение накопления микроэлементов в эпифитном лишайнике на разных видах форофитов и в разных экологических условиях показало следующее. В лишайниках в микроместообитаниях на стволах березы пушистой на краю болота в ельнике содержание Cd, 0,460 мг/кг, выше на 27 %, чем на ветвях. Это, по-видимому, связано с влиянием питания лишайников на стволах березы обогащенным микроэлементами стоком, вымыванием Cd из листьев кроны березы, собирающей осадки. В листьях берез в Карелии фоновые концентрации Cd – 0,67 мг/кг [7]. По-видимому, поступление Cd в лишайники с осадками на стволах березы происходит как за счет концентрирования собирающим типом кроны березы с осадками из пылевых фракций воздуха, так и со стоком по стволам при вымывании из листьев. Концентрация Cd в лишайнике на рябине в подлеске низкая (0,437 мг/кг). Содержание Cd и Pb в лишайниках в ельнике не выше фоновых концентраций [10, 12]. Накопление Pb в *H. physodes* на обоих видах берез близкое – 4,85–4,96 мг/кг и слабо отличается на рябине. Не обнаружено загрязнения лишайников тяжелыми металлами.

В подкروновых осадках, прошедших древесный полог, концентрации ионов увеличиваются, из листьев выщелачивается Mn, в зависимости от возраста леса [9, 13]. В лишайнике под пологом соснового леса заметно повышение содержания Mn по сравнению с открытыми местообитаниями края болота с отсутствием древесного полога.

В заповеднике «Кивач» изучен видовой состав лишайников. Установлены концентрации тяжелых металлов в *H. physodes* [12]. Нужны данные о влиянии загрязнения на лишайники в юго-восточном Приладожье. В бассейне р. Свирь на северо-востоке области в заболоченных лесах отмечен значительный возраст деревьев ели (150 лет) и видовое разнообразие лишайников [1, 2]. При сохранении видового разнообразия лишайников сфагновые ельники представляют ценный тип сообществ. Во влажных, заболоченных ельниках, в которых береза встречается в виде примеси в древостое, на березе возрастает число видов лишайников [14]. Лишайники способствуют увеличению запаса микроэлементов в лесах, но их масса незначительная. В ельнике 230-летнего возраста опад эпифитов 4,3 г/м² в год [15]. В разреженном ельнике поступление тяжелых металлов в большей степени определяется атмосферными источниками, кроны молодых берез влияют на микроэлементный состав лишайников слабо.

Заключение

Получены новые данные концентраций тяжелых металлов в эпифитном лишайнике *H. physodes* под пологом сосняка на стволах рябины и в микроместообитаниях на стволах и ветвях березы пушистой. В *H. physodes* и корке березы выявлены естественные фоновые концентрации микроэлементов, их можно применять для оценки степени загрязнения. В разных экологических условиях сообществ в связи с влиянием полога леса и возраста березы в лишайниках более резко различается содержание Mn. На стволах молодых деревьев березы пушистой на краю болота в лишайнике до 2,50 раз ниже концентрации Mn, чем под пологом леса. Под влиянием форофитов – двух видов березы в *H. physodes* накапливается Zn. Содержание Zn в *H. physodes* на стволах березы выше в 1,66–1,73 раза, по сравнению с рябиной. В лишайнике концентрация микроэлементов выше, чем в листьях березы и корке стволов. Влияние форофита на лишайники нужно учитывать при биоиндикации загрязнения.

Работа выполнена по плановой теме НИР 2021–2023 гг. № 121032500047-1 «Растительность европейской части России и северной Азии: разнообразие, динамика и принципы организации». Авторы благодарят канд. биол. наук н.с. П.Н. Катютину, БИН РАН, за определение возраста деревьев березы и ели.

Список литературы

1. Сорокина И.А., Степанчикова И.С., Гимельбрант Д.Е., Ликсакова Н.С., Спирин В.А., Кушневская Е.В., Гагарина Л.В., Ефимов П.Г. Краткие очерки трех планируемых ООПТ востока Ленинградской области // Ботанический журнал. 2017. Т. 102. № 9. С. 1270–1289.
2. Ликсакова Н.С., Сорокина И.А. Редкие растительные сообщества на проектируемых для охраны территориях на востоке Ленинградской области // Ботанический журнал. 2017. Т. 102. № 2. С. 232–248.
3. Толпышева Т.Ю. Элементы структуры сообществ эпифитных лишайников олиготрофных болот Среднего Приобья (Западная Сибирь) // Вестник Московского университета. 2004. Сер. 16. Биология. № 4. С. 42–46.
4. Катаева М.Н., Беляева А.И. Содержание тяжелых металлов в эпифитных лишайниках лесных и болотных фитоценозов средней тайги // Вестник Тверского государственного университета. Серия: биология и экология. 2021. Т. 64. № 4. С. 164–169.
5. Сухарева Т.А. Особенности накопления химических элементов древесными растениями северотаежных лесов на фоновых и техногенно нарушенных территориях // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2017. № 14. С. 438–441.
6. Сухарева Т.А. Элементный состав листьев древесных растений в условиях техногенного загрязнения // Химия в интересах устойчивого развития. 2012. № 20. С. 369–376.
7. Кузнецова Т.Ю., Ветчинникова Л.В., Титов А.Ф. Аккумуляция тяжелых металлов в различных органах и тканях

березы в зависимости от условий произрастания // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2015. № 1. С. 86–94.

8. Шильцова Г.В., Ласточкина В.Г. Влияние полога соснового и березового леса на химический состав осадков в заповеднике «Кивач» // Труды Карельского научного центра РАН. 2006. № 10. С. 180–184.

9. Пристова Т.А. Химический состав атмосферных осадков, подкroновых и поверхностных вод в среднетаежных лиственных насаждениях послерубочного происхождения // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 2. С. 63–69.

10. Табаленкова Г.Н., Далькэ И.В., Головки Т.К. Элементный состав биомассы некоторых видов лишайников бореальной зоны на Европейском Северо-Востоке // Известия Самарского НЦ РАН. 2016. Т. 18. № 2. С. 221–225.

11. Грязькин А.В., Беяева Н.В., Данилов Д.А., Ванджурак Г.В., Ван Хунг Ву Изменчивость толщины и массы

кoры березы по длине ствола // Известия вузов. Лесной журнал. 2019. № 2. С. 32–39.

12. Дьяконов В.В., Козлов В.А., Коржицкая З.А. Оценка загрязнения тяжелыми металлами и серой лесных экосистем Республики Карелия // Проблемы антропогенной трансформации лесных биогеоценозов Карелии. 1996. Петрозаводск. С. 167–182.

13. Пристова Т.А. Задержание атмосферных осадков пологом древостоя березово-елового молоднякa в условиях средней тайги Республики Коми // Лесной вестник. 2022. Т. 26. № 1. С. 28–34.

14. Пыстина Т.Н. Лишайники таежных лесов европейского Северо-Востока (подзоны южной и средней тайги). Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 240 с.

15. Дымов А.А., Бобкова К.С., Тужилкина В.В., Ракина Д.А. Растительный опад в коренном ельнике и лиственно-хвойных насаждениях // Известия вузов. Лесной журнал. 2012. № 3. С. 7–18.

УДК 599.323.43:577.125:539.16.04

ПРОЦЕССЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБМЕНА В ТКАНЯХ ПОЛЕВКИ-ЭКОНОМКИ В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННОГО УРОВНЯ РАДИОАКТИВНОСТИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДИНАМИКИ ЧИСЛЕННОСТИ

Кудяшева А.Г.

ФГБУН «Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения
Российской академии наук», Сыктывкар, e-mail: kud@ib.komisc.ru

Представлены результаты исследований изменений активности ферментов цикла Кребса и гликолиза: сукцинат-, пируват- и лактатдегидрогеназы (СДГ, ПДГ, ЛДГ) – в головном мозге и сердечной мышце у половозрелых приплодов самцов полевки-экономки (*Alexandromus oeconomus* Pallas (L. 1778)), обитающих в условиях северной тайги на участках с нормальным и повышенным фоном естественной радиоактивности (Ухтинский район Республики Коми) в разные фазы популяционного цикла. Уровень активности СДГ, ПДГ и ЛДГ в исследуемых тканях существенно различается у животных в зависимости от уровня γ -радиации участка их обитания. Эффективность влияния ионизирующего излучения (ИИ) в малых дозах у полевок радиового участка на уровень метаболизма более выражена в фазы спада и подъема численности животных, исключая экологические стрессы на уровне организма, когда отмечали низкие величины коэффициентов линейной корреляции между сравниваемыми значениями активности дегидрогеназ. Сдвиги активности ферментов в тканях у полевок опытного участка свидетельствуют, с одной стороны, об изменении процессов дегидрирования, с другой – о приспособлении их к действию ионизирующего излучения в среде обитания. Применение расчета коэффициентов линейной корреляции между сравниваемыми показателями рекомендуем использовать в качестве радиочувствительных тестов в оценке состояния различных группировок мелких грызунов.

Ключевые слова: повышенный фон радиации, фазы численности, дегидрогеназы, энергетический обмен, корреляции

ENERGY METABOLISM PROCESSES IN THE TISSUES OF THE TUNDRA VOLE UNDER CONDITIONS OF INCREASED LEVEL OF RADIOACTIVITY DEPENDING ON POPULATION DYNAMICS

Kudyasheva A.G.

Institute of Biology Komi Science Center of RAS, Syktyvkar, e-mail: kud@ib.komisc.ru

The results of studies of changes in the activity of Krebs cycle enzymes and glycolysis: succinate-, pyruvate- and lactate dehydrogenases (SDH, PDH, LDH) in the brain and heart muscle of mature male tundra voles (*Alexandromus oeconomus* Pallas (L.1778)), inhabiting in the conditions of the northern taiga in areas with normal and increased background of natural radioactivity (Ukhta region of the Komi Republic) in different phases of the population cycle. The level of activity of SDH, PDH and LDH in the studied tissues differs significantly in animals depending on the level of γ -radiation in their habitat. The effectiveness of ionizing radiation (IR) at low doses in tundra field voles on the level of metabolism is more pronounced in the phases of decline and rise in the number of animals, excluding environmental stresses at the level of the body, when low values of the coefficients of linear correlation between the compared values of dehydrogenase activities were noted. Shifts in the activity of enzymes in the tissues of the tundra voles of the experimental site indicate, on the one hand, a change in dehydrogenation processes, and, on the other hand, their adaptation to the action of ionizing radiation in the habitat. We recommend using the calculation of linear correlation coefficients between the compared indicators as radiosensitive tests in assessing the state of various groups of small rodents.

Keywords: increased background radiation, population phases, dehydrogenases, energy exchange, correlations

Изучение влияния неблагоприятных экологических факторов, к которым можно отнести повышенный радиационный фон окружающей среды, на организм животных является одной из актуальных задач радиоэкологии [1]. С 1931 по 1956 г. в Ухтинском районе Республики Коми работало крупное предприятие, продукцией которого был радий, в результате чего возникли участки с повышенным уровнем естественной радиоактивности [2]. Изучение параметров метаболического гомеостаза в организме мышевидных грызунов в условиях повышенного фона естественной радиоактивности является частью мониторинговых

исследований по изучению эффектов радиационного воздействия в малых дозах на представителей биоты: полевку-экономку (*Microtus oeconomus* Pall), которая является индикаторным видом на техногенно загрязненных радиоактивных территориях (Республика Коми, 30-километровая зона аварии на ЧАЭС) [3]. Динамика численности является одним из основных экологических факторов популяционного гомеостаза, которая способна оказывать воздействие на уровень функционирования клеточно-тканевых систем и уровень метаболизма в целом [2, 4]. Известно, что сложные полиферментные комплексы пируват- и сукцинатдегидроге-

наз являются наиболее чувствительными к облучению систем клетки, связанных с циклом трикарбоновых кислот [5].

Цель исследования – определить динамику активности ферментов цикла Кребса и гликолиза и оценить взаимосвязи биохимических параметров в головном мозге и сердечной мышце у половозрелых самцов полевков-экономок в разные фазы популяционного цикла, обитающих в условиях нормального и повышенного уровня естественной радиоактивности.

Материалы и методы исследования

Отлов мелких грызунов проводили последовательно в течение четырех лет в один и тот же летний период (июль-август) на контрольном и опытном участках стандартными живоловушками. Участки отлова полевков были расположены в зоне средней тайги Республики Коми и сходны по климатическим и биотопическим условиям. Относительную численность животных выражали в числе пойманных полевков на 100 ловушко-суток (табл. 1). Опытный участок – радиевый (площадью 1,8 га), расположен в пойме рек и образован в результате выхода на поверхность подземных вод со средним содержанием радия до $3,25 \cdot 10^{-9}$ г/л. Уровень внешнего γ -фона на исследуемых участках был одинаков во все годы анализа. Результаты γ -съемки на радиевом стационаре показали, что мощность дозы внешнего γ -облучения изменялась от 50 до 2000 мкР/ч, на контрольном участке она варьировала в пределах 10–15 мкР/ч, что относится к фоновым значениям. По данным полевой γ -спектрометрии для контрольного участка характерно среднее кларковое содержание естественных радиоактивных элементов в почве: для радия-226 – $8 \cdot 10^{-13}$ г/г, тория-232 – $6,0 \cdot 10^{-6}$ г/г, а для радиевого стационара: радия-226 – $66,4 \cdot 10^{-12}$ г/г, тория-232 – $2,6 \cdot 10^{-6}$ г/г. Удаленность контрольного участка от опытного составляет 12 км. Поступление радиоактивных веществ в организм полевков происходит главным обра-

зом с кормами, с которыми они потребляют долгоживущие изотопы уранового и ториевого рядов (^{238}U , ^{234}U , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{210}Po и т.д.). Среднепопуляционные дозовые нагрузки для половозрелых полевков на опытном участке составляют от внешнего облучения 3–30 мГр/год, что соответствует дозовым нагрузкам от внутреннего облучения 12–40 мГр/год и от эксхалций радона в среднем 13 мГр/год [2, 3]. Исследуемые участки отличались по уровню внешнего γ -облучения и содержанию естественных радионуклидов в почве и растительности, но были сходными по экологическим условиям. После содержания отловленных полевков в условиях вивария (от 1–2 суток) во избежание влияния суточной периодичности на интенсивность метаболических процессов исследования осуществляли в соответствии с рекомендациями, приведенными в [6]. В анализе использованы полевки одной возрастной группы: половозрелые прибылые сеголетки, самцы, из них с контрольного участка – 42 особи, с радиевого участка – 63. В качестве биохимических показателей в гомогенатах тканей (полушария головного мозга, сердечная мышца) полевки-экономки анализировали активность ферментов дегидрирования: сукцинатдегидрогеназа (сукцинат:оксидоредуктаза СДГ, КФ 1.3.99.1), пируватдегидрогеназа (пируват:липоат-оксидоредуктаза, ПДГ, КФ 1.2.4.1), лактатдегидрогеназа (лактат:НАД⁺-оксидоредуктаза, ЛДГ, КФ 1.1.1.27). Подробное описание определения активности ферментов в тканях животных представлено в работе [2]. Данные полевых исследований подвергали стандартному статистическому анализу с использованием при сравнении данных между опытными и контрольными группами t-критерию Стьюдента. Определение уровня взаимосвязей между значениями активности ферментов определяли по величинам коэффициентов линейной корреляции, которые вычисляли по специально разработанной программе для микрокалькулятора МК-61.

Таблица 1

Относительная численность полевки-экономки на контрольном и опытном участках (количество особей на 100 ловушко-суток)

Фаза численности	Контрольный участок	Радиевый участок
Первый пик численности	11,1	15,4*
Депрессия	2,3	4,6*
Подъем численности	6,9	7,7
Второй пик численности	36,6	41,6

Примечание: различия с контрольным участком статистически значимы при $p \leq 0,05^*$.

Результаты исследования и их обсуждение

В зависимости от функции органа определены межорганные различия в активности исследуемых ферментов. В головном мозге, по сравнению с сердечной мышцей полевок с контрольного и опытного участков, имеют более высокий уровень активности СДГ и ПДГ, что свидетельствует в первую очередь о доминировании процессов ферментов цикла Кребса в этой ткани по сравнению с процессами гликолиза. У полевок радиевого участка в некоторых случаях возрастает коэффициент вариации активности исследуемых ферментов, на что указывает увеличение степени изменчивости показателей в результате воздействия внешнего и внутреннего облучения на организм животных. В сердечной мышце у самцов опытного участка коэффициенты вариации активности ферментов были достоверно выше, чем у аналогичной возрастной группы животных контрольного участка: от 24,8 до 31,0%, а у полевок с контрольного участка имели значения от 18,8 до 27,5%. Следовательно, под воздействием радиационных факторов в природной среде возрастает амплитуда изменений активности ферментов, что связано с появлением в группах животных некоторого числа особей с признаками, значения которых выходят за пределы изменчивости у группы полевок контрольного участка. Вычисленные коэффициенты линейной корреляции между активностями ферментов у полевок контрольного участка в обеих тканях в год подъема численности животных выявили тесную взаимосвязь в большинстве случаев между этими показателями, которые имели значения от 0,90 до 0,99. У полевок радиевого участка в головном мозге, по сравнению с данными у животных контрольного участка, наблюдали значимые различия в сторону активизации процессов дегидрирования в фазы спада и подъема численности полевок (рис. 1), когда уровень активности ПДГ, СДГ был выше на 30–60%. В годы высокой численности (первый и второй пик) отмечены разнонаправленные сдвиги активности ферментов: если в первый год незначительно отличались по уровню активности СДГ и ПДГ, то во второй год высокой численности уже отмечали достоверное снижение активности ферментов цикла Кребса. В сердечной мышце у самцов радиевого стационара (рис. 2) по сравнению с полемками контрольного участка наблюдали наиболее значимые изменения активности всех трех исследуемых ферментов в годы низкой численности. Если в год спа-

да численности у полевок опытного участка отмечали достоверное снижение активности ферментов цикла Кребса и активизацию процесса гликолиза, то в фазу подъема численности установлен низкий уровень активности ПДГ и ЛДГ (рис. 2). В зависимости от функции органа определены межорганные различия в активности исследуемых ферментов. Высокая активность ЛДГ в сердечной мышце у прибылых половозрелых полевок радиевого стационара, отмеченная в год спада численности, указывает на повышение гликолитических процессов с возрастом [7]. О наличии сдвигов активности исследуемых ферментов и наступающей дискоординации процессов дегидрирования у полевок опытного участка можно судить по различной направленности отклонений у них от показателей зверьков контрольного участка и по более низким значениям коэффициентов линейной корреляции. У полевок опытного участка по сравнению с данными у животных контрольного участка отмечали разнонаправленные сдвиги в уровне активности ферментов цикла Кребса и гликолиза: в разные фазы численности полевок, как повышение, так и снижение активности ферментов в исследуемых тканях взрослых особей, что указывает на нарушения в координации действия ферментов. Эти изменения проявлялись сильнее в годы низкой численности полевок: фазы депрессии и спада. Полученные данные согласуются с данными белорусских ученых, отмеченными ранее в экспериментах у лабораторных животных под действием небольших доз хронического рентгеновского облучения [5] и получившими дальнейшее развитие этого направления исследований на кафедре биохимии в БГУ [8]. Повышение процессов гликолиза в сердечной мышце у полевок опытного участка может свидетельствовать, с одной стороны, о развитии процессов старения у животных, обитающих на радиевом участке [7], а с другой стороны, о проявлении ответной компенсаторной реакции [2]. Вероятно, что эти различия обязаны также не только действию повышенного уровня естественной радиоактивности, но и внутривидовым механизмам регуляции у мышевидных грызунов, которые у полевок с контрольного участка срабатывают иначе, чем у животных с радиевого стационара [3]. В годы высокой численности животных ослабление действия повышенного уровня радиоактивности в среде обитания можно объяснить активным внедрением в популяцию оседлых полевок-экономов, обитающих на территории с повышенным фоном радиации, мигрантов с сопредельных территорий [2, 9].

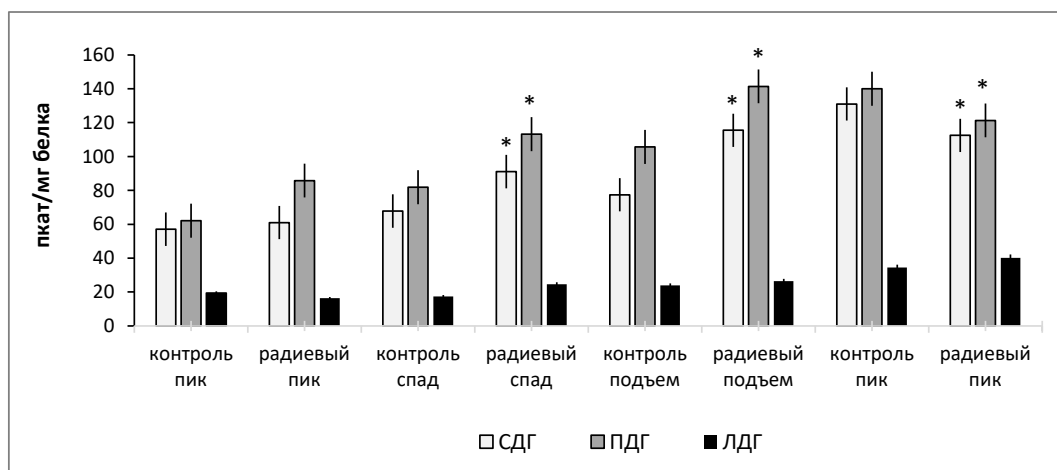


Рис. 1. Динамика активности ферментов (пкат/мг белка) в головном мозге половозрелых прибылых самцов полевков-экономов контрольного и опытного участков в разные фазы численности.
*Различия с контролем статистически значимы при $p \leq 0,05$

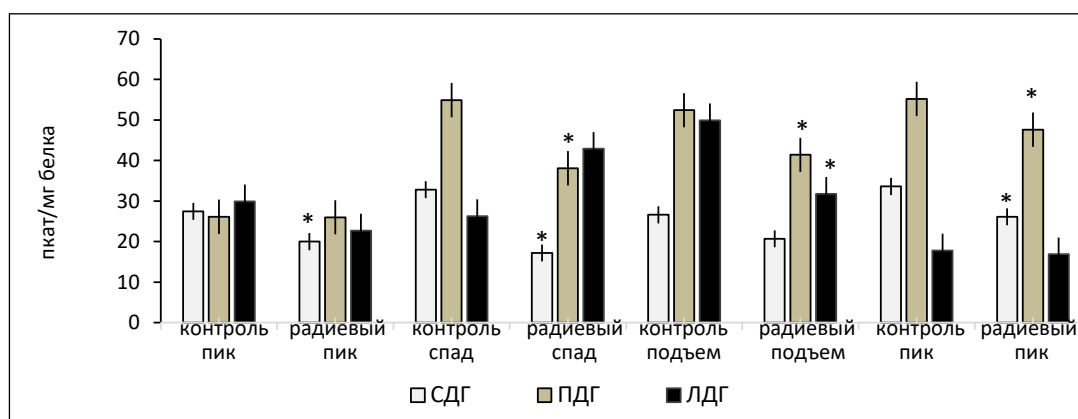


Рис. 2. Динамика активности ферментов (в пкат/мг белка) в сердечной мышце половозрелых прибылых самцов полевков контрольного и опытного участков в разные фазы численности животных.
*Различия между показателями у животных контрольного и радиового стационаров статистически значимы при $p \leq 0,05$

В противоположность этому в периоды депрессии и подъема численности животных, когда физиологическое состояние полевков более стабильное, отмечены наибольшие различия в уровне активности ферментов у полевков из хронически облучаемой популяции по сравнению с данными у полевков с контрольного участка. Неодинаковая направленность изменений активности дегидрогеназ в разные фазы популяционного цикла позволяет предположить, что численность животных может выступать в роли стрессующего фактора. Одной из причин неодинаковой по своей направленности сдвигов активности исследуемых ферментов в тканях полевков опытного участка в разные фазы популяционного цикла может являться также различное гормональное состояние зверьков, что подтверждается данными структурно-

функциональными изменениями надпочечников у этих же животных [10].

Корреляционный анализ между значениями активности ферментов в сердечной мышце у полевков радиового участка, в отличие от животных контрольного участка, показал, как правило, низкие коэффициенты корреляции между значениями активностями дегидрогеназ и отсутствие их взаимосвязи, что указывает о нарушениях в координации процессов дегидрирования (табл. 2) и дисбалансе процессов дегидрирования. В головном мозге у полевков опытного участка только в соотношении между ферментами цикла Кребса ПДГ – СДГ установлен низкий уровень коррелятивной связи, что косвенно указывает на резистентность ткани головного мозга по сравнению с сердечной мышцей.

Таблица 2

Значения коэффициента корреляции между активностью дегидрогеназ в изученных тканях полевок контрольного и радиевого участков

Орган	Контрольный участок			Радиевый участок		
	ПДГ – СДГ	ПДГ – ЛДГ	СДГ – ЛДГ	ПДГ – СДГ	ПДГ – ЛДГ	СДГ – ЛДГ
Сердечная мышца	0,678*	0,503	0,775*	-0,179	0,353	0,395
Головной мозг	0,988*	0,723*	0,664*	0,423	0,837*	0,837*

Примечание. различия между значениями коэффициента корреляции ферментов достоверны при $p \leq 0,05$. Приведены данные по объединенным выборкам за четыре года исследований.

Полученные результаты согласуются с данными экспериментов по влиянию одного хронического внешнего γ -облучения, имитирующего действие радиации на опытном участке, на этом же виде животных и их потомстве, где характер изменений активности ферментов цикла Кребса и гликолиза во многом совпадал по своей направленности и степени выраженности с теми, которые ранее наблюдали у полевок, обитающих в условиях повышенной естественной радиоактивности [2]. Эти данные подтверждают одинаковую природу возникающих нарушений в тканях у полевок-экономов в естественной среде обитания и в условиях эксперимента.

Заключение

Установлены изменения процессов дегидрирования у половозрелых самцов полевок-экономов, находящихся в разных радиоэкологических условиях, от анализируемой ткани, фазы популяционного цикла. У полевок радиевого участка исходный уровень процессов дегидрирования в головном мозге и сердечной мышце отличался от аналогичных значений у животных контрольного участка, и функционально-метаболические изменения в исследуемых тканях более выражены в годы низкой численности. При анализе радиационных эффектов у животных природных популяций следует учитывать состояние животных, находящихся в разных фазах популяционного цикла. Исследования взаимосвязей между скоординированными в норме показателями энергетического обмена обеспечивают процессы адаптации на клеточном уровне и позволяют более полно проанализировать степень неоднородности популяции полевки-экономки в условиях повышенного уровня естественной радиоактивности. Изменения активности дегидрогеназ в исследуемых тканях у полевок, обитающих на территориях с повышенным фоном естественной радиации, представляют собой вторичную реакцию вследствие нарушения

функционально временной организованности клетки. Они могут являться результатом активации отдельных звеньев процессов перекисного окисления липидов, что доказано на этих же популяциях полевок-экономов, обитающих в условиях техногенного загрязнения в республике Коми и на разных видах мышевидных грызунов в зоне радиоактивного загрязнения в 30-километровой зоне аварии на Чернобыльской АЭС [9].

Работа выполнена в рамках Государственного задания ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (№ 122040600024–5).

Список литературы

1. Алексахин Р.М., Гераськин С.А., Удалова А.А. Новейшие результаты исследований в области радиоэкологии // Вестник Российской Академии наук. 2015. Т. 85. № 4. С. 373–376. DOI: 10.7868/S0869587315020024.
2. Кудяшева А.Г., Шишкина Л.Н., Шевченко О.Г., Башлыкова Л.А., Загорская Н.Г. Биологические эффекты радиоактивного загрязнения в популяциях мышевидных грызунов. Екатеринбург: УрО РАН, 2004. 214 с.
3. Кудяшева А.Г., Ермакова А.В. Взаимосвязь морфофизиологических и биохимических показателей в печени полевок-экономов с природных участков с повышенным уровнем радиоактивности // Труды Карельского научного центра РАН. 2021. № 3. С. 91–102. DOI: 10.17076/eb1365.
4. Гашев С.Н. Динамика численности мелких млекопитающих и особенности ее прогнозирования в экологическом мониторинге // Вестник ТюмГУ. 2013. № 12. С. 140–150.
5. Черкасова Л.С., Пикулев А.Т., Тайц М.Ю. Метаболические сдвиги в митохондриях облученного организма, связанные с циклом трикарбоновых кислот. Минск: Наука и техника, 1977. 151 с.
6. ГОСТ 33044-2014 «Принципы надлежащей лабораторной практики». М.: Стандартинформ, 2015. 16 с.
7. Дубинская В.А. Онтогенез и современные теории старения человека (обзор литературы) // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2015. № 10. С. 26–36.
8. Орёл Н.М. Биохимическая экология и мониторинг окружающей среды: пособие. Минск: БГУ, 2019. 148 с.
8. Кудяшева А.Г. Эколого-биохимический анализ состояния популяций полевки-экономки на территории с повышенным уровнем естественной радиоактивности // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013. Т. 15. № 3–3. С. 1118–1121.
9. Ермакова О.В. Эколого-морфологический анализ эндокринных желез мелких млекопитающих из районов с повышенным естественным радиоактивным фоном // Таврический медико-биологический вестник. 2013. Т. 16. № 1–1. С. 86–92.

СТАТЬЯ

УДК 553.691

ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ УСЛОВИЙ И ОСНОВНЫЕ ОГРАНИЧЕНИЯ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ НА НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ НА ПРИМЕРЕ КОВЫКТИНСКОГО ГАЗОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**Шипицын Е.А.***ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет»,
Иркутск, e-mail: evgenships@mail.ru*

В статье были определены особенности учета природных и техногенных условий и основные ограничения природопользования на нефтегазовых месторождениях. В качестве материалов исследования выступали данные об особенностях геологии скважин Ковыктинского газового месторождения, при этом использовались методы обобщения, систематизации и анализа научной литературы по проблематике исследования. Отмечается, что современные станции и блоки для проведения исследований скважин обеспечивают операции геолого-технологического контроля и регистрации выходных данных во время бурения скважин. Геохимические исследования проводятся с целью обнаружения в процессе бурения интервалов, перспективных на насыщение углеводородами. Показано, что для обеспечения рациональных методов природопользования на Ковыктинском газовом месторождении в рамках извлечения лития из литийносных рассолов необходимо создание аналитической методики определения лития в газоконденсате и пластовой воде. Для этого важно применять весь спектр геохимических исследований, которые должны проводиться с целью обнаружения в процессе бурения интервалов, перспективных на насыщение углеводородами. Установлено, что для повышения эффективности поисково-разведочного бурения и обеспечения эффективной эксплуатации скважин необходимо проводить современные геофизические и лабораторные исследования с целью прогнозирования и выявления ограничений природопользования при добыче литийносных рассолов.

Ключевые слова: природопользование, нефтегазовые месторождения, характеристика, природные и техногенные условия, причины, безопасность

CHARACTERISTICS OF NATURAL AND MAN-MADE CONDITIONS AND MAIN LIMITATIONS OF NATURE MANAGEMENT IN OIL AND GAS FIELDS ON THE EXAMPLE OF THE KOVYKTA GAS FIELD**Shipitsyn E.A.***Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, e-mail: evgenships@mail.ru*

The article identified the features of accounting for natural and technogenic conditions and the main restrictions on nature management in oil and gas fields. The study materials were data on the features of the geology of the wells of the Kovykta gas field, while using the methods of generalization, systematization and analysis of scientific literature on the research issues. It is noted that modern stations and blocks for well research provide operations of geological and technological control and registration of output data during well drilling. Geochemical surveys are carried out in order to discover in the process of drilling intervals that are promising for saturation with hydrocarbons. It is shown that in order to ensure rational methods of environmental management at the Kovykta gas field in the framework of the extraction of lithium from lithium-bearing brines, it is necessary to develop an analytical method for determining lithium in gas condensate and formation water. To do this, it is important to apply the entire range of geochemical studies that should be carried out in order to detect intervals promising for saturation with hydrocarbons during the drilling process. It has been established that in order to increase the efficiency of prospecting and exploratory drilling and ensure the efficient operation of wells, it is necessary to carry out modern geophysical and laboratory studies in order to predict and identify environmental restrictions in the production of lithium-bearing brines.

Keywords: nature management, oil and gas fields, characteristics, natural and man-caused conditions, causes, safety

В условиях современных процессов развития энергетической отрасли одним из важнейших факторов обеспечения рациональных процессов разработки нефтегазовых месторождений является учет природных и техногенных условий организации процессов добычи, распределения и использования энергетических ресурсов. Главными требованиями к этим процессам является их экономическая обоснованность и экологическая безопасность [1]. Нефтегазодобывающая промышленность форми-

рует фундамент экономики страны путем обеспечения отраслей национального хозяйства необходимым сырьем, продуктами нефтепереработки и т.п. В рыночных и конкурентных условиях социально-экономического развития углубляются структурные диспропорции в общественном производстве, главными причинами которых являются противоречия между приоритетами хозяйственной и природоохранной деятельности, в частности в местах нефтегазодобычи. Экодеструктивные воздействия,

вызванные процессами нефтегазодобычи, приобретают макроэкономический масштаб и могут быть оценены через показатели ухудшения состояния окружающей природной среды. Действующие в России методические подходы к эколого-экономической оценке экодеструктивных влияний имеют ряд недостатков, не позволяющих в полной мере определить величину убытков у нефтегазодобывающих предприятий. В процессе нефтегазодобычи особенного внимания требует формирование подходов к эколого-экономической оценке отрицательных воздействий на окружающую среду на стадиях разведки, добычи, производства, транспортировки, использования нефти или газа и консервирования нефтяных или газовых скважин. При этом весьма важно учитывать различные природные и техногенные условия и основные ограничения природопользования на тех или иных нефтегазовых месторождениях. Это связано с тем, что рациональное природопользование в России достаточно часто реализуется в нефтегазовой добыче, сопряженной с наличием в месторождениях природных источников весьма ценных веществ и сырья. Например, в Ковыктинском и Ярактинском месторождениях, наряду с большими запасами газа, содержатся природные источники лития, что обуславливает реализацию принципов ограничения природопользования при добыче. Поэтому очень актуальной остается задача обеспечения учета природных и техногенных условий и основные ограничения природопользования на нефтегазовых месторождениях.

Исследованию теоретико-методических и практических аспектов оценки природных и техногенных условий и основных ограничений природопользования на нефтегазовых месторождениях посвящены труды многих отечественных и зарубежных ученых, в частности таких, как З.С. Алиев, О.Г. Васильев, Л.В. Самуилова, Дж.Р. Ли, Р.А. Ваттенбаргер и др. Комплексность социо-эколого-экономических проблем и наличие нерешенных научных и практических задач относительно интегральной эколого-экономической оценки природных и техногенных условий и основные ограничения природопользования на нефтегазовых месторождениях требуют более основательных исследований в этой отрасли, что и обусловило выбор темы, цели и задач исследования статьи.

Цель статьи – исследование природных и техногенных условий и основных ограничений природопользования на нефтегазовых месторождениях.

Материалы и методы исследования

В качестве материалов исследования выступали данные об особенностях геологии скважин Ковыктинского газового месторождения, при этом использовались методы обобщения, систематизации и анализа научной литературы по проблематике исследования.

Результаты исследования и их обсуждение

Добыча и переработка любых полезных ископаемых принадлежат к видам деятельности, которые составляют повышенную экологическую опасность [1]. Особенно это касается нефти и газа, добыча которых несет высокие риски загрязнения органическими и неорганическими веществами геологической среды, пожарную опасность и другие угрозы как окружающей среде, так и здоровью человека. Во время проведения экологического мониторинга на территории нефтегазового месторождения, обязательность исполнения которого регулируется действующим законодательством [2–4], важно различать нефтегазовые объекты по степени экологической опасности, так как от этого зависит распределение объемов опыта и количества точек наблюдения, объективность результатов мониторинга. Специалисты признают, что наиболее экологически опасными и разрушительными для окружающей среды являются загрязнения, связанные с аварийными разливами сопутствующих нефтегазовых продуктов пластовых вод, особенно во время неуправляемых нефтегазоводопроявлений и в открытых фонтанах во время бурения скважин и раскрытие залежей с аномально высоким пластовым давлением. Остаточное влияние таких аварий, особенно на подземные воды и геологические среды, может сохраняться в течение десятилетий, поэтому особую важность приобретает задача оценки влияния природных и техногенных условий и основные ограничения природопользования на нефтегазовых месторождениях [5].

Рассмотрим важность учета природных и техногенных условий и основные ограничения природопользования на Ковыктинском газовом месторождении. Пластовая вода на Ковыктинском газовом месторождении – это смесь различных компонентов, содержащая в том числе соединения лития. Соответственно, ее можно применять для его промышленной добычи, если концентрация литиевых соединений будет достаточна для экономически выгодного выделения. Для обеспечения рациональных методов природопользования на Ковык-

тинском газовом месторождении в рамках извлечения лития из литийносных рассолов необходимо создание аналитической методики определения лития в газоконденсате и пластовой воде. Для этого важно применять весь спектр геохимических исследований, которые должны проводиться с целью обнаружения в процессе бурения интервалов, перспективных на насыщение углеводородами.

Безопасные и эффективные геохимические методы исследования скважин для обеспечения эффективного природопользования на Ковыктинском газовом месторождении в рамках извлечения лития из литийносных рассолов должны включать отбор газовой смеси на выходе бурового раствора из устья скважины и разбивку газовой смеси на компоненты хроматографом типа «Хромопласт» (ГХ-П001.2М) в интервале 1 минуты. В ходе геохимических исследований проводится регистрация следующих параметров [5]:

- хроматографический анализ газовой смеси, % абс., путем покомпонентной регистрации концентрации углеводородных газов C1–C5, % абс. и % об.;
- суммарно концентрация углеводородных газов Σ (C1–C5), % абс.;
- суммарное содержание ВВГ в газовой смеси, % об.;
- обнаружение сероводорода;
- обнаружение углекислого газа;
- глубина выхода ГПС, м;
- определение окончательной газонасыщенности бурового шлама (с помощью термовакuumного дегазатора).

За счет применения современных методов исследования при анализе кривых газопотоков могут быть четко видны зоны, в которых к буровому раствору добавлена нефть и литий. При использовании промывочной жидкости на углеводородной основе для проведения анализа и оценки характера нефтегазонасыщения могут быть использованы показатели и коэффициенты качества газа GQR.

Технологические исследования обеспечивают регистрацию в режиме реального времени следующих технологических параметров [6]:

- глубина забоя скважины, м;
- глубина по вертикали, м (при бурении наклонно-направленных горизонтальных скважин);
- глубина нахождения долота, м;
- механическая скорость бурения, м/ч;
- подробный механический каротаж, мин/м;
- вес на крюке, т;
- погрузка на долото, т;

- скорость перемещения бурового инструмента, м/с;
- скорость вращения ротора, об/мин;
- крутящий момент на роторе, Нм;
- суммарное количество оборотов долота;
- давление на стояке, атм;
- привязка параметров к истинной глубине с учетом времени задержки;
- расходы бурового раствора на входе, л/с;
- поток бурового раствора на выходе, %;
- температура бурового раствора на входе и выходе, °C;
- плотность бурового раствора на входе и выходе, г/см³;
- объем бурового раствора в доливной емкости, м³.

Геологические исследования проводятся путем оперативного исследования шлама и керна на буровой в условиях повышенной концентрации лития в пластовой воде и газовом конденсате [7]:

- отбор проб шлама через каждые 5 м в непродуктивной части, через каждые 3 м в продуктивной части, и через каждый метр в продуктивных пластах (с повышенными газопоказателями);
- фактическая глубина выхода шлама, м;
- макро- и микроописание шлама;
- люминесцентно-битумный анализ;
- описание пород;
- фракционный состав проб шлама, %;
- карбонатность, %;
- плотность, г/см³;
- пористость, %;
- литологический состав шлама и керна;
- количественное содержание карбонатных веществ в образцах шлама и керна.

Существует много современных способов исследования нефтегазовых скважин с целью обнаружения эффективной концентрации лития в пластовой воде и газовом конденсате по данным, регистрируемому на поверхности [5]:

- увеличение скорости проходки;
- уменьшение крутящего момента на роторе;
- повышение нагрузки на крюке выше расчетного;
- увеличение уровня промывочной жидкости в приемных емкостях;
- изменение плотности выбуриваемой породы;
- наличие газа в промывочной жидкости и т.д.

Современные методы и способы безопасного и эффективного исследования нефтегазовых скважин включают технологии удаленного мониторинга их характеристик с использованием цифровых датчиков

и приборов для глубинных спусков с целью исследования параметров добычи.

При проведении исследований нефтегазовых скважин в настоящее время устанавливаются современные компьютеризированные станции «GeoTech 1.0/1.1/1.2/1.3» включающие в себя автоматизированную систему сбора данных с соответствующим лицензированным программным обеспечением, двойным комплектом датчиков, высокоточные хроматографические газоанализаторы и блоки подготовки газа, лабораторию с комплектом необходимых геологических приборов, посуду и химреагенты, необходимые для проведения анализов керна, шлама, а также комплект оборудования для двухсторонней связи, видеонаблюдения и передачи данных технологических параметров в онлайн-режиме [8]. Данные современные безопасные и эффективные методы производства работ по исследованию нефтегазовых скважин позволяют оптимизировать их продуктивность.

При обнаружении достаточной концентрации лития в пластовой воде и газовом конденсате на Ковыктинском газовом месторождении необходимо будет провести комплексный технико-экономический анализ для перспективного строительства установок по концентрации литиевых растворов прямо на промыслах и завода по производству соединений лития, которые наиболее востребованы атомной, медицинской, энергетической промышленностью.

Заключение

Процессы нефтегазодобычи сопровождаются экодеструктивными воздействиями на окружающую естественную среду и влиянием на состояние здоровья населения.

Проблема предупреждения и ликвидации экодеструктивных последствий в отрасли нефтедобычи, обеспечение эколого-экономической безопасности общества в местах нефтегазодобычи в долгосрочной перспективе нуждается в формировании новых подходов к управлению системой природопользования и охраны окружающей природной среды, в частности в части ма-

кроэкономического регулирования природоохранной деятельности в местах нефтедобычи. Решение этой проблемы заключается в усовершенствовании существующей системы управления производственно-хозяйственной деятельностью нефтегазодобывающих предприятий на основе концепции устойчивого развития.

Для обеспечения рациональных методов природопользования на Ковыктинском газовом месторождении в рамках извлечения лития из литийносных рассолов необходимо создание аналитической методики определения лития в газоконденсате и пластовой воде. Для этого важно применять весь спектр геохимических исследований, которые должны проводиться с целью обнаружения в процессе бурения интервалов перспективных на насыщение углеводородами.

Список литературы

1. Алиев З.С., Самуилова Л.В. Газогидродинамические исследования газовых и газоконденсатных пластов и скважин. М.: МАКС Пресс, РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2011. 337 с.
2. Алиев З.С., Котлярова Е.М. Определение основных параметров горизонтальных скважин. М.: РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2012. 228 с.
3. Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России и сопредельных странах: материалы VI Междунар. науч. конф. (Белгород, 12–16 октября 2015 г.). Белгород: Изд-во «ПОЛИТЕРРА», 2015. 429 с.
4. Джон Р. Ли, Ваттенбаргер Роберт А. Инжиниринг газовых резервуаров. М.: Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2014. 944 с.
5. Прыгаев А.К., Мурадов А.В., Дубинов Ю.С. Оптимизация конструкции и материального исполнения нефтегазового оборудования как основа создания эффективного способа добычи нефти // Губкинский университет в решении вопросов нефтегазовой отрасли России: сб. докладов III Региональной научно-технической конференции, посвященной 110-летию А.И. Скобло и 105-летию Г.К. Шрейбера (24–26 сентября 2019 г.). М., 2019. С. 115.
6. Фрай М.Е. Оценка современного состояния нефтяной промышленности России // Вестник Удмуртского университета. 2015. № 2–2. С. 75–85.
7. Капелькина Л.П., Бардина Т.В., Бакина Л.Г., Чугунова М.В., Герасимов А.О., Маячкина Н.В., Галдяниц А.А. Методика определения класса опасности буровых шламов М-БШ-02-2004. ФР. 1.39.2004.01104. СПб.: Издательство Политехнического ун-та. 2011. 21 с.
8. Чеботарев Н.Ф. Цифровая экономика нефтегазовой отрасли ТЭК России. М.: Проспект, 2020. 80 с.

СТАТЬИ

УДК 615.039:612.821

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ МЕДИЦИНСКИХ ЭФФЕКТОВ ПЛАЦЕБО, ИСХОДЯ ИЗ УЧЕНИЯ О ДОМИНАНТЕ АКАДЕМИКА А.А. УХТОМСКОГО

¹Ананьев В.Н., ²Прокопьев Н.Я., ³Ананьева О.В., ³Гуртовой Е.С.¹ГНЦ РФ «Институт медико-биологических проблем РАН», Москва,
e-mail: noradrenalin1952@mail.ru;²ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет», Тюмень, e-mail: pronik44@mail.ru;³ФГБОУ ВО «Тюменский государственный медицинский университет», Тюмень,
e-mail: olvasan@mail.ru, m_gurtovaya@mail.ru

Плацебо-эффект представляет определенную проблему для современной медицины, так как четко разработанные методы лечения в ряде случаев из-за плацебо не поддаются объяснению. В данной работе нами проведен анализ плацебо-эффекта с точки зрения учения о доминанте академика А.А. Ухтомского. Показано, что плацебо в ряде случаев представляет собой доминанту со всеми ее свойствами. Используя учение о доминанте, гораздо эффективнее предсказать и объяснить с точки зрения физиологии различные эффекты плацебо. В работе выдвигается гипотеза о физиологическом механизме действия плацебо-эффекта через образование доминанты лечения. Впервые рассматривается идея о том, что плацебо-эффект – результат формирования условного рефлекса первого порядка и соответствует по всем параметрам учению академика И.П. Павлова об условных рефлексах, органически структурно вписываясь в доминанту лечения. Результаты аналитического исследования показали, что применение плацебо-лекарств действует по принципу функциональной системы опережающего отражения действительности академика П.К. Анохина, что позволяет доминанте лечения действовать на опережение, улучшая эффективность работы доминанты лечения. Это позволило обобщить проявления действия плацебо при различных заболеваниях человека и показать, что образование доминанты при назначении плацебо вполне укладывается в классические механизмы нормальной и патологической физиологии.

Ключевые слова: плацебо, доминанта А.А. Ухтомского, учение И.П. Павлова об условных рефлексах, учение П.К. Анохина о функциональных системах, механизмы плацебо-эффекта

PHYSIOLOGICAL MECHANISMS OF PLACEBO MEDICAL EFFECTS BASED ON THE DOCTRINE OF THE DOMINANT OF ACADEMICIAN A.A. UKHTOMSKY

¹Ananьев V.N., ²Prokopen N.Ya., ³Ananьеva O.V., ³Gurtovoy E.S.¹Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow,
e-mail: noradrenalin1952@mail.ru;²Tyumen State University, Tyumen, e-mail: pronik44@mail.ru;³Tyumen State Medical University, Tyumen, e-mail: olvasan@mail.ru, m_gurtovaya@mail.ru

The placebo effect poses a certain problem for modern medicine, since well-developed methods of treatment in some cases cannot be explained due to placebo. In this paper, we analyzed the placebo effect from the point of view of the doctrine of the dominant of Academician A.A. Ukhtomsky. It is shown that placebo in some cases is a dominant with all its properties. Therefore, using the doctrine of the dominant, it is much more effective to predict and explain from the point of view of physiology the various effects of placebo. The paper hypothesizes on the physiological mechanism of the placebo effect through the formation of a dominant treatment. For the first time, the idea is considered that the placebo effect is the result of the formation of a conditioned reflex of the first order, and corresponds to all parameters of the teaching of academician I.P. Pavlov about conditioned reflexes, organically structurally fitting into the dominant treatment. The results of our work showed that the use of placebo drugs acts through the functional system of anticipatory reflection of the reality of Academician P.K. Anokhin and allows the dominant of treatment to act ahead of the curve, improving the effectiveness of the dominant of treatment. Our study allowed us to generalize the manifestations of the placebo effect in various human diseases and to show that the formation of a dominant when prescribing a placebo fits perfectly into the classical mechanisms of normal and pathological physiology.

Keywords: placebo, dominant A.A. Ukhtomsky, I.P. Pavlov's doctrine of conditioned reflexes, P.K. Anokhin's doctrine of functional systems, mechanisms of the placebo effect

Исследования показывают, что оценка общения с врачом должна быть сосредоточена на мнении пациентов, чтобы построить гармоничные отношения между врачом и пациентом. Более того, сосредоточение внимания на эмпатической заботе для уси-

ления эмпатии врача сделает общение с врачом эффективным и действенным, что в конечном итоге облегчает отношения между врачом и пациентом [1].

Древние врачи всегда использовали причудливые и странные методы для лечения

своих пациентов, обладая скудными, если таковые вообще были, знаниями анатомии и физиологии [2]. По мере того, как начали появляться анатомические и физиологические знания о строении и функции как животного, так и человеческого тела, необходимость научного объяснения многих медицинских методов лечения стала насущной задачей врачей и научного сообщества. Важный исторический период, в течение которого возник научный скептицизм в отношении эффективности некоторых медицинских средств, приходится примерно на вторую половину 1700 года и включает в себя такие методы лечения, как месмеризм, перкинизм и гомеопатия.

Ученые считают, что незнание эффекта плацебо, которое было распространено в прошлом, больше неприемлемо; вместо этого целью всех терапевтических исследований должна быть минимизация эффекта плацебо в клинических испытаниях, при одновременном использовании и максимизации его в клинической практике [3].

Ряд авторов считает, что плацебо-эффект выходит далеко за рамки традиционно предписываемого ему терапевтического контекста, а его изучение способствует пониманию природы психических функций и полезно для специалистов разных областей, в том числе психологов и педагогов [4].

В последующие годы было проведено множество экспериментов и оценок такого рода, и со временем они все больше и больше совершенствовались. Врачи осознали, что результатом многих методов лечения была не более чем спонтанная ремиссия или воображение, и они поняли, что для подтверждения эффективности лекарства необходимы тщательные испытания. Использование слова «плацебо» (что в переводе с латыни означает «Я буду рад») в клинических исследованиях появилось постепенно с течением времени для обозначения контрольной группы, которая получает фиктивное лечение, как это было сделано с фиктивным месмеризмом, фиктивными палочками в перкинизме и фиктивной гомеопатией. Поэтому слово «притворство» постепенно заменялось словом «плацебо». Другим важным моментом, который имел решающее значение для современного использования плацебо в клинических испытаниях, было растущее осознание того, что даже врачи и клинические исследователи подвержены воображению и предубеждениям. Это привело к использованию двойного слепого метода, при котором ни исследователь, ни пациент не знали характера тестируемой терапии [2].

Сегодня эффект плацебо, или реакция, является отличной моделью для понима-

ния того, как работает мозг. Плацебо использовались не только для подтверждения эффективности терапии, но и традиционно использовались в качестве примера мощного взаимодействия между разумом и телом. Например, в месмеризме и перкинизме основной вывод состоял в том, что воображение играло важную роль в терапевтическом результате, тем самым подчеркивая важную роль разума в модуляции ряда физиологических функций. Следуя этой психологической перспективе феномена плацебо, концепция плацебо на протяжении многих лет проникала в психологическую литературу [2, 4].

Учеными были получены данные эффектов плацебо и реакции на плацебо, что можно рассматривать с нескольких внутренних и внешних точек зрения. Внутренние факторы могут влиять на пациента и врача-исследователя. Ожидания пациентов и предыдущий опыт считаются двумя основными внутренними факторами, определяющими реакцию на плацебо. Другие детерминанты пациента включают в себя нейронные системы, находящиеся на лечении, ситуационные факторы и реакции на окружающую среду, а также личностные черты. Реакции на плацебо включают личностные факторы, такие как эмпатия, воспринимаемый опыт, клинические отношения с пациентом и вера врача в эффективность лечения. Внешние детерминанты включают тип дизайна исследования, влияние рекламы или культурной среды. Эти детерминанты действуют не изолированно, а скорее всего, образуют сложное взаимодействие, которое в конечном итоге влияет на стимулирование или сдерживание эффекта плацебо в клинических и исследовательских условиях [5].

Получены данные, что современные теории обучения предполагают, что кондиционирование в значительной степени зависит от обработки ошибок прогнозирования, которые сигнализируют о несоответствии между ожидаемыми и наблюдаемыми результатами. Это направление исследований обеспечивает основу, с помощью которой можно согласовать классические теории эффектов плацебо, ожиданий и обусловленности. Области мозга, связанные с обработкой ошибок прогнозирования (передняя поясная кора, орбито-фронтальная кора или прилежащее ядро), перекрываются с областями, участвующими в эффектах плацебо. Здесь рассмотрена возможность того, что величина объективных нейрохимических реакций на введение плацебо будет зависеть от индивидуальных сравнений ожидаемой эффективности. Сравнение ожиданий и результатов возникает как ког-

нитивный механизм, который помимо ассоциаций с вознаграждением, по-видимому, способствует формированию и устойчивости ответов на плацебо [6].

Недавно врачи обнаружили, что люди с остеоартритом лучше реагируют на лечение, которое направлено как на периферические, так и на центральные механизмы боли. Было обнаружено, что плацебо само по себе очень эффективно при остеоартрите [7].

В результате клинических исследований в кардиологии врачи получили данные, что эффект плацебо – это позитивный клинический результат, вызванный взаимодействием с лицом, осуществляющим уход, и системой здравоохранения в отсутствие биологически активного вмешательства. Такой подход успешно использовался на протяжении тысячелетий.

Реакция на плацебо является результатом взаимодействия психосоциальных механизмов, человеческих отношений и предубеждений, функционирующих в определенных нейроанатомических местах, с известными генами и нейротрансмиттерами. Это происходит с введением неактивного вещества или без него. Эффект плацебо возникает в результате активации опиоидных, каннабиноидных и дофаминергических путей, участвующих в вознаграждении, ожидании, кондиционировании и модуляции боли. Задействованы одиннадцать специфических анатомических особенностей головного мозга, выявленных с помощью позитронно-эмиссионной томографии и магнитно-резонансной томографии. Полиморфизмы в структурных генах катехоламин-О-метилтрансферазы и амидоксидазы жирных кислот значительно влияют на реакцию на плацебо. Эффект плацебо может быть важен для подавления симптомов при стенокардии, пароксизмальной фибрилляции предсердий и застойной сердечной недостаточности. В отсутствие преднамеренного обмана нет никаких этических проблем, и, учитывая его эффективность, пришло время подумать о том, как лучше всего использовать плацебо в клинической практике [8].

Врачебный анализ механизмов применения плацебо показал, что в результате лечения у больных возникают ожидания и это оказывает существенное влияние на то, что мы на самом деле испытываем. Ожидание было установлено как ключевой процесс, лежащий в основе эффекта плацебо. Исследования, как в лабораторных, так и в клинических условиях, последовательно показывают, что, когда люди принимают фармакологически инертное вещество (плацебо), но считают, что это активное вещество, они испытывают как субъективные

ощущения, так и физиологические эффекты, ожидаемые от этого активного вещества. Ожидание также занимает важное место в реакции на «реальное» лечение. Эти данные свидетельствуют о том, что врачи могут повысить эффективность всех методов лечения, способствуя позитивным ожиданиям пациентов [9].

При исследовании плацебо в психиатрии авторы получили небольшой эффект в исследованиях психических расстройств, как в целом, так и для тех, кто получал фиктивную психотерапию. Этот эффект наблюдался у пациентов с тревогой или депрессией, но не в лечении шизофрении [10].

Анализ литературных источников показал, что в настоящее время еще недостаточно исследованы механизмы действия плацебо, хотя накоплен большой практический клинический материал, доказывающий, что плацебо-эффект реально существует [11].

Так как механизмы плацебо многогранны и изучены еще недостаточно с точки зрения современной науки, было решено изучить действие плацебо с точки зрения учения о доминанте академика А.А. Ухтомского [12, 13], что может обобщить в одну концепцию все воздействия плацебо на организм.

Целью нашего исследования является выявление действия плацебо-эффекта как физиологического механизма функционирования доминанты академика А.А. Ухтомского.

Материалы и методы исследования

Великий физиолог Алексей Ухтомский (1875–1942) вошёл в историю физиологии и психологии как автор учения о доминанте, фундаментальном аспекте поведения человека [12, 13]. Перечислим основные свойства доминантного очага, установленные А.А. Ухтомским: повышенная возбудимость, инерция во времени, способность суммировать внешние раздражители, внешним выражением доминанты является стационарно поддерживаемая работа или рабочая поза организма.

Статья написана на основе обобщения литературы по эффектам действия плацебо и работам физиолога академика А.А. Ухтомского о доминанте. Доминанта – это огромное подвижное объединение нервных клеток, конечная деятельность которых направлена на достижение какой-либо физиологической модальности (какой-либо цели, например безусловного пищевого рефлекса). При достижении цели доминанта исчезает и освобождает место для новой доминанты, в результате чего для организма высвобождается узконаправленная концентрированная нервная энергия для достижения различных других целей. Основным

свойством доминанты является захват в свое подчинение двигательных путей к мышцам, что легко объяснимо необходимостью двигаться для осуществления доминанты. Во многих случаях именно по двигательной активности мы можем определить, есть доминанта (и какая) или нет доминанты.

Результаты исследования и их обсуждение

Доминанта – это активное состояние возбуждения вновь образованной большой группы нейронов, которое направлено на достижение определенной цели организма. Основное свойство доминанты – приоритетное управление и владение эфферентными путями нервно-мышечной системы, так как за счет мышц – эффекторов рефлекторной дуги достигается цель доминанты. После достижения цели доминанта исчезает и отдает управление эфферентными путями (в том числе и мышцами) другой доминанте для осуществления вновь возникающей потребности организма удовлетвориться. Если это пищевая доминанта, то после получения пищи и насыщения она угасает, но через какое-то время голод вновь возбуждает рецепторы, пищевая доминанта усиливается и возбуждение захватывает мотонейронные зоны коры большого мозга и подкорки. На наш взгляд, плацебо-эффект возникает у тех людей, у которых при применении плацебо-лекарства возникает в мозге доминанта, то есть цель действия (я буду выздоравливать, мне от «лекарства» будет лучше). Мысли о выздоровлении должны быть устойчивы и сохраняться определенное время, человек должен в это искренно верить. В этом случае и образуется доминанта лечения, которая будет усиливаться по мере регулярного приема плацебо-лекарства. Доминанта лечения плацебо обладает теми же свойствами, как и другие доминанты в организме. При правильном назначении лекарственных препаратов у больного в любом случае образуется доминанта на излечение, то есть организму идет приказ от доминанты излечения включать адаптационные физиологические механизмы «ремонта» клеток организма (особенно во время сна), синхронизировать ритмы работы всех органов и систем организма, присутствующие здоровому организму. Здесь нужно обратить внимание на то, что организм постоянно контролирует состояние своих клеток, утилизирует старые и поврежденные и замещает их новыми. Эта программа поддержания клеточного и гуморального гомеостаза организмом запускается в случаях положительного, лечебного эффекта плацебо. Поэтому оздоровительное действие пла-

цебо не должно вызывать недопонимание и критику у врачей. По нашему мнению, не только плацебо-лекарство может запустить реакцию организма на выздоровление, но и другие методы лечения, например иглорефлексотерапия. Более того, и многие методы формирования доминанты на выздоровление могут включить или усилить естественную доминанту восстановления организма. Это могут быть стресс или сильные впечатления, например путешествие, охота, рыбалка, испуг, огромная радость, интенсивный спорт и т.д. Механизм этого излечения один: внешнее воздействие должно быть по силе возбуждения рецепторов (обратной афферентации) намного больше, чем у доминанты болезни страдающего.

Еще академик И.П. Павлов писал, что происходит борьба доминант за эфферентные пути в организме, борьба доминант – самый тяжелый в организме процесс и самый энергозатратный [14].

Уничтожить доминанту болезни и включить доминанту выздоровления можно и методом психоконцентрации, что хорошо было разработано за тысячелетия индийскими йогами. Но метод йогов требует длительных тренировок и значительной концентрации воли человека.

Мы считаем, что плацебо-эффект в организме человека возникает и образуется в большей степени на основе фундаментальных законов работы нервной системы. Академик И.П. Павлов доказал в опытах, что основным принципом работы нервной системы является условный рефлекс [14]. Формирование условного рефлекса первого порядка происходит в условиях неоднократного подкрепления действия индифферентного сигнала (например, зажигание лампочки, которое после ряда повторов станет условным сигналом) безусловным раздражителем (например, пищей, для которой в организме имеются специфические рецепторы в ротовой полости и желудке, запускающие безусловный рефлекс слюноотделения и желудочной секреции). В конечном итоге только зажигание лампочки будет сопровождаться выработкой слюны и выделением желудочного сока. На что же вырабатывается слюна у собаки при зажигании лампочки? Понятно, что не на лампочку. В мозге собаки образуется виртуальный образ пищи, который воспроизводится вспышкой света. Академик П.К. Анохин – создатель учения о функциональных системах организма, считал, что условный рефлекс обладает свойством опережающего отражения действительности [15]. Исходя из теоретических воззрений И.П. Павлова и П.К. Анохина, в основе механизма дей-

ствия плацебо лежит выработка условного рефлекса на прием плацебо (условный сигнал), только безусловное подкрепление у человека представлено психоконцентрацией мыслей и верой в выздоровление. Такое повторение событий может привести к выработке условного рефлекса по И.П. Павлову. Однако мысли о выздоровлении, согласно П.К. Анохину, представляют собой акцептор действия, то есть образ здорового состояния, подкрепленный надеждой на эффективное лечение. Если мысли о выздоровлении доминируют и обладают силой обратной афферентации, то происходит усиление основной доминанты за счет притягивания к себе других. Доминирующий очаг возбуждения в коре большого мозга с каждым новым приемом плацебо усиливается и держит под контролем механизмы восстановления организма, координируя и синхронизируя работу его систем. Таким видится механизм действия доминанты излечения при положительном плацебо-эффекте.

Изучение плацебо-эффекта потребовало применить слепой метод, когда больной не знает, получает он настоящее лекарство или плацебо. Но этого оказалось недостаточно, так как врач, зная, что получает больной, неосознанно (взглядом, тембром речи, поведением и т.д.) может подсказать, что получает больной: плацебо или лекарство. Поэтому для анализа плацебо-эффекта стали применять двойной слепой метод, когда ни больной, ни врач не знают, получает больной плацебо или лекарство. Такой двойной слепой метод применяют для изучения новых лекарственных средств, так как в ряде случаев плацебо-эффект превышает по результату действие испытуемого лекарства.

Доказанный лечебный эффект применения плацебо-лекарства вызывает предположение, что к реальному механизму действия лекарства может добавляться (или вычитаться) и психологический эффект в виде плацебо-стимуляции лечебного результата. Мы считаем, что применение лекарств вызывает образование лечебной доминанты (как и при плацебо-терапии), основанной на физиологических механизмах выработки условного рефлекса по учению академика И.П. Павлова [14]. Рассмотрим этот процесс выработки условного рефлекса при лекарственной терапии и образовании доминанты лечения. Дача лекарства моделирует процесс подачи условного сигнала (по Павлову – это включение лампочки). Далее лекарство попадает в организм через рот или через инъекции (и другие методы) и вызывает в организме изменение деятельности ряда функциональных систем.

Рецепторы организма регистрируют эти изменения и за счет афферентной импульсации по нервам передают информацию в мозг (как в подкорковые центры подсознания, так и в нейроны коры мозга). Образуется постоянный очаг возбуждения большой группы нейронов в коре мозга, который информационно связан с поступлением лекарства, этот эффект играет роль безусловного подкрепления (по Павлову аналогом будет подкрепление условного рефлекса у собаки пищей). Этот очаг возбуждения в мозге при приеме лекарства усиливается постоянно от импульсации от внутренних рецепторов. Психически больной (бессознательно или с помощью логики) внушает себе и начинает верить в свое выздоровление, все это ведет к образованию доминанты выздоровления. Доминанта набирает силу, захватывает в свое подчинение все больше исполнительных механизмов, активизирует в ДНК считывание резервных регуляторных генов и синтез регуляторных белков, что давно доказано при изучении стресса, в том числе и при голодовой адаптации. Образованная доминанта выздоровления при приеме лекарств начинает обладать теми же свойствами, как и обычная доминанта.

Следует отметить, что у врача тоже может образоваться доминанта лечения данного больного. Тогда больной на уровне подсознания считывает информацию от врача (тембр голоса, направление взгляда и т.д.) и как бы выполняет и реализует подсознательную волю врача на улучшение состояния за счет усиления у себя доминанты выздоровления. Этот механизм подтверждается тем, что стали применять для оценки лекарств двойной слепой метод анализа эффективности, так как было замечено, что, если врач знает, где лекарство, а где плацебо, результаты применения плацебо значительно улучшаются.

Мы считаем, что доминанта выздоровления у больного (если образовалась) и доминанта лечения больного у врача (если сформировалась) начинают взаимодействовать, усиливая друг друга. Отсюда можно сделать вывод, что психика врача играет существенную роль в выздоровлении больного за счет подсознательного взаимодействия доминанты выздоровления больного и доминанты лечения врача. Такое взаимодействие доминант при большой нагрузке приводит к эффекту «выгорания» врача. Это связано с тем, что еще академик Павлов И.П. доказал в опытах [14], что образование доминант и их смена – самый энергозатратный процесс в центральной нервной системе. Получается, что у врача на каждого больного должна образоваться доминанта

лечения, которая должна быть достаточной силы, чтобы усилить доминанту выздоровления у больного, за год работы у врача произойдет большое количество смены доминант (разные больные), что значительно истощает тонус центральной нервной системы у врача. Доминанта лечения и желание лечить возрастает у врача при применении новых лекарственных средств, новых методов лечения, прохождения повышения квалификации, то есть при любых причинах стимуляции психических процессов в мозге врача, когда врач хочет доказать всем, что он может решить сложнейшие проблемы. Чем больше желание врача вылечить больного, тем в большей степени может проявляться плацебо-эффект за счет взаимодействия доминант лечения у врача и больного.

Заключение

Академик А.А. Ухтомский создал учение о доминанте [12, 13] как о вновь образованном в мозге центре объединения нейронов, работа которых направлена на достижение какой-либо цели, нужной организму. После достижения цели доминанта угасает. Анализ плацебо-эффекта лекарства с точки зрения доминанты позволяет упорядочить эти знания, создает модель предсказания эффектов плацебо, подводит научную фундаментальную базу в теории применения плацебо.

Работы академика И.П. Павлова об условных рефлексах [14] хорошо вписываются в учение о доминанте, мы показали, что действие плацебо-эффекта обладает свойством условного рефлекса первого порядка.

Дальнейшее развитие рефлекторной теории работы мозга в трудах академика П.К. Анохина [15] показало опережающее действительность (виртуальная реальность) действие работы функциональных систем организма. П.К. Анохин доказал, что условный рефлекс обладает свойством опережающего отражения действительности (при условном рефлексе при включении лампочки выделяется желудочный сок через 5 мин, но не на лампочку, а на ту пищу, которую давали через 5 мин после включения лампочки). Анализ плацебо-эффекта с точки зрения работ П.К. Анохина показал, что применение плацебо в ряде случаев формирует функциональную систему действия плацебо, которая вписывается в более обширную доминанту лечения больного, сохраняя все свойства функциональной системы академика П.К. Анохина [14].

Выдвинута гипотеза, согласно которой физиологический механизм действия

плацебо-эффекта связан с образованием доминанты выздоровления. В основе плацебо-эффекта лежит формирование условного рефлекса первого порядка, при этом плацебо выступает условным сигналом, а доминанта выздоровления, созданная установкой на выздоровление, – безусловным раздражителем.

Предлагаемая гипотеза рассматривает эффективность применения плацебо-лекарств через формирование функциональной системы, которая ориентирована на доминанту выздоровления, представляющую собой опережающее виртуальное отражение состояния здоровья (акцептор результатов действия по П.К. Анохину).

Список литературы

1. Wang Y., Wu Q., Wang Y., Wang P. The Effects of Physicians' Communication and Empathy Ability on Physician-Patient Relationship from Physicians' and Patients' Perspectives. *J in Psychol Med Settings*. 2022. Jan 28. P. 1–12. DOI: 10.1007/s10880-022-09844-1.
2. Benedetti F. Placebo and the new physiology of the doctor-patient relationship. *Physiol Rev*. 2013 Jul. No. 93 (3). P. 1207–1246. DOI: 10.1152/physrev.00043.2012.
3. Enck P., Klosterhalfen S. Placebos and the Placebo Effect in Drug Trials. *Handb Exp Pharmacol*. 2019. No. 260. P. 399–431. DOI: 10.1007/164.2019.269.
4. Кенунен О.Г., Реброва Н.П. Феномен плацебо как перспективное направление психологических и психофизиологических исследований // *Известия Иркутского государственного университета. Серия Психология*. 2020. Т. 31. С. 30–42. DOI: 10.26516/2304-1226.2020.31.30.
5. Anderson S., Stebbins G.T. Determinants of placebo. *Int Rev Neurobiol*. 2020. No. 153. P. 27–47. DOI: 10.1016/bs.irn.2020.03.029.
6. Peciña M., Stohler C.S., Zubieta J.K. Neurobiology of placebo effects: expectations or learning? *Soc Cogn Affect Neurosci*. 2014 Jul. No. 9 (7). P. 1013–1021. DOI: 10.1093/scan/nst079.
7. Zhang W. The powerful placebo effect in osteoarthritis. *Clin Exp Rheumatol*. 2019. No. 37. Suppl 120 (5). P. 118–123.
8. Sheldon R., Opie-Moran M. The Placebo Effect in Cardiology: Understanding and Using. *It. Can J Cardiol*. 2017. No. 33 (12). P. 1535–1542. DOI: 10.1016/j.cjca.2017.09.017.
9. Brown W.A. Expectation, the placebo effect and the response to treatment. *R I Med J*. 2015 May 1. No. 98 (5). P. 19–21.
10. Fernández-López R., Riquelme-Gallego B., Buenocavanillas A., Khan K.S. Influence of placebo effect in mental disorders research: A systematic review and meta-analysis. *Eur J Clin Invest*. 2022 Jul. No. 52(7). P. e13762. DOI: 10.1111/eci.13762.
11. Лапин И.П. Личность и лекарство. Введение в психологию фармакотерапии. СПб.: Деан, 2001. 416 с.
12. Ухтомский А. Доминанта: физиология поведения. Серия: Медицинский бестселлер. М.: АСТ, 2020. 320 с.
13. Ухтомский А.А. Доминанта. СПб.: Питер, 2020. 512 с.
14. Павлов И.П. Двадцатилетний опыт объективного изучения высшей нервной деятельности (поведения) животных. М.: Наука, 1973. 661 с.
15. Анохин П. К. Биология и нейрофизиология условного рефлекса. М.: Медицина, 1968. 546 с.

ДИНАМИКА ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫМИ НОВООБРАЗОВАНИЯМИ МУЖСКОГО И ЖЕНСКОГО НАСЕЛЕНИЯ В ЧУВАШСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ В 2016–2020 ГГ.

¹Шамитова Е.Н., ²Москвичев Е.В., ¹Гурьянова Е.А.,
¹Сугутская А.Н., ¹Макаров А.Г., ¹Михайлов Е.А.

¹ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова»,
Чебоксары, e-mail: shamitva@mail.ru;

²Автономное учреждение Чувашской Республики «Республиканский клинический
онкологический диспансер» Министерства здравоохранения Чувашской Республики,
Чебоксары, e-mail: moskvichev@rambler.ru

Онкологические заболевания в Чувашской Республике являются актуальной проблемой, так как среди причин смертности населения занимают второе место, что является высоким показателем, приводящим к снижению качества жизни населения республики и ведущим к снижению количества работоспособного населения, а также к увеличению числа инвалидов и людей, требующих постоянного ухода. Изучение статистики впервые выявленных онкозаболеваний, выздоровевших, летальных исходов, а также их связь с полом, профессиональной деятельностью и возрастом пациентов может быть ключом к определению групп риска, что в дальнейшем позволит определить комплекс мероприятий со стороны служб здравоохранения, поспособствует выявлению онкобольных на ранних стадиях. Раннее выявление заболеваний повышает количество благоприятных прогнозов в отношении разрешения заболевания, снижает количество необходимых средств и мер, необходимых для диагностики, лечения и профилактики заболеваний. Всё в совокупности приведёт к значительному снижению стоимости этих мероприятий, увеличению средней продолжительности жизни заболевших раком, улучшению качества их жизни и оказываемой им медицинской помощи. В данной статье представлены статистические данные по раковым заболеваниям в Чувашской Республике в период с 2016 по 2020 г., в том числе были изучены показатели ранней диагностики, выживаемости пациентов и смертности. Также рассматривается статистика, касающаяся методов и результатов лечения онкологии в регионе.

Ключевые слова: онкология, ранняя диагностика раковых заболеваний, структура заболеваемости ЗНО, динамика смертности от злокачественных новообразований

DYNAMICS OF THE INCIDENCE OF MALIGNANT NEOPLASMS OF THE MALE AND FEMALE POPULATION IN THE CHUVASH REPUBLIC IN 2016–2020

¹Shamitova E.N., ²Moskvichev E.V., ¹Guryanova E.A.,
¹Sugutskaya A.N., ¹Makarov A.G., ¹Mikhaylov E.A.

¹I.N. Ulyanov Chuvash State University, Cheboksary, e-mail: shamitva@mail.ru;

²Autonomous Institution of the Chuvash Republic «Republican Clinical Oncological Dispensary»
of the Ministry of Health of the Chuvash Republic, Cheboksary, e-mail: moskvichev@rambler.ru

Oncological diseases in the Chuvash Republic are an urgent problem, since they occupy the second place in the cause of mortality of the population, which is a high indicator leading to a decrease in the quality of life of the population of the republic and leading to a decrease in the number of able-bodied population, as well as to an increase in the number of disabled people and people requiring constant care. The study of the statistics of newly diagnosed oncological diseases, recovered, which led to a fatal outcome, as well as their relationship between gender, professional activity and age of patients, may be the key to determining risk groups, which in the future will allow determining a set of measures by health services, will contribute to the identification of cancer patients at early stages. Early detection of diseases increases the number of favorable prognoses regarding the resolution of the disease, reduces the number of necessary tools and measures necessary for the diagnosis, treatment and prevention of the disease. All together, this will lead to a significant reduction in the cost of these measures, an increase in the average life expectancy of cancer patients, an improvement in their quality of life and the medical care provided to them. This article presents statistical data on cancer in the Chuvash Republic in the period from 2016 to 2020, including the indicators of early diagnosis, patient survival and mortality. Statistics concerning methods and results of oncology treatment in the region are also considered.

Keywords: oncology, early diagnosis of cancer, the structure of the incidence of malignant neoplasms, the dynamics of mortality from malignant neoplasms

Рак – заболевание с высоким уровнем летальных исходов по всему миру. По данным Всемирной организации здравоохранения, в 2020 г. онкология стала причиной смерти 10 млн чел. в мире [1]. Однако

возрастает и количество пациентов, которые через пять лет после диагностирования заболевания продолжают жить, сообщает ВОЗ. Таких людей в мире сейчас больше 50 млн.

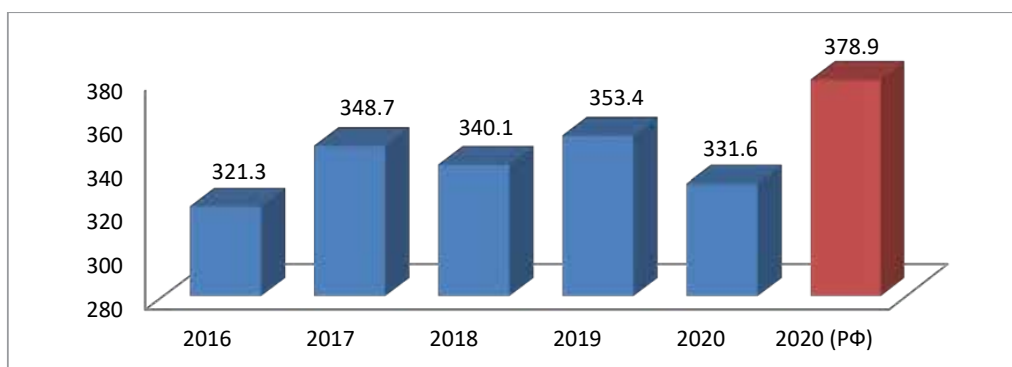


Рис. 1. Динамика заболеваемости ЗНО населения Чувашской Республики в 2016–2020 гг. (на 100 000 жителей)



Рис. 2. Динамика заболеваемости мужского и женского населения в Чувашской Республике (на 100 000 жителей)

В России, по официальным данным, смертность от онкологических заболеваний постепенно идет на спад. За прошедший период 2022 г. в сравнении с аналогичным периодом 2021 г. речь идет о снижении на 3,9%. В целом в стране ежегодно фиксируются около 600 тыс. случаев ЗНО (злокачественных новообразований) [2].

В Чувашской Республике в 2020 г. онкологические заболевания были выявлены у 3337 чел. Для сравнения: в 2019 г. – у 3740 [3].

По информации Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Чувашской Республике, численность населения в регионе на 01.01.2020 составила 1 217 818 человек. Мужчин – 570 444 (46,9%), женщин – 647 374 (53,1%) [4]. По количеству заболевших ЗНО Чувашская Республика занимает промежуточное место среди других регионов. Если проследить динамику заболеваемости в республике за последние пять лет, можно сделать вывод о том, что она не является стабильной. Так, в 2017 г. количество заболевших возросло в сравнении с 2016 г. (348,7 и 321,3 на 100 000 населения соответ-

ственно), в 2018 г. упало (340,1 на 100 000 населения), в 2019 г. выросло (353,4). В 2020 г. наблюдалось уменьшение числа заболевших – 331,6 на 100 000 населения (рис. 1) [3].

Если рассматривать динамику заболеваемости в гендерном соотношении: у мужчин раковые заболевания в республике выявляются чаще, чем у женщин. Так, в 2020 г. заболеваемость у мужчин составила 324,4 (в 2019 г. – 361,5). При этом по стране данный показатель – 419,9 на 100 000 мужского населения. У женщин в 2020 г. заболеваемость составила 322,1 (в 2019 г. – 346,2), по стране – 430,3 на 100 000 женского населения (рис. 2).

Структура заболеваемости среди мужчин и женщин в Чувашской Республике несколько отличается. Так, у мужчин наиболее часто встречающиеся патологии следующие (представлены в процентном соотношении): рак легкого – 17,4%; рак кожи – 10,8%; рак простаты – 10,1%; рак ободочной кишки – 7,2%; рак желудка – 6,3%. На рис. 3 представлена полная структура заболеваемости мужского населения республики, а также страны.

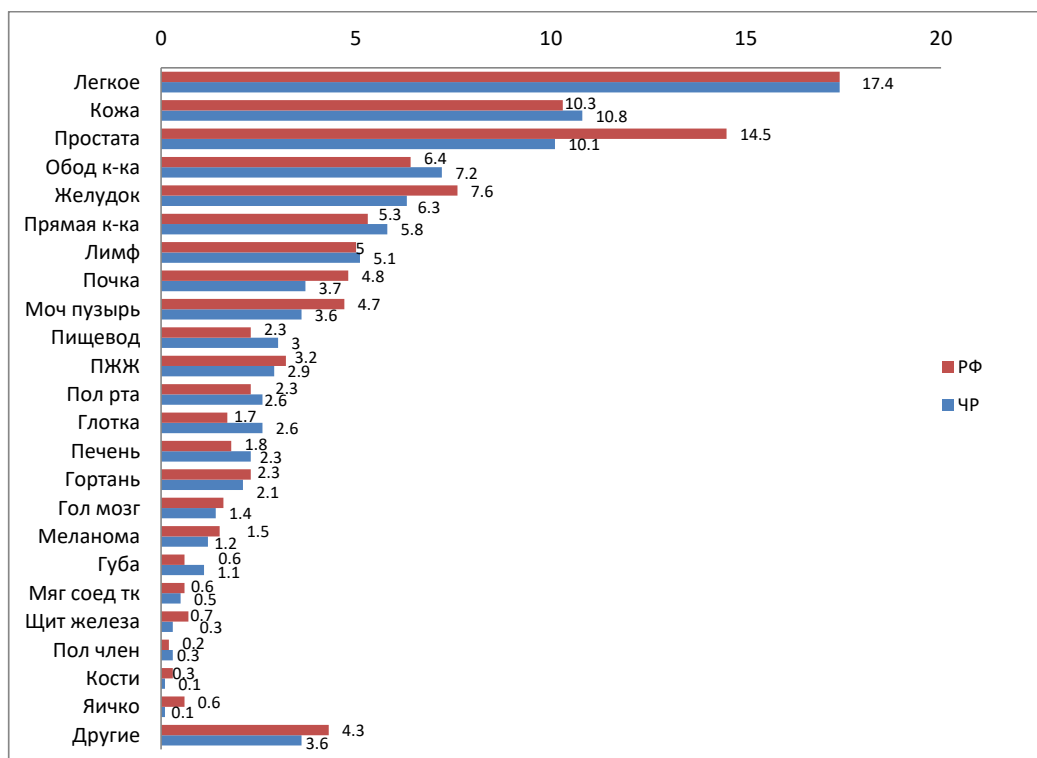


Рис. 3. Структура заболеваемости ЗНО мужского населения республики (в %)

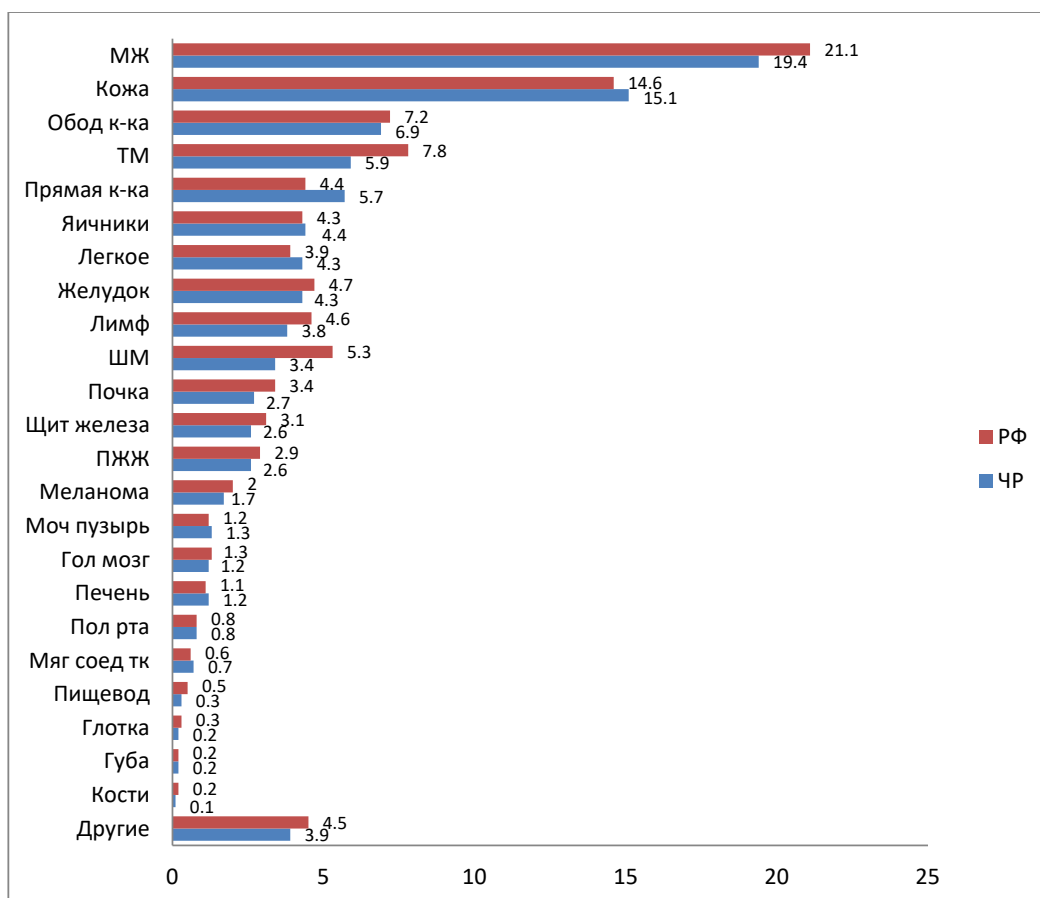


Рис. 4. Структура заболеваемости ЗНО женского населения республики

У женщин наиболее частыми ЗНО являются рак молочной железы – 19,4%; рак кожи – 15,1%; рак ободочной кишки – 6,9%; рак тела матки – 5,9%; рак прямой кишки – 5,7% (рис. 4).

В 2020 г. удельный вес заболевших, случаи онкологии у которых выявлены впервые, на ранних стадиях (1+2 ст.), составил 56,6% (в 2019 – 56%; в 2018 – 55,7%; в 2017 – 55,5%; в 2016 – 55%),

по стране этот показатель в 2020 г. – 56,3% (рис. 5) [3].

Стадия не установлена в 2020 г. у 4,7% (в 2019 г. – 5,7%; в 2018 – 3,2%; в 2017 – 4%; в 2016 – 4,6%), по России этот показатель в 2020 г. – 4,8%. Летальность в течение года после постановки диагноза ЗНО: в 2020 – 21,3% (в 2019 г. – 21,5%; в 2018 г. – 22,1%; в 2017 г. – 24,8%; в 2016 – 24,8%), по России в 2020 г. этот показатель – 20,6% (табл. 1).

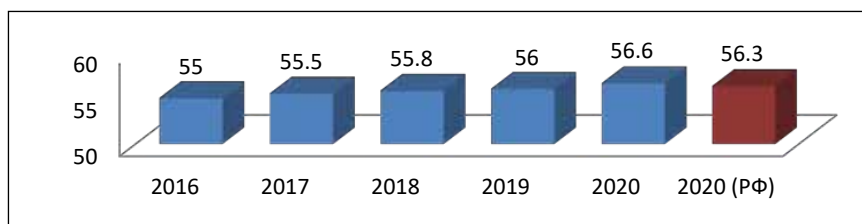


Рис. 5. Ранняя диагностика (1+2 стадии) (в %)

Таблица 1

Состояние диагностики ЗНО в Чувашской Республике (случаи без умерших)

Показатель/годы	2000	2016	2017	2018	2019	2020	РФ 2020
Вновь заболело (абс.)	2433	3677	4109	3973	4158	3791	556036
Из них (в %):							
Стадия установлена	80,3	95,4	96	96,8	94,3	95,3	95,2
Из них (в %):							
1 стадия	15,9	31,1	31,2	32	32,9	33,4	30,7
2 стадия	17	23,9	24,3	23,7	23,1	23,2	25,6
1+2 ст.	32,9	55	55,5	55,7	56	56,6	56,3
3 стадия	20,8	20,6	20,3	20,2	17	18,3	17,8
4 стадия	26,5	19,8	20,2	20,9	21,3	20,5	21,2
4+3 ст. визуальн. лок.		26,8	26,5	27,7	27,4	27,3	38,9
Летальность на 1 году (%)	45,3	24,8	24,8	22,1	21,5	21,3	20,6
Активное выявление (%)	13	25,4	25,2	25,9	26	27,9	24,4
Диагноз подтвержден (из расчета на случаи заболевания)							
Морфологически	74,5	92,3	93,7	94,1	94,9	92,9	94,4
Диагноз установлен посмертно (на 100 умерших больных)		8,9	5,5	6	4,4	13,8	12,4

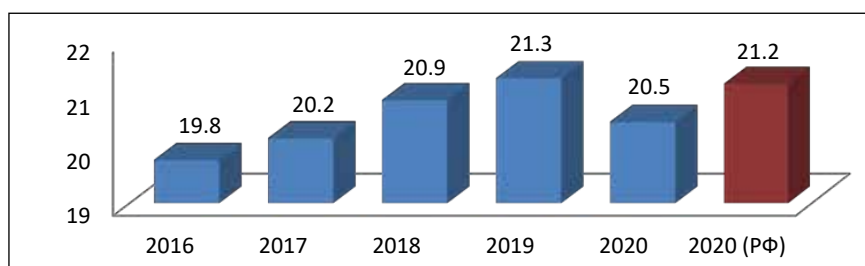


Рис. 6. Запущенность ЗНО (4 стадия) (в %)



Рис. 7. Динамика смертности от ЗНО в ЧР (на 100 000 чел.)

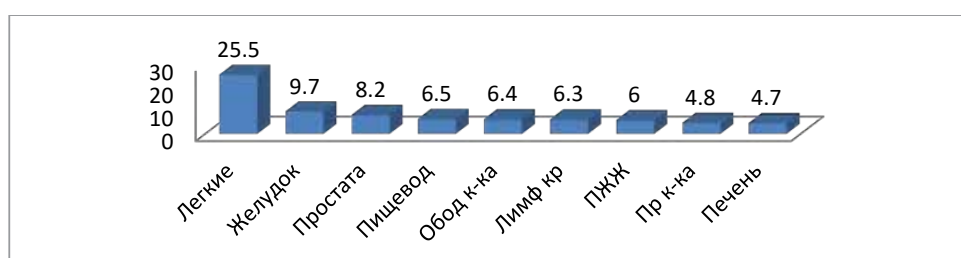


Рис. 8. Структура смертности мужского населения республики в 2020 г. (в %)

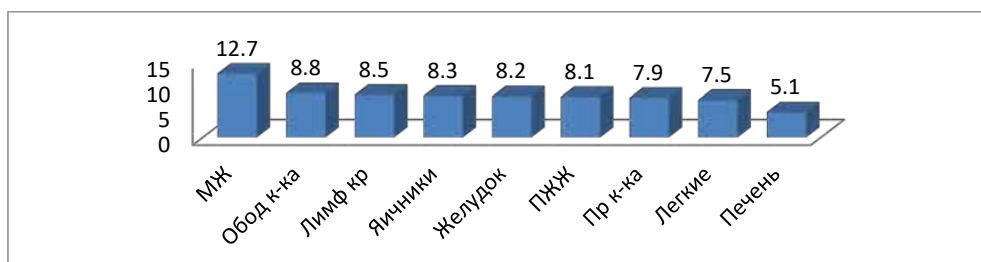


Рис. 9. Структура смертности женского населения республики в 2020 г. (в %)

В среднем от раковых заболеваний смертность среди мужчин выше, чем среди женщин [5]. Так, в 2020 г. в Чувашской Республике смертность среди мужчин составила 188,1 на 100 000 мужского населения, а среди женщин – 111,1 на 100 000 женского населения. В 2019 г. – 186,2 среди мужчин и 107,4 – среди женщин. По России в 2019 г. данные следующие: 231,8 – смертность среди мужчин, 172,5 – среди женщин.

Структура смертности за 2020 г. среди мужчин и среди женщин представлена на рис. 8 и 9 соответственно. На диаграммах представлены 10 локализаций с самым высоким уровнем смертности. У мужчин на первом месте – рак легкого (25,5%), далее – рак желудка (9,7%); рак простаты (8,2%); рак пищевода (6,5%); рак ободочной кишки (6,4%) (рис. 8) [3].

Женская смертность: рак молочной железы (12,7%), далее – рак ободочной кишки (8,8%); лимфома (8,5%); рак яичников (8,3%); рак желудка (8,2%) (рис. 9).

Ежегодно растет количество раковых больных, поступающих на лечение в Республиканский онкологический диспансер. Динамику можно проследить по табл. 2. Так, если в 2000 г. в учреждение поступили 4072 пациента, то в 2016 г. эта цифра увеличилась вдвое – 8655; 2017 г. – 10333; 2018 г. – 12011; 2019 г. – 12973; 2020 г. – 12340 чел. Однако такой показатель, как «занятость койки», в 2020 г. снизился в сравнении с предыдущими годами до 263,4 дней, уменьшилась и средняя длительность пребывания – в 2020 г. она составила 6,4 дня (для сравнения: 2019 г. – 12 дней, в 2000 г. – 22,7 дня).

Таблица 2

Показатели деятельности коек стационара

Годы	2000	2016	2017	2018	2019	2020
Коек по смете	280	273	273	273	277	299
Поступило	4072	8655	10333	12011	12973	12340
Выбыло	4153	8633	10309	11198	12843	12324
Пользованные больные	4463	8644	10321	11221	12936	12350
Занятость койки (дн.)	331,3	297,5	319,5	333,8	317,4	263,4
Ср. длит. пребыв. (дн.)	22,7	9,4	8,4	8,6	12	6,4
Оборот койки (раз)	14,6	31,6	37,8	42,8	49,4	41,3
К/дней план*	95200	79846	80873	93723	98611	87600
К/дней факт	92758	81217	87235	87465	99303	78770
Выполнение плана (%)	97,4	101,7	107,8	93,3	100,7	89,9
Умерло в стационаре	53	78	63 (174)	42 (193)	56	35
Больничная летальность	1,2	1,7	0,6 (1,6)	0,4 (1,9)	0,4	0,3

*К/дней план высчитывается из расчета работы койки 330 дней в году.

Таблица 3

Виды специального лечения в Чувашской Республике
(в % из числа всех завершивших лечение)

Вид лечения / Годы	2000	2016	2017	2018	2019	2020	РФ 2020
Только хирургическое	58,7	66,3	66	62,4	62,3	61,8	57,1
Комбинированное	12,5	28,4	27,3	33,7	30,6	32,9	30,5
Только химиотерапия	8,8	3,7	4,8	1,6	5,1	3,8	3,1
Только лучевое	19,5	1,2	1	1,3	1,3	1	7,4
Химиолучевое	0,4	0,4	0,8	0,9	0,7	0,5	1,9

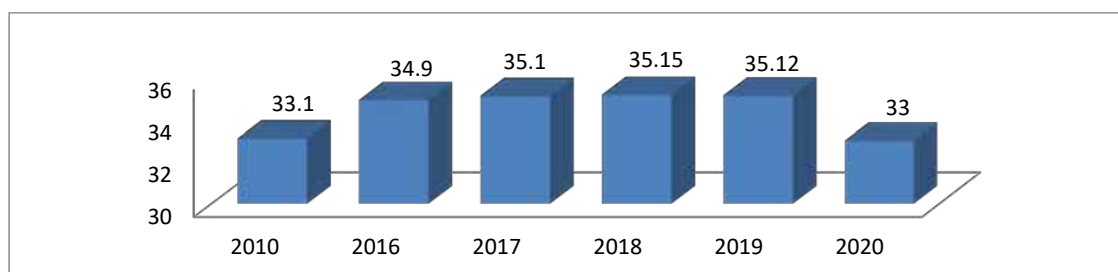


Рис. 10. Динамика 10-летней выживаемости

Кроме того, нужно отметить, что пролечены 8334 пациента (2019 г. – 8556) на 63 койках дневных стационаров, которые провели в учреждении 82514 дней (2019 г. – 60258 дней), а также пролечены 336 больных на 51 койке паллиативного и сестринского отделений, которыми проведены 14279 койко-дней. Специальное лечение ЗНО в Чувашской Республике чаще всего происходит хирургическими методами, так как удаление ЗНО в разных стадиях – наиболее надежный способ излечения больного [6] – в 2020 г. это 61,8%. Комбинированное лечение – 32,9%. Химиотерапия и лучевая

терапия используется реже. В 2020 г. только химиотерапия – 3,8%; только лучевое лечение – 1%; только химиолучевое – 0,5% (табл. 3). Нужно отметить, что в данной статистике рассматриваются случаи, когда пациент полностью завершил лечение.

10-летняя выживаемость по Чувашской Республике колеблется от 33 до 35%. Это значит, что каждый третий пациент после специализированного лечения живет минимум 10 лет (рис. 10). Этот показатель в среднем выше, чем по стране [3]. По мнению врачей, он достигается за счет грамотного сочетания разных видов лечения [1, с. 10].

Заключение

В 2020 г. прирост заболеваемости показателем ЗНО в ЧР на 12% ниже, чем в РФ, это самый низкий показатель по республике с 2016 г. В 2020 г. в Чувашской Республике также снизилось количество поздних обращений больных с запущенными заболеваниями на 1,2%. Этот показатель ниже, чем в целом по стране, на 1%. В период с 2016 по 2019 г. данный критерий показывал рост. Раковые заболевания выявлялись чаще у мужчин, чем у женщин. Разные величины показателей заболеваемости ЗНО мужчин и женщин свидетельствуют о том, что социально-экономические факторы риска развития оказывают более значительное влияние на мужскую популяцию ЧР, чем на женскую.

Список литературы

1. Всемирная организация здравоохранения: официальный сайт. Женева. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.who.int/> (дата обращения: 29.10.2021).
2. Статистический сборник РКОД за 2015–2020 гг. / БУ «Республиканский клинический онкологический диспансер». Чебоксары, 2021.
3. Федеральная служба государственной статистики: официальный сайт. Москва. [Электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru/?%2F> (дата обращения: 29.10.2021).
4. Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Чувашской Республике: официальный сайт. Чебоксары. [Электронный ресурс]. URL: <https://chuvash.gks.ru/> (дата обращения: 29.10.2021).
5. Министерство здравоохранения Российской Федерации: официальный сайт. Москва. [Электронный ресурс]. URL: <https://minzdrav.gov.ru/> (дата обращения: 29.10.2021).
6. Трапезникова Н.Н., Поддубной И.В. Справочник по онкологии. М., 2016.

КЛИНИЧЕСКИЙ СЛУЧАЙ

УДК 616-006.31-08-06

**РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННАЯ АНГИОСАРКОМА
СРЕДОСТЕНИЯ ПОСЛЕ ЛЕЧЕНИЯ ЛИМФОМЫ ХОДЖКИНА****¹Огнерубов Н.А., ²Антипова Т.С., ²Караваева Г.С.**¹ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина»,
Тамбов, e-mail: ognerubov_n.a@mail.ru;²Центр ядерной медицины «ПЭТ-Технолоджи», Тамбов,
e-mail: antipovats@gmail.com, ognerubov_n.a@mail.ru

Лучевая терапия широко используется как в самостоятельном, так и в комплексном лечении различных злокачественных новообразований. Как фактор риска она вносит основной вклад в развитие второй и последующих злокачественных опухолей. Среди них ятрогенные радиационно-индуцированные ангиосаркомы после лечения лимфомы Ходжкина являются крайне редким заболеванием. Мы наблюдали редкий случай эпителиоидной ангиосаркомы переднего средостения у 40-летней пациентки, возникшей через 17 лет по окончании лечения, включая облучение средостения, по поводу лимфомы Ходжкина. Клинически у больной в области мягких тканей шеи появилась болезненная прогрессирующая опухоль с переходом на переднюю стенку грудной клетки. По данным СКТ органов грудной клетки, брюшной полости и малого таза, в переднем средостении выявлено образование с литической деструкцией рукоятки грудины, поражением мягких тканей шеи и лимфатических узлов, а также с метастазами в кости скелета, левый надпочечник и левое легкое. С диагностической целью была выполнена шейная лимфодиссекция справа. При гистологическом и иммуногистохимическом исследовании выявлена эпителиоидная ангиосаркома высокой степени злокачественности, ассоциированная с лучевой терапией. По поводу чего больной проводилась полихимиотерапия с ифосфамидом на протяжении 6 месяцев с положительной динамикой. Приведенный случай свидетельствует о том, что радио-индуцированные опухоли являются поздним ятрогенным осложнением лучевой терапии, проводимой по поводу лимфомы Ходжкина. Латентный период при этом колеблется от 5 до 50 лет. Диагностика опухолей, локализующихся в и вне области облучения, довольно сложна. С этой целью применяют различные методы медицинской визуализации, включая гибридные технологии, с обязательным морфологическим подтверждением диагноза. Опухоли протекают агрессивно и отличаются малой чувствительностью к специальным методам лечения.

Ключевые слова: болезнь Ходжкина, лучевая терапия, радиационно-индуцированные опухоли, ангиосаркома**RADIATION-INDUCED MEDIASTINAL ANGIOSARCOMA AFTER
TREATMENT OF HODGKIN'S LYMPHOMA****¹Ognerubov N.A., ²Karavaeva G.S., ²Antipova T.S.**¹Tamбов State University named G.R. Derzhavin, Tambov, e-mail: ognerubov_n.a@mail.ru;²PET-Technology Nuclear Medicine Center, Tambov,
e-mail: antipovats@gmail.com, ognerubov_n.a@mail.ru

Radiation therapy is widely used both in independent and in complex treatment of various malignant neoplasms. At the same time, it makes the main contribution to the development of the second and subsequent malignant tumors. Among them, iatrogenic radiation-induced angiosarcomas after treatment of Hodgkin's lymphoma are an extremely rare disease. We observed a rare case of epithelioid angiosarcoma of the anterior mediastinum in a 40-year-old woman who developed 17 years after the end of treatment, including mediastinal irradiation for Hodgkin's lymphoma. At the same time, the patient developed a painful progressive tumor in the area of the soft tissues of the neck with the transition to the anterior wall of the chest. CT scan of the chest and abdomen, as well as the small pelvis, in the anterior mediastinum revealed a mass with lytic destruction of the manubrium of the sternum, lesions of the soft tissues of the neck and lymph nodes, as well as with metastases in the bones of the skeleton, the left adrenal gland and the left lung. For diagnostic purposes, a cervical lymph node dissection was performed on the right. Histological and immunohistochemical studies revealed high-grade epithelioid angiosarcoma associated with radiation therapy. For which the patient underwent polychemotherapy with phosphamide for 6 months with positive dynamics. This case indicates that radioinduced tumors are a late iatrogenic complication of radiation therapy for Hodgkin's lymphoma. The latent period in this case ranges from 5 to 50 years. Diagnosis of tumors localized in and outside the irradiation area is quite difficult. For this purpose, various methods of medical imaging are used, including hybrid technologies, with mandatory morphological confirmation of the diagnosis. Tumors proceed aggressively and are characterized by low sensitivity to special methods of treatment.

Keywords: Hodgkin's disease, radiation therapy, radio-induced tumors, angiosarcoma

Современные достижения в терапии злокачественных новообразований позволили существенно увеличить продолжительность жизни пациентов. Такая ситуация способствует росту риска развития

долгосрочных осложнений, таких как вторичные опухоли [1]. Известно, что из всех специальных методов лечения лучевая терапия вносит основной вклад в развитие различных по гистогенезу вторичных зло-

качественных опухолей, включая саркому мягких тканей [2].

Радиационно-индуцированная саркома определяется как ятрогенное заболевание, связанное с предшествующей лучевой терапией, с частотой встречаемости менее 1%. Латентный период с момента окончания лечения по поводу первичной опухоли до развития вторичной саркомы колеблется от 7 до 16 лет [3, 4]. Однако, по данным других авторов, это время может колебаться от нескольких месяцев до 60 лет [5]. Среди радиационно-ассоциированных сарком наиболее распространенным гистологическим вариантом является недифференцированная/неклассифицированная саркома мягких тканей, а затем ангиосаркома [6]. Ангиосаркома – редкая опухоль мягких тканей эндотелиального клеточного происхождения с плохим прогнозом [7]. Большинство ангиосарком возникает спонтанно. Изначально клинические симптомы обычно представлены появлением отека и болезненности мягких тканей в области облучения и пурпурно-красных папул, которые могут быть ошибочно приняты за доброкачественные новообразования. Это приводит к поздней диагностике.

Цель – представить редкий случай радиационно-индуцированной саркомы средостения после лучевой терапии по поводу лимфомы Ходжкина.

Материалы и методы исследования

Под наблюдением находилась 40-летняя пациентка, которой в 2004 г. по поводу лимфомы Ходжкина IIIA стадии с поражением шейных и подключичных лимфатических узлов справа, лимфоузлов брюшной полости проведено химиолучевое лечение с достижением полной клинико-гематологической ремиссии на протяжении 17 лет.

Результаты исследования и их обсуждение

Пациентка М., 40 лет, с января 2021 г. стала отмечать боли в крупных суставах, деформацию грудины, быструю утомляемость. Появилась отечность мягких тканей в области шеи справа с переходом на переднюю поверхность грудной клетки. Из анамнеза известно, что в 2004 г. больная получала лечение по поводу болезни Ходжкина стадия IIIA с поражением шейных и надключичных лимфатических узлов справа, средостения с лимфоидным преобладанием. Проведено три цикла полихимиотерапии по схеме ABVD с последующей лучевой терапией на лимфоузлы шеи и средостение. СОД 40 Гр. По достижении клинико-гематологической ремиссии длительно находилась под динамическим наблюдением.

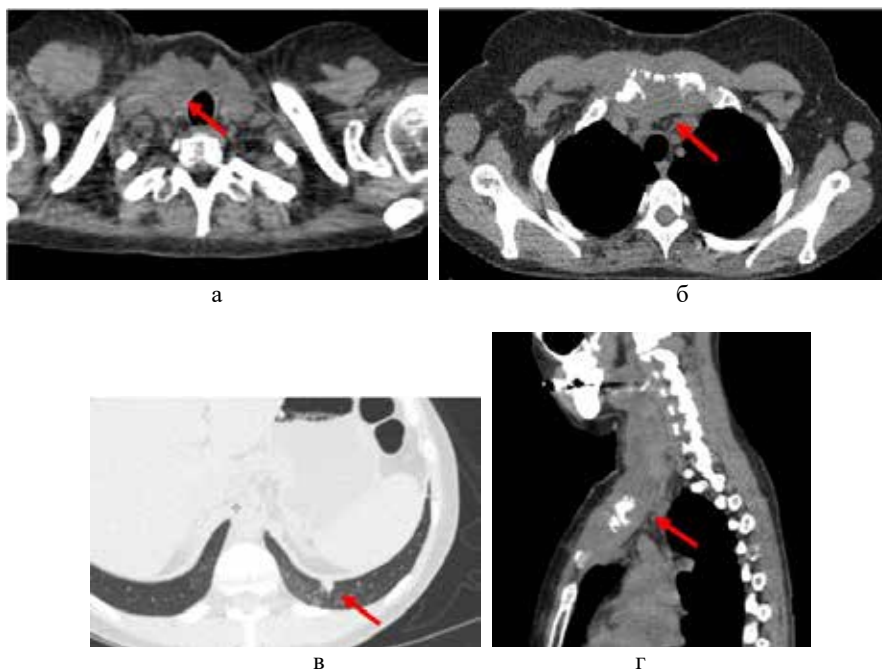


Рис. 1. Больная Б., 40 лет. СКТ органов грудной клетки. На аксиальных (а, б) и сагиттальной (г) КТ проекциях определяется мягкотканное образование неоднородной структуры за счет гиподенсивных участков, литически разрушающее рукоятку грудины с распространением на мягкие ткани шеи и передней грудной стенки справа. На аксиальной КТ проекции (в) в нижней доле левого легкого выявлено очаговое образование размером 9х5 мм

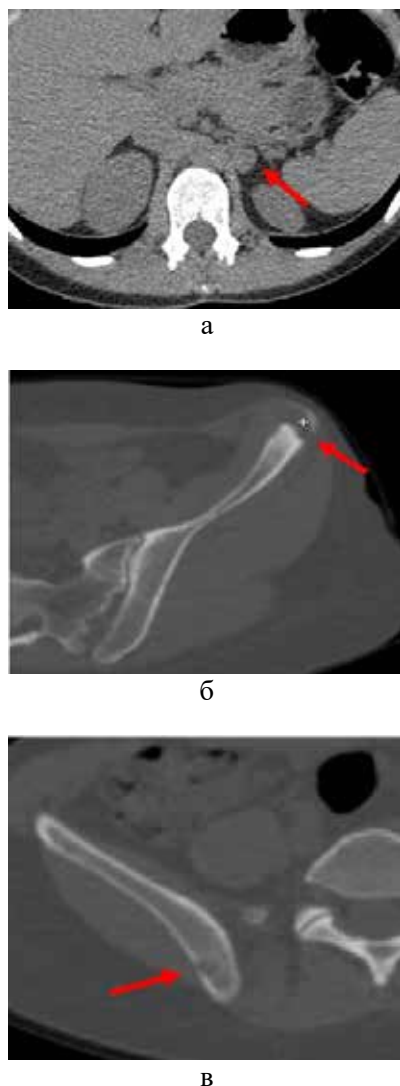


Рис. 2. Больная Б., 40 лет. СКТ органов брюшной полости (а) и органов малого таза (б, в). На аксиальной проекции (а) в медиальной ножке левого надпочечника определяется мягкотканное образование размером 16х13 мм, однородной плотности. На аксиальных КТ проекциях (б, в) в крыле подвздошной кости слева и в теле подвздошной кости справа определяются очаги литической деструкции с мягкотканым компонентом

При объективном исследовании в надключичной области справа с переходом на переднюю поверхность шеи и грудную стенку, с деформацией рукоятки грудины, имеется отечность мягких тканей с участками гиперемии. При пальпации в мягких тканях которой определяется округлое болезненное образование размером 3х4 см без четких границ. Справа выявлены увеличенные передние шейные лимфатические узлы метастатического характера.

Выполнена СКТ органов грудной клетки. Кроме того, в передне-верхнем средостении выявлено мягкотканное образование, общим размером 42х91х63 мм, без четких контуров, распространяющееся от щитовидного хряща справа до верхней границы тела грудины. Кроме того обнаружены вторичные поражения – очаг в левом легком, а также в Th10, поперечном отростке Th5 справа и головке правой плечевой кости (рис. 1).

С целью морфологической диагностики была выполнена шейная лимфаденэктомия. При гистологическом исследовании выявлено злокачественное новообразование без уточнения гистогенеза. Для чего препараты были пересмотрены в федеральном центре. При гистологическом и иммуногистохимическом исследовании установлено, что опухоль имеет строение эпителиоидной ангиосаркомы G3, ассоциированной с лучевой терапией.

Для уточнения распространенности опухолевого процесса была выполнена СКТ органов брюшной полости и малого таза. В медиальной ножке левого надпочечника определяется мягкотканное образование размером 16х13 мм, однородной плотности, метастатического характера. Наряду с этим были выявлены метастазы в забрюшинных лимфоузлах и костях скелета: крыле левой и правой подвздошной костях, большом вертеле левой бедренной кости (рис. 2).

Пациентка консультирована в Федеральном центре. Установлен диагноз – эпителиоидная саркома ст. IV сT2N1M1G3 с поражением средостения, мягких тканей и лимфоузлов шеи, метастазами в кости скелета, левый надпочечник и левое легкое. Ввиду распространенности опухолевого процесса назначена полихимиотерапия по схеме: доксорубицин + ифосфамид с остеомодифицирующими препаратами.

Результаты исследования и их обсуждение

За последние несколько десятилетий, благодаря достижениям в лечении, лимфома Ходжкина стала одной из наиболее излечимых злокачественных опухолей. При этом пятилетняя выживаемость превышает 85%. Тем не менее эта когорта пациентов составляет один из самых высоких рисков развития вторых и последующих злокачественных опухолей, которые являются основной причиной смертности.

К факторам риска развития радиационно-индуцированных злокачественных опухолей относят: предшествующее лечение (лучевая и химиотерапия), возраст, воздей-

ствие окружающей среды и образа жизни (курение), а также генетическую предрасположенность. При этом лучевая терапия является основным фактором риска [8]. Существует тесная взаимосвязь между увеличением дозы облучения до 40 Гр и более, с последующим ростом частоты вторичных опухолей. При этом рак легкого у них является наиболее распространенной опухолью с длительностью латентного периода 5–9 лет [9].

По данным литературы, продолжительность жизни пациентов при радиационно-индуцированных саркомах низкая. Так, по данным Р. Chang и соавт. (2017) пятилетняя выживаемость больных, получавших лечение по поводу различных сарком, значительно меньше таковой при спорадических вариантах (составляя 38,6% и 52,6% соответственно). Различия статистически достоверны. Такая ситуация, по мнению авторов, обусловлена невозможностью повторного применения лучевой терапии [10].

Саркомы, ассоциированные с лучевой терапией, могут возникать не только в облучаемой кости, но и в мягких тканях. Среди гистологических вариантов наиболее распространенными являются ангиосаркомы и неклассифицированная или недифференцированная плеоморфная саркомы, а также другие варианты, такие как остеосаркомы, рабдомиосаркомы. Причем чаще всего ангиосаркомы локализуются в области конечностей, туловища и головы и шеи [11].

Радиационно-индуцированные саркомы развиваются у 1% пациентов, получавших лечение с применением лучевой терапии [4]. Латентный период, исчисляемый как время от окончания лечения первичной опухоли до диагностики второй, при радиационно-индуцированных саркомах составляет от 8 до 15 лет [12].

Различные методы визуализации важны для диагностики, определения степени распространенности опухолевого процесса и диспансерного наблюдения при злокачественных новообразованиях, ассоциированных с лучевой терапией.

После лечения первичной, особенно распространенной опухоли, роль КТ и МРТ неоспорима в процессе динамического наблюдения. Появление любой опухоли, как в зоне облучения, так и в других тканях и органах, следует расценивать как подозрение на второй рак, поскольку специфические признаки, характерные для вторых опухолей, отсутствуют. Применение гибридных технологий – ПЭТ/КТ с 18-фтордезоксиглюкозой позволяет выявить минимальные скрытые опухолевые проявления, которые невозможно идентифицировать с помощью КТ и МРТ [13].

Радиационно-индуцированные саркомы обладают агрессивным течением, а также низкой чувствительностью к химиотерапии. В связи с этим основным методом лечения является радикальное хирургическое вмешательство с достижением отрицательных краев. Однако анатомическая локализация опухоли, как правило, в области лучевой мишени, инфильтративный характер роста и глубина залегания не всегда позволяют осуществить эту опцию. Кроме того, в случае возможности таковой требуется выполнение широких и атипичных резекций, порой сопровождающихся косметическими дефектами и функциональными нарушениями [14]. В связи с изложенным предлагается разумный мультимодальный терапевтический подход, включающий комбинацию этих методов, в том числе и адекватное повторное облучение, включая неоадьювантный вариант [15].

Заключение

Радиационно-индуцированные злокачественные опухоли возникают как поздние ятрогенные осложнения применения лучевой терапии после различного по длительности латентного периода – от 3 до 60 лет. Эти опухоли имеют различную клиническую картину и гистогенез, что создает определенные трудности для диагностики и особенно рационального лечения. Саркомы, ассоциированные с лучевой терапией, обычно имеют плохой прогноз, особенно при опухолях высокой степени злокачественности и глубоком их расположении.

Хирургическое лечение радиационно-индуцированных опухолей является предпочтительным методом, однако возможности его ограничены из-за анатомических особенностей тканей, обусловленных предшествующим лечением. Кроме того, чувствительность данных образований к химиотерапии весьма ограничена.

Методы медицинской визуализации играют важную роль в диагностике, установлении распространенности процесса и последующем диспансерном наблюдении за саркомой. Среди них наибольшее значение принадлежит РКТ, МРТ и гибридной технологии ПЭТ/КТ.

Список литературы

1. Andre's Coca-Pelaz, Antti A. Ma'kitie, Primoz' Strojjan, June Corry, Avraham Eisbruch, Jonathan J. Beitler, Sandra Nuyts, Robert Smee, Johannes A. Langendijk, William M. Mendenhall, Cesare Piazza, Alessandra Rinaldo, Alfio Ferlito. Radiation-Induced Sarcomas of the Head and Neck: A Systematic Review. *Adv. Ther.* 2021. Vol. 38. P. 90–108. DOI: 10.1007/s12325-020-01556-y.
2. Snow A., Ring A., Struycken L., Mack W., Koç M., Lang J.E. Incidence of radiation induced sarcoma attributable

to radiotherapy in adults: A retrospective cohort study in the SEER cancer registries across 17 primary tumor sites, *Cancer Epidemiology*. 2021. Vol. 70. P. 101857. DOI: 10.1016/j.canep.2020.101857.

3. Riad S., Biau D., Holt G.E., et al. The clinical and functional outcome for patients with radiation-induced soft tissue sarcoma. *Cancer*. 2012. Vol. 118 No.10. P. 2682–2692. DOI: 10.1002/cncr.26543.

4. Mavrogenis A.F., Pala E., Guerra G., Ruggieri P. Post-radiation sarcomas. Clinical outcome of 52 Patients. *J Surg Oncol*. 2012. Vol. 105. P. 570–576. DOI: 10.1002/jso.22122.

5. De Smet S., Vandermeeren L., Christiaens M.R. Radiation-induced sarcoma: analysis of 46 cases. *Intern Med*. 2022. Vol. 61. P. 1393–1397. DOI: 10.2169/internalmedicine.8195-211397 *Acta Chir Belg*. 2008. № 108. P. 574–579.

6. Mark R.J., Bailet J.W., Poen J., et al. Postirradiation sarcoma of the head and neck. *Cancer*. 1993. Vol. 72. P. 887–893.

7. Young R.J., Brown N.J., Reed M.W., Hughes D., Woll P.J. Angiosarcoma. *Lancet Oncol*. 2010. Vol. 11. P. 983–991. DOI: 10.1016/S1470-2045(10)70023-1.

8. Morton L.M., Onel K., Curtis R.E., Hungate E.A., Armstrong G.T. The rising incidence of second cancers: patterns of occurrence and identification of risk factors for children and adults. *Am Soc Clin Oncol Educ Book*. 2014. Vol. 34. P. 57–67. DOI: 10.14694/EdBook_AM.2014.34.e57.

9. Travis L.B., Gospodarowicz M., Curtis R.E., et al. Lung cancer following chemotherapy and radiotherapy for Hodgkin's disease. *J Natl Cancer Inst*. 2002. Vol. 94. No. 3. P. 182–192. DOI: 10.1093/jnci/94.3.182.

10. Zhang P., Zhao L., Zhu Y.J., Qiu B., Guo S.P., Li Y., et al. Prognosis of fibrosarcoma in patients with and with-

out a history of radiation for nasopharyngeal carcinoma. *Ann Surg Oncol*. 2017. Vol. 24. P. 434–440. DOI: 10.1245/s10434-016-5589-1.

11. Dineen S.P., Roland C.L., Feig R., et al. Radiation-Associated Undifferentiated Pleomorphic Sarcoma is Associated with Worse Clinical Outcomes than Sporadic Lesions. *Ann Surg Oncol*. 2015. Vol. 22. No.12. P. 3913–3920. DOI: 10.1245/s10434-015-4453-z.

12. Mito J.K., Mitra D., Barysaukas C.M., Mariño-Enriquez A., Morgan E.A., Fletcher C.D.M., Raut C.P., Baldini E.H., Doyle L.A. A Comparison of Outcomes and Prognostic Features for Radiation-Associated Angiosarcoma of the Breast and Other Radiation-Associated Sarcomas. *International Journal of Radiation Oncology*Biophysics*Physics. Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2019. Vol. 104. No. 2. P. 425–435. DOI: 10.1016/j.ijrobp.2019.01.082.

13. Lokesh Khanna, Srinivasa R. Prasad, Sireesha Yedururi, Anand M. Parameswaran, Leonardo P. Marcal, Kumar Sandrasegaran, Sree Harsha Tirumani, Christine O. Menias, Venkata S. Katabathina. Second Malignancies after Radiation Therapy: Update on Pathogenesis and Cross-sectional Imaging Findings. *RadioGraphics*. Vol. 41. No. 3. 2021. P. 876–894. DOI: 10.1148/rg.2021200171.

14. Rosko A.J., Birkeland A.C., Chinn S.B., Shuman A.G., Prince M.E., Patel R.M., et al. Survival and margin status in head and neck radiation-induced sarcomas and de novo sarcomas. *Otolaryngol Head Neck Surg*. 2017. Vol. 157. P. 252–259. DOI: 10.1177/0194599817700389.

15. Giannini L., Incandela F., Fiore M., Gronchi A., Stacchiotti S., Sangalli C., Piazza C. Radiation-Induced Sarcoma of the Head and Neck: A Review of the Literature. *Frontiers in Oncology*. 2018. Vol. 8. DOI:10.3389/fonc.2018.00449.

СТАТЬИ

УДК 678

**ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННОЕ ПОКРЫТИЕ НА ОСНОВЕ
КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКОЙ КОМПОЗИЦИИ,
МОДИФИЦИРОВАННОЙ ОКСИДОМ ЦЕРИЯ****Акимова А.С., Филиппова Л.С.***ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича
и Николая Григорьевича Столетовых», Владимир, e-mail: fil.gasdertyu5@gmail.com*

Представлены результаты исследования диэлектрических и адгезионных показателей полимерного композиционного покрытия электротехнического назначения на основе низкомолекулярного фенилметилсилоксанового каучука марки СКТНФ-А. Для холодного отверждения полимерной основы покрытия применялся катализатор К-18, а для повышения основных эксплуатационных показателей был использован оксид церия с размером частиц 3–6 мкм. Установлено, что наполнение полимерной основы оксидом церия способствует повышению диэлектрических показателей и обеспечивает высокую адгезию к стальным и алюминиевым поверхностям. Кроме того, учитывается, что оксид церия обеспечивает стабильность электроизоляционных характеристик во всём интервале рабочих температур получаемого покрытия, повышает его термостойкость и химическую устойчивость. При сравнении с близким по составу и области применения известным электроизоляционным покрытием установлено, что полученное по итогам данной работы покрытие превосходит известное по всем основным эксплуатационным показателям, что обосновывает его конкурентоспособность и эффективность возможного практического применения. Полученное электроизоляционное покрытие может быть использовано для защиты стальных и алюминиевых поверхностей деталей, устройств и приборов для электроники, электротехники и радиотехники, в том числе в условиях повышенной влажности, высоких температур и наличия агрессивных химических соединений.

Ключевые слова: полимерная композиция, электроизоляционное покрытие, кремнийорганическое связующее, оксид церия, холодное отверждение

**ELECTRICAL INSULATION COATING BASED
ON ORGANOSILICON COMPOSITION
MODIFIED WITH CERIUM OXIDE****Akimova A.S., Filippova L.S.***Vladimir State University named after Alexander Grigorevich and Nikolay Grigorevich Stoletovs,
Vladimir, e-mail: fil.gasdertyu5@gmail.com*

The results of the study of dielectric and adhesive parameters of a polymer composite coating for electrical purposes based on low-molecular phenylmethyl-siloxane rubber of the SKTNF-A brand are presented. A K-18 catalyst was used for cold curing of the polymer base of the coating, and cerium oxide with a particle size of 3-6 microns was used to increase the main performance indicators. It was found that filling the polymer base with cerium oxide contributes to an increase in dielectric parameters and provides high adhesion to steel and aluminum surfaces. In addition, it is taken into account that cerium oxide ensures the stability of electrical insulation characteristics over the entire range of operating temperatures of the resulting coating, increases its heat resistance and chemical stability. When compared with a well-known electrical insulation coating similar in composition and scope of application, it was found that the coating obtained according to the results of this work exceeds the known one in all major operational indicators, which justifies its competitiveness and the effectiveness of possible practical application. The resulting electrical insulation coating can be used to protect steel and aluminum surfaces of parts, devices and devices for electronics, electrical engineering and radio engineering, including in conditions of high humidity, high temperatures and the presence of aggressive chemical compounds.

Keywords: polymer composition, organosilicon binder, electrical insulation coating, cerium oxide, cold curing

На сегодняшний день практически все вещества и материалы находят свое применение в различных отраслях человеческой деятельности. Свойства, которыми они обладают, определяют преимущества и недостатки их применения в той или иной области. Свойства во многом зависят от количественного и качественного состава, структуры, метода и технологических параметров получения или преобразования. Для повышения эффективности применения веществ и материалов их свойства и структуру изменяют

при помощи температуры, давления, ультразвука и других физико-механических воздействий или за счет модификации различными добавками. Перспективной возможностью является получение композиционных материалов или композитов, в которых за счет комбинации различных материалов и веществ, выступающих в роли связующих и наполнителей, можно усиливать их преимущества и снижать недостатки, что не только повышает эффективность использования, но и расширяет сферу их применения [1–3].

К областям, в которых широко применяются различные материалы и композиты на их основе, относятся электроника, электротехника и радиотехника. Материалы и изделия, используемые в этих отраслях, называют электротехническими и в зависимости от их поведения в электрическом поле подразделяют на проводниковые, полупроводниковые и диэлектрические. Электротехнические композиты обычно состоят из диэлектрического связующего, которым чаще всего являются полимер, стекло или керамика, и в зависимости от назначения содержат электропроводящий или диэлектрический наполнитель [4, 5]. Исключением являются керметы, в которых связующим являются металлы или их сплавы, а в качестве наполнителя применяют различные оксиды, карбиды, нитриды, бориды или силициды металлов.

В качестве полимерных связующих для композитов электротехнического назначения наиболее широко применяют эпоксидные, фенолформальдегидные, полиорганосилоксановые, полиэфирные и полиимидные смолы, а также их сополимеры [4, 6, 7]. Полиорганосилоксановые смолы, или силиконы, относятся к кремнийорганическим соединениям, в которых кремний связан с органическим углеродом непосредственно через кислород. Полимеры на основе этих смол выгодно отличаются от других полимерных связующих повышенными показателями морозостойкости и термостойкости, высокими диэлектрическими показателями, эластичностью, водостойкостью и маслостойкостью [6, 8]. В то же время для этих материалов характерны сравнительно низкие показатели механической прочности, твердости и адгезии.

Для повышения физико-механических свойств полиорганосилоксанов можно использовать в качестве наполнителей оксиды кремния, титана, цинка и железа [8, 9], которые могут применяться в сочетании с гидроксидами, например гидроксидами алюминия [9]. В то же время оксиды металлов являются термостойкими соединениями и наряду с гидроксидами отличаются стойкостью к различным химическим воздействиям [10, 11]. В связи с этим их добавки повышают химическую стойкость и термостойкость получаемых материалов различной природы [12–14]. Однако большинство чистых оксидов металлов, являясь диэлектриками, относятся к полупроводникам и при неполном окислении и наличии примесей начинают проводить электрический ток [4].

В то же время оксиды редкоземельных элементов являются перспективными диэлектрическими материалами для создания изолирующих слоев в структурах металл-диэлектрик-полупроводник (МДП-структур) для микро- и нанoeлектроники.

Целью данной работы является исследование диэлектрических и адгезионных показателей кремнийорганического композиционного материала с различной степенью наполнения оксидом церия.

Материалы и методы исследования

Полимерным связующим для получения разрабатываемого композиционного материала являлся низкомолекулярный фенилметилсилоксановый каучук марки СКТНФ-А, изготовленный по ТУ 38.103129-77 и предназначенный для получения герметиков, заливающих, обволакивающих и вспененных компаундов с высокими диэлектрическими свойствами. Полученные с его помощью материалы могут эксплуатироваться при температурах от -70 до $+250$ °С (кратковременно до $+300$ °С) в условиях относительной влажности до 98%. Данная марка силиконового каучука отличается условной вязкостью не более 90 с, жизнеспособностью в присутствии катализатора не более 6 ч и может отверждаться при комнатной температуре кремнийорганическими или оловоорганическими катализаторами.

Для отверждения силиконового каучука при комнатной температуре применялся катализатор К-18, изготовленный по ТУ 6-02-805-75 и представляющий собой диэтилдикаприлат олова, растворенный в этилсиликате в соотношении 1:4. Данное вещество обладает высокой каталитической активностью от 1 до 6 ч.

Дисперсным наполнителем и функциональным аддитивом в составе исследуемой полимерной композиции являлся оксид церия CeO_2 с содержанием основного вещества не менее 99,9%, размером частиц 3–6 мкм и изготовленный по ТУ 48-4-523-90.

Для получения образцов исследуемого композиционного покрытия вначале проводили перемешивание силиконового каучука с наполнителем в течение 25–40 мин, затем в смесь добавляли катализатор и перемешивали еще 10 мин. Полученную композицию методом полива через фильеру наносили на стальные и алюминиевые подложки, поверхности которых предварительно очищали от пыли и влаги, обезжиривали и высушивали. После этого до проведения испытаний проводили выдержку образцов покрытий при температуре 22–25 °С в течение суток.

Адгезию к подложкам определяли по ГОСТ 32299-2013 при помощи адгезиметра ПСО-МГ4 методом отрыва стального цилиндра диаметром 20 мм, приклеенного к поверхности образца отвержденного покрытия.

Удельное объемное электрическое сопротивление определяли по ГОСТ 20214-74 с использованием измерительной ячейки с подвижным и неподвижным электродами из нержавеющей стали и тераомметра UNI-T. Перед измерением поверхности образца, контактирующие с электродами, смазывали электропроводящей пастой.

Диэлектрическую проницаемость измеряли волновым методом на измерительном комплексе, включающем прецизионную измерительную линию P1-20, СВЧ-генератор M31102-1 на диоде Ганна AA723 с возможностью перестройки в диапазоне частот 8–11 ГГц, ферритовый вентиль и отрезок волновода стандартного сечения 10x23 мм [15].

Электрическую прочность определяли по ГОСТ 6433.3-71 с использованием электродной системы, включающей нажимные электроды из нержавеющей стали диаметром 6 мм, с подключением высоковольтного испытательного цифрового аппарата АВИЦ-60-СНЧ (исп. 3).

Результаты исследования и их обсуждение

В данной работе представлены результаты исследования основных эксплуатационных характеристик образцов кремнийорганического покрытия, полученного с применением составов на основе 100 мас. ч. каучука марки СКТНФ-А, 6 мас. ч. катализатора К-18 и 15–35 мас. ч. оксида церия. При меньших количествах наполнителя его влияние на диэлектрические характеристики покрытия было несущественным, а при больших количествах наблюдался избыточный рост вязкости композиции, затрудняющий перемешивание и нанесение

на подложки. Кроме того, повышение количества наполнителя приводит к увеличению стоимости полимерной композиции и покрытий на ее основе.

Результаты определения исследуемых показателей в зависимости от количества оксида церия в составе полимерной композиции представлены в табл. 1.

Как следует из данных таблицы, оксид церия повышает диэлектрические показатели, что связано с его высокими показателями по диэлектрической проницаемости, электрической прочности, удельному сопротивлению и пробивным напряжениям. Учитывая, что величины этих показателей у оксида церия остаются постоянными при повышении температуры до 300 °С, применение данного наполнителя обеспечивает стабильность диэлектрических свойств покрытия во всем диапазоне рабочих температур, определяемом термостойкостью выбранного связующего.

В качестве преимуществ выбранного наполнителя также можно отметить, что он отличается высокими показателями термостойкости и химической стойкости, позволяющими расширить возможности применения покрытия в условиях повышенных температур и наличия агрессивных химических соединений.

Хорошая адгезия оксида церия к поверхности кремния, который входит в состав применяемого фенилметилсилоксанового каучука, способствует прочности покрытия, в том числе прочности связи между его отдельными слоями. Это в свою очередь снижает вероятность когезионного разрушения как по основному массиву покрытия, так и по слою покрытия, непосредственно примыкающему к поверхности подложки. В результате величина адгезии по методу отрыва повышается, что подтверждается экспериментальными данными, представленными в табл. 1.

Таблица 1

Диэлектрические и адгезионные показатели исследуемого кремнийорганического покрытия

Содержание CeO_2 , мас. ч.	Адгезия по методу отрыва, МПа		Удельное объемное электрическое сопротивление, $\cdot 10^{11} \text{ Ом} \cdot \text{мм}$	Диэлектрическая проницаемость	Электрическая прочность, МВ/м
	стальная подложка	алюминиевая подложка			
15	0,66	0,52	1,4	3,9	74
20	0,72	0,59	1,5	4,2	79
25	0,94	0,74	1,6	4,7	87
30	1,07	0,77	1,8	4,9	94
35	1,12	0,80	1,9	5,2	97

Таблица 2

Эксплуатационные показатели известного и полученного полимерных покрытий

Показатель	Известное покрытие	Разработанное покрытие
Адгезия по методу отрыва, МПа: – стальная подложка; – алюминиевая подложка	0,24–0,88 0,21–0,62	0,66–1,12 0,52–0,80
Удельное объемное электрическое сопротивление, $\cdot 10^{11}$ Ом·мм	1,0–1,4	1,4–1,9
Диэлектрическая проницаемость	3,0–4,0	3,9–5,2
Электрическая прочность, МВ/м	60–80	74–97

Для оценки результатов исследования была проведена сравнительная характеристика полученного покрытия с известным электроизоляционным покрытием [8], полученным на основе композиции, включающей 100 мас. ч. низкомолекулярного диметилсилоксанового каучука марки СКТН-А, 6 мас. ч. катализатора отверждения К-18, 10–30 мас. ч. оксида алюминия и 5–15 мас. ч. оксида галлия (табл. 2).

Из данных таблицы следует, что полученное покрытие по своим эксплуатационным показателям, в первую очередь по диэлектрической проницаемости и адгезии к стальным и алюминиевым подложкам, превосходит известное покрытие, а следовательно, его практическое применение обосновано.

Заключение

По результатам данной работы опытным путем установлена возможность получения полимерных покрытий электроизоляционного назначения на основе 100 мас. ч. низкомолекулярного фенилметилсилоксанового каучука марки СКТНФ-А с добавлением 6 мас. ч. катализатора К-18 для холодного отверждения и 15–35 мас. ч. оксида церия для повышения эксплуатационных характеристик.

Экспериментально обоснован диапазон изменения количества дисперсного наполнителя в составе исследуемой полимерной композиции. Выявлено, что оксид церия за счет своих высоких диэлектрических показателей повышает удельное объемное электрическое сопротивление, диэлектрическую проницаемость и электрическую прочность покрытия. При этом хорошая адгезия оксида церия к кремнию в составе кремнийорганической смолы способствует повышению адгезии по методу отрыва за счет повышения прочности сцепления слоев покрытия между собой, уменьшающей вероятность когезионного разрушения покрытия. Кроме того, применяемый

наполнитель способствует стабильности диэлектрических показателей во всем интервале рабочих температур, повышает термостойкость и химическую стойкость получаемого покрытия.

При сравнительной оценке полученного электроизоляционного покрытия с известным и схожим с ним по составу и области применения покрытием установлено, что исследуемая кремнийорганическая композиция позволяет получить материал с более высокими адгезионными и диэлектрическими показателями.

Таким образом, полученная кремнийорганическая композиция может успешно применяться для получения электроизоляционных покрытий для защиты стальных и алюминиевых поверхностей деталей, устройств и приборов для электроники, электротехники и радиотехники, в том числе в условиях повышенной влажности, высоких температур и наличия агрессивных химических соединений.

Список литературы

1. Гуняев Г.М., Гофин М.Я. Углерод-углеродные композиционные материалы // *Авиационные материалы и технологии*. 2013. № S1. С. 62–90.
2. Колосова А.С., Пикалов Е.С., Селиванов О.Г. Теплоизоляционный композиционный материал на основе древесных и полимерных отходов // *Экология и промышленность России*. 2020. № 2. С. 28–33.
3. Ji W., Zou B., Huang C., Wang J., Xu K., Liu Y., Huang C. Effects of heating rate and metal binder on the microstructure and mechanical properties of self-diffusion gradient cermet composite tool materials. *Journal of Alloys and Compounds*. 2016. Vol. 677. P. 190–203.
4. Королёв А.П., Баршутин С.Н. Материалы электроники и электротехники: учебное пособие. Тамбов: Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2010. 80 с.
5. Пикалов Е.С. Применение стеклобоя для получения стеклокерамического материала электротехнического назначения // *Экология промышленного производства*. 2022. № 2. С. 6–11.
6. Краев И.Д., Попков О.В., Шульдешов Е.М., Сорокин А.Е., Юрков Г.Ю. Перспективы использования кремнийорганических полимеров при создании современных материалов и покрытий различных назначений // *Труды ВИАМ*. 2017. № 12. С. 5.

7. Колосова А.С., Пикалов Е.С. Современные газонаполненные полимерные материалы и изделия // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2020. № 10. С. 54–67.
8. Павлычева Е.А. Разработка полимерной композиции для получения электроизоляционных покрытий // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2022. № 3. С. 49–53.
9. Мушенко Р.С. Основные принципы формирования композиционных силиконовых материалов. [Электронный ресурс]. URL: https://tkfm.org/principi_formirovania (дата обращения: 29.09.2022).
10. Шарыгин Л.М. Термостойкие неорганические сорбенты. Екатеринбург: УрО РАН, 2012. 303 с.
11. Трифонова Т.А., Селиванова Н.В., Селиванов О.Г., Ширкин Л.А., Михайлов В.А. Утилизация гальваншламов сложного состава // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. Т. 14. № 5–3. С. 849–851.
12. Семенова С.Н., Чайкун А.М. Силиконовые резиновые композиции с повышенной термостойкостью (обзор) // Труды ВИАМ. 2020. № 11 (93). С. 31–37.
13. Vitkalova I., Torlova A., Pikalov E., Selivanov O. Development of environmentally safe acidresistant ceramics using heavy metals containing waste. MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 193. Article 03035.
14. Бондаренко Ю.М. Композиционный материал на основе алюминиевой матрицы и высокодисперсных оксидов тяжелых металлов – эффективный материал для формирования радиационно-защитных инженерных барьеров // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2014. № 1. С. 30–34.
15. Blythe T., Bloor D. Electrical Properties of Polymers. Cambridge University Press; 2nd edition. June 19, 2008. 496 p.

УДК 662.8:62-61:62-662

ТОПЛИВНЫЕ БРИКЕТЫ ИЗ КЕКА

¹Темникова Е.Ю., ^{1,2}Богомолов А.Р., ¹Горина В.З., ¹Вилисов Н.Д.

¹ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева»,
Кемерово, e-mail: teu.pmahp@kuzstu.ru;

²ФГБУН Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН,
Новосибирск, e-mail: barom@kuzstu.ru

В работе проведены исследования по применению различных связующих веществ для получения брикетов из кека (шлама) обогатительной фабрики шахты им. С.М. Кирова. Изготовленные брикеты, в которые были введены в качестве связующего компонента неорганические или минеральные добавки (гипс, цементирующая присадка, присадка из группы гидрослюд), при испытании на механическую прочность показали низкие результаты. Разные подходы получения топливных брикетов из кека выявили, что брикет из кека с добавлением древесного опила в объеме 8–14% имеет достаточную механическую прочность, чтобы его транспортировать любым видом транспорта. Эти брикеты имеют механическую прочность более 97%, которая при циклическом замораживании и размораживании не изменяется, недожог после горения не выше 4% при зольности исходного материала не выше 36%. Процесс горения брикетов в разных условиях устойчив и продолжителен. При открытом горении задержка зажигания к активному горению составила более 10 мин, в бытовой печи (муфеле) около 3 мин. Муфель бытовой печи позволил поддерживать повышенную температуру в объеме в отличие от горения на открытом воздухе, где повышенная температура поддерживалась только в нижней (подовой) части горения.

Ключевые слова: шлам, кек, брикетирование, связующее, прочностные свойства, горение

FUEL BREQUETS FROM CAKE

¹Temnikova E.Yu., ^{1,2}Bogomolov A.R., ¹Gorina V.Z., ¹Vilisov N.D.

¹T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, e-mail: teu.pmahp@kuzstu.ru;

²S.S. Kutateladze Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk,
e-mail: barom@kuzstu.ru

In this paper, studies have been conducted on the use of various binders for the production of briquettes from the cake of the concentrator at the Shakhtar Mine CM. Kirov. The manufactured briquettes, in which inorganic or mineral additives (gypsum, cementing additive, additive from the group of hydrosilicates) were introduced as a binder, as well as dehydrating additives, did not show acceptable mechanical strength results. Different approaches to obtaining fuel briquettes from cake revealed that a briquette from hake with the addition of sawdust in the amount of 8–14% has sufficient mechanical strength to be transported by any type of transport. These briquettes have a mechanical strength of more than 97%, which does not change during freezing and thawing, the underburning after burning does not exceed 4% and the ash content is not higher than 36%. With open gorenje ignition delay gorenje was more than 10 min, in a household oven (muffle) about 3 min. The muffle of the household furnace allowed to maintain an elevated temperature in the volume, unlike gorenje outdoors gorenje, where the elevated temperature was maintained only in the lower (hearth) part of the combustion.

Keywords: slime, cake, cake briquetting, binder for cake, strength properties, burning

В Кузбассе большая часть добываемого угля обогащается, в результате чего образуются высокозольные отходы (шламы или кеки), которые по массе составляют миллионы тонн. При обогащении на предприятиях получают 0,5–10% (мас.) шламов от перерабатываемого угля, зольность которых варьируется в диапазоне от 14 до 70% (мас.), влажность от 12 до 60% (мас.), а дисперсный состав таков, что класс +500 мкм составляет 2–15%, а класс от -500 мкм – 40–90% [1]. Шлам размером до 200 (300) мкм не обогащается и в процессе осветления оборотной воды в сгустителях переходит в осадок, который при обезвоживании до влажности около 43% вывозится в шламонакопители. Имеется проблема утилизации кека (шлама). Чем меньше класс крупности частиц шлама, тем больше удерживается влаги

на его поверхности из-за адсорбционной связи влаги с материалом. Высокое содержание влаги в кеке отрицательно влияет на его теплоту сгорания, на его разгрузку из-за прилипания, смерзание при транспортировке в холодный период [2].

К основным направлениям, по которым предлагается осуществлять переработку кека (шлама), можно отнести получение из кека, как обводненного угольного топлива, брикетов, пеллетов для сжигания в котельных агрегатах и бытовых печах [3]. При изготовлении брикетов из кека в большинстве случаев предусматривается их термическая сушка. Эту технологическую стадию можно рассматривать как основной недостаток, так как сушка кека экономически нецелесообразна и неоправдана в промышленном масштабе из-за высоких затрат тепловой или электрической энергии [2].

Полезное использование отсеков, шламов, отходов углеобогащения является главной задачей обогатительных фабрик и угледобывающих регионов, например для Кузбасса. В сентябре 2018 г. на бизнес-форуме «Современные технологии комплексной переработки угля» было озвучено, что в Кузбассе имеется 54 действующие обогатительные фабрики и установки, через которые в 2017 г. переработано 67% от добытого угля (более 150 млн т). Также отмечено, что на следующие пять лет в планах стоит задача построить 18 обогатительных фабрик, что неизбежно повлияет на рост объема переработанного угля (более 60 млн т), увеличит количество рабочих мест и выход отходов углеобогащения [4].

Поэтому проблема утилизации отходов углеобогащения, таких как кек, является актуальной и связана направлением исследования в области отверждения пластичной обводненной угольной массы кека с использованием связующего или влагоотнимающего компонента без термической сушки с целью достижения достаточной прочности. К настоящему времени опубликован документ [5], содержащий информацию об уровне технического и технологического развития сферы обезвреживания отходов термическим способом, применяемых наилучших доступных технологий (НДТ), в котором пока не приводится технология утилизации пластического обводненного угольного кека.

Цель работы – создание опытных образцов брикетов на основе отходов обогатительной фабрики с применением различных видов связующих методом прессования или окомкования без термической сушки и достижение необходимых физико-химических, теплотехнических и механических характеристик брикетов.

Материалы и методы исследования

На обогатительной фабрике шахты им. С.М. Кирова были отобраны образцы отходов углеобогащения – кек (шлам). Дисперсный состав кека размером 80–250 мкм составляет более 70% от общей массы образца. Образцы кека были подвергнуты техническому анализу, который показал, что кек имеет высокую влажность 43,2% и зольность на сухую массу 36,5%, а выход летучих составил 26,4%. Необходимо отметить, что при нахождении влажности кека образцы для аналитического анализа небольшой массы (~3 г) на выходе представляли собой пористую структуру в виде крепкого кусочка, не рассыпаясь. Можно сделать вывод, что поверхность мелких частиц кека имеет химические вещества

(флотореагенты и флокулянты), которые при удалении влаги сушкой способствуют закреплению между собой частиц и противодействуют разрушению. Необходимо приложить усилия для получения сыпучего материала, направляемого на исследование гранулометрического состава.

Формирование на гидравлическом прессе брикета из кека без добавления каких-либо компонентов показало, что из брикетируемого кека влага не удалялась, а выходила вместе с кеком через нижние и боковые отверстия пресс-формы и брикет не формировался. То есть к кеку необходимо добавлять связующий или водоотнимающий компонент, предназначенный выполнять основную функцию – придание устойчивой формы брикету при прессовании или окомковывании. Получение брикета в опытах производили следующим образом. После смешения кека и связующего смесь закладывалась в пресс-формы и прессовалась гидравлическим прессом при нагрузке 1–3,5 т. Масса брикета не превышала 12,8 г при размерах цилиндрического брикета диаметром и высотой 20–22 мм. Время выдержки образца брикета под максимальной нагрузкой составляло не более 15 с.

Результаты исследования и их обсуждение

Первый подход к созданию прочного топливного брикета основан на введении неорганического алюмосиликатного связующего, хорошо зарекомендовавшего себя при создании коксопылевых брикетов [6, 7]. Композиция связующего СВ № 1 представляла собой золу уноса размером 0–50 мкм, преимущественно содержащую оксиды кремния Si и Al, активированную гидроксидом Na. Композиция добавлялась к кеку при их смешении до гомогенного состояния при температуре 20–24 °С [7]. Набор прочности брикета после его получения происходил через 24 ч в естественных условиях в помещении [7]. При этом связующий компонент вступает в реакцию с влагой, содержащейся в кеке, по действию напоминает эффект цементирования с образованием силикатов, образует прочный агломерат. По результатам испытаний брикетов с добавкой СВ № 1 можно сделать вывод, что применение неорганического связующего на основе активированной золы уноса каустической содой приводит к положительному результату только по механической прочности брикета. Теплота сгорания такого брикета из-за повышения зольности уменьшается пропорционально введенной добавке. Вводимая присадка в виде золы уноса не повышает стоимость брикета, так как она

является отходом при производстве тепловой и электрической энергии на угольных энергетических станциях. Каустическая сода, вводимая в состав связующего для активации золы уноса, является продукцией химических предприятий, например ООО «Химром», г. Кемерово. В связи с этим стоимость топливного брикета будет неконкурентной на угольном рынке. То есть техническим результатом (достоинством) данного состава является механическая прочность брикетов на уровне не ниже 93 %. К недостаткам применения композиции СВ № 1 можно отнести высокую стоимость добавляемых компонентов, а также повышение зольности брикета.

В промышленности имеются апробированные материалы, выступающие в качестве связующих компонентов, которые можно применить для получения топливных брикетов из углеродсодержащих отходов: цемент, бентонитовый глинопорошок, известковая мука – пушенка, гипс, лигносульфонат натрия [6].

Полученные брикеты по рецептуре СВ № 2 – СВ № 4, где в качестве связующего компонента применялись минеральные добавки, являющиеся продукцией строительной индустрии и имеющие высокую стоимость (гипс, цементирующая присадка, присадка из группы гидрослюд), не показали приемлемых результатов по механической прочности. Введение неорганического связующего на основе обработанной гидроксидом натрия золы уноса или цементирующих добавок (СВ № 1 – СВ № 4) приводит к повышению зольности и снижению теплоты сгорания брикетов.

Следует переориентировать направление исследований по выбору связующего, например изучить влияние введения водоотнимающих компонентов на связывание воды в гидраты, чтобы изготовить прочный топливный брикет. В кек (шлам) добавляли следующие вещества в качестве дегидратирующих присадок: хлорид магния ($MgCl_2$), хлорид кальция ($CaCl_2$). Результаты показали нецелесообразность введения добавок к кеку. Не происходит удаление воды, а осуществляется ее перевод в другую форму (в виде гидратов), так как дегидратирующие добавки обычно удаляют из системы после насыщения их водой. Последующая дополнительная стадия удаления кристаллогидратов для кека приведет к большому повышению себестоимости продукта из кека.

Ранее было отмечено, что при сушке образцов для определения влажности они не обрабатывались в рассыпчатую массу, а представляли собой пористую прочную структуру. То есть оставшиеся на поверхности частиц флотореагенты и флокулянты [7] есть свя-

зующие компоненты. Исследования состава флотационных реагентов показали, что они являются одновременно связующим компонентом при брикетировании кека [7]. Типичными компонентами при флотации используют моторные масла до 30–40 % (мас.), керосино-газойлевые фракции нефтепродуктов до 40–50 %, различные смеси ПАВ (масло Х, КО 2-этилгексанола, КОБС, КЭТГОЛ) до 20 %. При осаждении в горизонтальных сгустителях часто используют в качестве флокулянта – полиакриламид. Именно эти компоненты удерживают влагу в массе кека и не позволяют удалить ее даже при сжатии в пресс-форме гидравлическим прессом, т.е. необходим отнимающий влагу от поверхности частиц материал [7]. К таким материалам можно отнести отходы деревообрабатывающей промышленности: опил, щепу. Превышение капиллярного давления в отнимающем компоненте при соприкосновении с влагой кека есть условие отнимания влаги из обводненного кека [7, 8]. Радиус капилляров добавляемого компонента должен быть меньше, чем размер порового пространства частиц кека, составляющего более 80 мкм [7].

Наиболее приемлемым водоотнимающим средством могут служить древесные опил и щепа, а также лузга и другие продукты растительного происхождения [7]. Пористость отечественных древесных пород составляет 40–77 %, которая обусловлена наличием в ее структуре полостей клеток, межклетников и неутолщившихся участков клеточных стенок (мембраны пор), пронизанных мельчайшими отверстиями [7]. Радиус пор в древесине составляет в среднем 10 мкм [9]. Капиллярное давление в древесине примерно на порядок выше, чем для кека, поэтому при ее введении будет происходить отдача влаги от кека, который из пластического липкого вида перейдет в состояние, позволяющее придать ему недеформируемую и устойчивую форму [7, 8].

Композиция связующего СВ № 5 представляла собой смесь неорганической зольной части класса 0–50 мкм (10 %) и опила (8 %), а композицию СВ № 6 составлял только опил (11 %). При добавлении СВ № 5 или СВ № 6 к кеку происходит быстрое повышение вязкости смеси с образованием прочного агломерата и влаги, содержащаяся в кеке, переходит к вводимым компонентам. Увеличенная зольность брикета при введении связующего СВ № 5 приводит к снижению его теплоты сгорания, а инкубационный период повышения прочности брикета происходит с большой временной составляющей. Применение СВ № 5 позволяет получить механическую прочность брикета

на уровне не выше 70 %. Достоинства СВ № 6 – доступность, низкая стоимость добавки и достижение механической прочности брикета не ниже 97 %. Получение брикетов можно проводить по схеме прессования в экструдерах или в валковом прессе [8].

Изучение технических и качественных характеристик полученных топливных брикетов при введении древесного опила показало, что его доля должна составлять 8–14 %, остальное – кека влажностью 38–43 %. С ростом влажности кека доля древесного опила увеличивается, но чем ниже равновесная влажность древесины, тем меньше ее нужно.

Брикеты с композицией СВ № 6 были подвергнуты циклическому охлаждению до замерзания и размораживанию в морозильной камере с охлаждением до -45°C . Три свежизготовленных брикета были взвешены на аналитических весах и помещены в камеру, имеющую температуру -40°C . Через 30, 90, 150 мин и 72 ч от начала опыта производили выемку и взвешивание. Общая потеря массы составила 1,1 %. Затем брикеты поместили для размораживания в комнатные условия с температурой 24°C и относительной влажностью 40 %. Охлаждение и нагревание брикетов производили не менее трех циклов. После размораживания брикеты не изменили свою форму и не получили видимых дефектов, т.е. их хранение и транспортировка в период температур ниже 0°C или изменяющихся относительно 0°C возможна.

При исследовании брикетов со связующим СВ № 6 на водопоглощение они были уложены, не касаясь друг друга, на металлическую сетчатую подставку и помещены на 24 часа в сосуд с конденсатом комнатной температуры, таким образом, что уровень конденсата был выше на 30–40 мм. По истечению первого часа конденсат стал постепенно окрашиваться в черный цвет. После 24 ч испытания конденсат имел ярко выраженный черный цвет и брикеты разрушились, т.е. их не рекомендуется подвергать прямому воздействию воды и следует хранить и транспортировать с использованием покрытия [8].

Завершающим этапом исследований являлось изучение горения топливных брикетов из кека, которое осуществляли для брикетов с добавкой композиций СВ № 5 и № 6 в открытом пространстве (мангале), а для СВ № 6 – в бытовой печи (муфеле) [8].

В муфеле через 3 мин после внесения брикетов в горящий дрова происходило их активное горение, характеризующееся малой задержкой зажигания. В первые 3–5 мин после начала горения отмечено дымление из дымовой трубы, которое далее перешло в светло-серый оттенок. В течение получаса

прослеживались видимые пламена, которые уменьшались до исчезновения следующие 30 минут. После прекращения видимого горения (отсутствие пламен) окислительный процесс продолжался, на что указывало значительное выделение теплоты. При горении брикеты сохраняли первоначальную форму цилиндров. Через 12 ч произведена выемка остатков брикетов из муфеля для проведения анализа на остаток несгоревшего углерода. При выемке остатки брикетов разламывались при незначительном прикосновении. Продолжительность окисления брикетов в бытовой печи была не менее 8 ч. Горение брикета происходило от внешней поверхности по направлению к центру брикета. При длительном горении брикетов потери теплоты с уходящими дымовыми газами меньше, чем при быстром горении обычного угля в бытовой печи.

Горение брикетов составов СВ № 5 и СВ № 6 в открытом пространстве проходило в мангальных установках на открытом воздухе. Задержка зажигания к активному горению составила более 10 мин в сравнении с 3 мин для муфеля. В муфеле бытовой печи поддерживалась более высокая температура, чем при горении в мангальной установке. Горение с пламенем происходило около 45 мин, затем без пламени, но с выделением теплоты более 8 ч. Наличие высокой температуры, проявляющееся в виде красного оттенка, было и после 85 мин горения. Остатки брикетов после открытого горения имели начальную форму даже при незначительном сдавливании, а остатки брикетов от горения в муфеле разламывались при незначительном прикосновении [8].

Остатки после горения (зола) исследовали на недожог, изучили дисперсный состав. Остаток углерода для брикета с СВ № 6 в муфеле – 4,0 %; СВ № 6 открытое горение – 4,7 %; СВ № 5 открытое горение – 7,9 % [8]. Наиболее полное сгорание происходит в муфеле брикетов с СВ № 6. Незначительно, возможно в пределах погрешности, недожог имеет большую величину этого состава СВ № 6 при открытом горении.

При изучении дисперсного состава было обнаружено, что при горении в муфеле в золе от брикетов СВ № 6 имеется крупная фракция в сравнении с золой при открытом сжигании. Вероятно добавка в виде опила имеет элементы плавни Na и K, которые в процессе горения при повышенных температурах (в муфеле), образуются в друзы [8]. С другой стороны, при открытом горении получают 90 % золы размером 0–80 мкм, которая может быть востребована в строительстве при производстве полимерных бетонов.

Заключение

Изготовленные брикеты по рецептуре СВ № 1 – СВ № 4, в которые были введены в качестве связующего компонента неорганические или минеральные добавки, показали низкие характеристики по механической прочности. Введение дегидратирующих добавок к кеку не привело к желаемому результату. Наиболее выгодным и удовлетворяющим требованию по механической прочности с целью его транспортировки оказался брикет из кека с внесением древесного опила в объеме 8–14 %. Брикеты по рецептуре СВ № 6 имеют следующие характеристики: механическая прочность – более 97%; недожог после горения – не выше 4%; зольность не выше 36%; выход летучих не менее 26%; стабильность горения – устойчивое и продолжительное горение; теплота сгорания брикета соответствует теплоте сгорания кека на сухую массу, уменьшенную на 2–3 % (расчет); механическая прочность при замораживании и размораживании не изменяется; водопоглощение – почти 100%, что приводит к полному разрушению брикета.

Работа выполнена при финансовой поддержке в соответствии с дополнительным соглашением о предоставлении субсидии из федерального бюджета на финансовое обеспечение выполнения государственного задания на оказание государственных услуг (внутренний номер 075-ГЗ/Х4141/687/3).

Список литературы

1. Серегин А.И. Разработка технологических схем переработки угольных шламов в товарную продукцию // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2008. № 5. С. 241–244.
2. Новак В.И. Проблема кека обогатительных фабрик. Кто виноват и что делать? // Уголь. 2016. № 10. С. 70–73.
3. Антипенко Л.А. Новые подходы к созданию углеобогатительных фабрик // Уголь. 2017. № 6. С. 68–72.
4. Форум СТК: важный опыт для угольной отрасли. Бизнес-форум «Современные технологии комплексной переработки угля». 24.12.2018. [Электронный ресурс]. URL: <https://dprom.online/chindustry/forum-stk-vazhnyj-opyt-dlya-ugolnoj-otrasli/> (дата обращения: 14.09.2022).
5. ИТС 9-2015 Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям: Обезвреживание отходов термическим способом (сжигание отходов) / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. М.: Бюро НТД, 2015. 258 с.
6. Temnikova E.Yu., Bogomolov A.R., Lapin A.A. The use of fractionated fly ash of thermal power plants as binder for production of briquettes of coke breeze and dust. IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 891(2017) 012232. URL: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/891/1/012232/meta> (дата обращения: 14.09.2022).
7. Богомолов А.Р., Черепанова Л.В., Косарев Д.М., Григорьева Е.А. Подходы к созданию топливного брикета из шламов (кека): сб. мат. IV Всерос. науч.-практ. конф. «Энергетика и энергосбережение: теория и практика» (Кемерово, 19–21 декабря 2018 г.). Кемерово, 2018. С. 111.1–111.6.
8. Темникова Е.Ю., Богомолов А.Р., Косарев Д.М. Топливные брикеты из шламов (кека) обогатительных фабрик: мат. Всерос. науч. конф. с междунар. участием «Семинар Вузов по теплофизике и энергетике» (Санкт-Петербург, 21–23 октября 2019 г.). СПб: Политех-пресс, 2019. С. 378–379.
9. Чудинов Б.С. Вода в древесине. Новосибирск: Наука, 1984. 269 с.

СТАТЬИ

УДК 530.1:53.01

**О ПРИРОДЕ ДВИЖЕНИЯ ПО ИНЕРЦИИ
В ПРЕДПОЛОЖЕНИИ БЛИЗКОДЕЙСТВИЯ****Ромм Я.Е.***Таганрогский институт имени А.П. Чехова (филиал) ФГБОУ ВО «РГЭУ (РИНХ)»,
Таганрог, e-mail: romm@list.ru*

Предположение близкого действия опирается на электрон-позитронную модель вакуума, поля и вещества. За наименьший элемент силовых линий электрического, магнитного и гравитационного поля принимается устойчивая вращающаяся электрон-позитронная пара. Электрон (аналогично, позитрон) в паре представляется как замкнутый тороидальный вихрь (контур тока без сопротивления, отдельный от контура позитрона), направленный вдоль окружности как оси вращения. Аннигиляция в паре исключена одноименностью обращенных друг к другу полюсов магнитных диполей контуров. Пара сохраняет устойчивость вследствие притяжения противоположных зарядов и индуктивного взаимодействия вихрей. Для контуров пары и для структурированного множества электрон-позитронных пар силовых линий предполагается свойство электромагнитной индукции. В рамках предположений инерция как сопротивление действию и движение тела по инерции являются следствиями электромагнитной индукции контуров электрон-позитронных пар радиальных силовых линий гравитационного поля тела, образующих его поле инерции, а также индуктивного взаимодействия этих контуров с контурами пар окрестного пространства. Электрон-позитронная среда пространства центрально-симметрично притягивает тело в состоянии механического покоя, переход тела в состояние движения по инерции происходит с усилением притяжения в направлении движения, ослаблением – в обратном направлении и делает поле инерции тела ориентированным по направлению движения. Притяжение в направлении движения быстро убывает за время передачи импульса, с ростом времени асимптотически стремится к нулю, при этом поддерживается электромагнитной индукцией элементов поля инерции. Ориентированность полей инерции движущихся тел приводит к предположению, что два тела, движущиеся в одном направлении, притягиваются, движущиеся в противоположных направлениях – отталкиваются (при сохранении гравитационного притяжения). За состояние локального покоя тела принимается неизменность его положения относительно окрестной среды пространства, за состояние локального движения – изменение положения относительно априорной точки покоя. В частности, это покой тела на твердой поверхности и механическое движение по инерции относительно точки покоя. Предполагаемые свойства применяются к объяснению приливо-отливных явлений, возмущений орбит объектов Солнечной системы, к возможности изменения веса тела и создания движения без передачи импульса.

Ключевые слова: инерция покоя и движения твердых тел, структура вакуума, поля и вещества, влияние поля инерции на орбиты небесных тел, электромагнитная индукция, создание движения тела без передачи импульса

**ON THE NATURE OF INERTIA MOTION UNDER
THE ASSUMPTION OF PROXIMITY****Romm Ya.E.***A.P. Chekhov Taganrog Institute (branch) of Rostov State University of Economics,
Taganrog, e-mail: romm@list.ru*

The assumption of proximity is based on the electron-positron model of vacuum, field and matter. A stable rotating electron-positron pair is taken as the smallest element of the electric, magnetic and gravitational field lines. An electron (similarly, a positron) in a pair is a closed toroidal vortex (a current circuit without resistance, separate from the positron circuit) directed along a circle as the axis of rotation. Annihilation in a pair is excluded by the eponymous nature of the poles of the magnetic dipoles of the contours facing each other. The pair remains stable due to the attraction of opposite charges and the inductive interaction of vortices. For the contours of a pair and for a structured set of electron-positron pairs of field lines, the property of electromagnetic induction is assumed. Within the framework of the assumptions, inertia as resistance to action and the motion of the body by inertia are the consequences of electromagnetic induction of the contours of electron-positron pairs of radial field lines of the gravitational field of the body forming its field of inertia, as well as the inductive interaction of these contours with the contours of the pairs of the surrounding space. The electron-positron medium of space centrally and symmetrically attracts a body in a state of mechanical rest, the transition of the body to a state of inertia motion occurs with increasing strength of attraction in the direction of motion, weakening in the opposite direction and makes the inertia field of the body oriented in the direction of motion. The attraction in the direction of motion decreases rapidly during the transmission of the pulse, asymptotically tends to zero with increasing time, while being supported by electromagnetic induction of the elements of the inertia field. The orientation of the fields of inertia of moving bodies leads to the assumption that two bodies moving in the same direction attract each other, moving in opposite directions repel while maintaining gravitational attraction. For the state of local rest of the body, the immutability of its position relative to the surrounding environment of space is taken. For the state of local motion – a change in position relative to the a priori point of rest. In particular, this is the rest of the body on a solid surface and mechanical inertia motion relative to the point of rest. The proposed properties are applied to the explanation of tidal phenomena, perturbations of the orbits of objects in the Solar System, to the possibility of changing body weight and creating motion without pulse transmission.

Keywords: inertia of rest and motion of solids, structure of vacuum, fields and substances, electromagnetic induction, influence of the inertia field on the orbits of celestial bodies, creation of body motion without pulse transmission

Движение по инерции рассматривается как наблюдаемое, повторяемое явление, которое обладает своей физической природой. Под этим понимается процесс, связанный с движущимся по инерции телом, благодаря которому такое движение происходит и без которого оно не могло бы происходить. Первоначально речь идет о механическом покое пробного тела на поверхности Земли и об изменении этого состояния на состояние движения по инерции вследствие получения импульса. Процесс, благодаря которому сохраняется импульс, исследуется в предположении близкого действия. Предполагается, что вакуумная среда состоит из электрон-позитронных пар. Из этих пар формируются силовые линии электрического, магнитного и гравитационного полей, а также поля инерции (определяется как структурная разновидность поля гравитации). Друг от друга поля отличаются видом соединения элементов силовых линий. Действие поля передается поэлементно. В этих предположениях ставится вопрос о закономерностях взаимодействия элементов поля пробного тела с элементами среды в процессе передачи, получения и сохранения механического импульса. В рамках подхода в телах, которые движутся по инерции, сохраняются фундаментальные законы, но при этом меняется взаимодействие их полей инерции с окрестной средой вакуума. Искомые закономерности сами по себе инвариантны относительно направления и скорости движения тела по инерции. Обсуждаются их приложения к объяснению приливо-отливных явлений, возмущений орбит небесных тел, к созданию механического движения без передачи импульса.

Цель исследования. Необходимо детально представить исходные предположения, в их границах вывести закономерности физических процессов, обуславливающих инерцию как сопротивление действию и инерцию как равномерное прямолинейное движение тела. Требуется сопоставить предположения и закономерности с известными физическими явлениями и на основе предложенного подхода указать явления, не известные ранее.

Предположение об элементах близкого действия и структуре вакуума. Существо предположения заимствуется из [1, 2]. С детализацией оно изложено в [3]. Ниже приводятся необходимые для дальнейшего рассмотрения его основные компоненты. Предполагается, что все вакуумное пространство и пространство между ядрами атомов физических тел заполнено элемен-

тами, которые нейтральны в том смысле, что не обнаруживают непосредственного взаимодействия с телами и стационарным электромагнетизмом. Нейтральность обусловлена нулевым суммарным электрическим зарядом в сколь угодно малой (в макроскопическом измерении) окрестности каждой точки пространства, аналогично, нулевой суммарной магнитной полярностью. Каждый такой элемент состоит из двух раздельных замкнутых тороидальных вихрей с круговыми продольными осями. Один – свернувшийся в замкнутый вихрь электрон, другой аналогичный вихрь – позитрон. При этом электрон (позитрон) имеет свойство замкнутого электрического тока в состоянии сверхпроводимости: в стационарном состоянии ток (круговое вращение) является устойчиво постоянным. В процессе вращения электрон имеет постоянный (единичный) электрический заряд e^- , обладает свойством кругового витка электрического тока, создавая магнитный диполь с полюсами N и S . Позитрон находится в аналогичном состоянии с противоположным единичным электрическим зарядом e^+ , образует магнитный диполь с полюсами S и N . Электрон и позитрон в паре располагаются в параллельных плоскостях, друг к другу обращены одноименными магнитными полюсами, образуя комбинацию полюсов $N S S N$, благодаря чему взаимно отталкиваются как одноименные полюса S и не аннигилируют. Их вращение вдоль круговых осей в паре является одинаково направленным, с противоположной ориентацией винтовых шагов (вихревых витков). Такая ориентация вихревых витков создает дополнительное взаимное отталкивание электрона и позитрона (по аналогии с разноименными электрическими токами, рис. 1), что также противодействует аннигиляции. Соседние вихревые витки вдоль круговой оси электрона (позитрона) взаимно притягиваются, создавая центростремительное сжатие. Поэтому электрон-позитронная пара (кратко – пара) имеет малый диаметр круговой оси, существенно меньший диаметра свободного электрона. В результате пара имеет точечный (в макроскопическом измерении) размер, в котором заключены два противоположных электрических заряда и две пары противоположных магнитных полюсов. Поэтому пара нейтральна относительно стационарных внешних зарядов и внешнего магнетизма в том смысле, что сама по себе не влияет на них, а вакуумное пространство, регистрируемое традиционными приборами, на этой основе трактуется как абсолютная пустота.

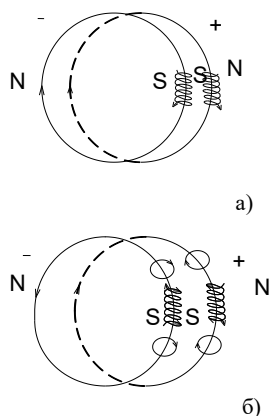


Рис. 1. Расположение магнитных полюсов в вихревой электрон-позитронной паре, механическая винтовая (а) и электрическая (б) ориентация вихревых витков на взаимное отталкивание

Пара сохраняет устойчивое состояние, поскольку ее противоположные электрические заряды притягиваются, а одноименные магнитные полюса и вихревые витки отталкиваются. Вводится предположение, что электрон и позитрон в паре как замкнутые электрические токи (контуры) обладают свойством электромагнитной индукции. Именно это свойство делает устойчивость пары практически абсолютной (без сильного внешнего электромагнитного воздействия). Электромагнитная индукция понимается как свойство менять силу тока в контуре пары (за счет скорости вращения вихря) таким образом, чтобы противодействовать всякому изменению электромагнитного поля пары, а шире – противодействовать всякому изменению электромагнитного поля локального множества взаимодействующих электрон-позитронных пар. Пары могли возникнуть в момент большого взрыва при зарождении Вселенной (взрыв бинарной сверхплотной жидкости в одной точке). При этом те из них, в которых оказались обращенными друг к другу разноименными магнитными полюсами, аннигилировали. Сохранились пары с обращенностью друг к другу одноименными магнитными полюсами. Где бы ни находилась такая пара, в силу крайне малого своего размера каждый вихрь пары будет вести себя, как в вакуумной среде (в масштабе к элементам атома), что обуславливает состояние сверхпроводимости: вакуум является сверхпроводником и не оказывает сопротивления электрическому току. При ограниченном внешнем воздействии на электромагнитное поле пары ее компоненты могут увеличить или уменьшить расстояние между центрами вращения, но благодаря свойству индукции

плоскости вращения останутся параллельными, а пара сохранит устойчивость. Могут увеличиться или уменьшиться радиусы круговых осей вращения – по той же причине пара сохранит устойчивость. Могут усилиться или ослабиться (за счет скорости вращения) сила тока и соответственно напряженность магнитного поля электрона (позитрона), но в силу индукции пара останется устойчивой. Абстрактно полагается, что все вакуумное пространство является средой, состоящей из электрон-позитронных пар с описанными свойствами, только из таких элементов и только с такими свойствами. Реально в среде находится множество известных и неизвестных элементов с разнообразными свойствами, но дальнейшие рассуждения от них абстрагируются. Стохастические процессы среды интерпретируются как среднестатистическое состояние элементов. Локальное множество элементов среды взаимодействует с физическим телом через его гравитационное и электромагнитное поле. Силовые линии этих полей образованы именно из элементов среды – из электрон-позитронных пар. Непосредственно локальные множества элементов вакуума не структурированы, но элементы силовых линий каждого поля определяют собственную структуру, с единственностью отвечающую разновидности поля. Электромагнитное поле в состоянии возмущения может влиять на структуру поля гравитации, изменяя вес тела [1]. В своей основе данный аспект не детализируется: анализу подлежит природа инерции физических тел. С этой целью необходимо учитывать состояния локального движения и локальной неподвижности электрон-позитронной среды в соответствии с состоянием инерции тела, взаимодействие поля инерции тела с элементами окрестной среды (внешние электромагнитные поля в этом случае считаются скомпенсированными). Механизм образования силовых линий поля обусловлен тем, что нуклоны ядра атома непосредственно состоят из таких же элементов, как вакуум – из электрон-позитронных пар [1–3]. Нейтрон рассматривается как сферическая поверхность, покрытая электрон-позитронными парами, расположенными в касательных плоскостях, являющихся плоскостями вращения элементов пары. Соседние пары чередуют сдвиг вдоль радиуса сферы, если смотреть с конца внешней нормали, пары чередуют знак заряда в шахматном порядке. Шахматный порядок однократно нарушен, в месте нарушения образуется избыток отрицательных зарядов, центральный из них выдавливается

(одноименными зарядами) с поверхности, когда нейтрон оказывается в свободном состоянии. Тогда он излучает электрон и приобретает единичный положительный заряд сохранившегося в его структуре позитрона, образуя протон. В ядре атома это не происходит (если атом не радиоактивен): избыточная отрицательная зона нейтрона ядра ориентирована на положительный заряд протона. Ядро атома необходимо ориентирует электрон-позитронные пары среды в своей окрестности. Ориентация ближайшей пары происходит либо со стороны заряда электрона на заряд протона ядра (позитрон на его поверхности), либо со стороны внутреннего магнитного полюса S на внешний магнитный полюс N пары на поверхности нейтрона (полюс N поочередно выдвинут по направлению к внешней нормали). Ориентированные элементы, в свою очередь, ориентируют ближайшие к ним элементы среды, и так – до образования радиальной силовой линии гравитации ядра атома. У силовой линии гравитации

соединение элементов происходит таким образом, что локальное множество элементов вдоль линии на любом отрезке сравнительно большой длины в сумме электрически и магнитно нейтрально. Силовая линия гравитации порождается не электрическим и не магнитным полем, поэтому взаимная ориентация зарядов электрон-позитронных пар в ней не является чередующейся и не обеспечивает суперпозицию малых магнитных элементов в магнитное поле. Радиальная силовая линия гравитации имеет вид прямолинейной цепочки ориентированных друг на друга электрон-позитронных пар, чередование зарядов которых прерывается перпендикулярно расположенными («ортогональными») электрон-позитронными парами. Ортогональные пары образуются за счет ориентации на внешний магнитный полюс N пары линейной цепочки одновременно двух внутренних полюсов S S перпендикулярной пары. В продолжение таких связей образуется прямолинейная цепочка вида:

$$\begin{array}{ccccccc}
 & N & & N & & N & \\
 & S & & S & & S & \\
 (n) & NSSN & NSSN & \dots & NSSN & NSSN & NSSN \\
 & S & & S & & S & \\
 & N & & N & & N &
 \end{array} \quad (n), (1)$$

где соседние линейные элементы в промежутке между перпендикулярными элементами чередуют знак заряда на обращенных друг к другу концах:

$$(e^+, e^-), (e^+, e^-), (e^+, e^-), \dots, (e^+, e^-), (e^+, e^-), (e^+, e^-). \quad (2)$$

Длина цепочки (2) сравнительно мала, в (1) она показана трижды состоящей из одной электрон-позитронной пары. Символ (n) в (1) условно означает, что цепочка от нуклона атома одного тела может идти к нуклону атома другого тела, образуя между ними притяжение (в этом случае силовая линия не радиальная, а замкнутая). Цепочка (2) в структуре силовой линии (1) может иметь видоизмененную ориентацию в противоположном направлении:

$$(e^-, e^+), (e^-, e^+), (e^-, e^+), \dots, (e^-, e^+), (e^-, e^+), (e^-, e^+). \quad (3)$$

В этом случае цепочки (2) и (3) расположены по разные стороны от ортогональной пары. Обращенность друг к другу одноименных зарядов по обе стороны от ортогональной пары не влечет отталкивания цепочек друг от друга, поскольку расстояние между одноименными зарядами примерно вдвое больше, чем расстояние между противоположными магнитными полюсами, при этом полюс N притягивается сразу к двум полюсам S .

Символическое изображение (1) – (3) условно принимается для обозначения взаимной ориентации элементов силовых линий атомов и физических тел. В реальности элементы силовой линии подчиняются вероятностным закономерностям. В среднем принадлежащая силовой линии пара находится в положении, обозначенном в (1) – (3), с вероятностью $P > 1/2$. Силовая линия содержит многочисленные разветвления [3], в рамках темы в целом это не обсужда-

ется. Сама по себе силовая линия вида (2) или (3) относится к электростатическому заряду, поле которого состоит из ориентированных таким образом элементов. Силовая линия магнитного поля условно состоит из элементов вида:

$$\begin{array}{ccc} S & S & \\ N & & N' \end{array} \quad (4)$$

где предполагается, что линия центров вращения электрон-позитронной пары (рис. 1)

$$\begin{array}{ccccc} N & & N & & N & & N & & N \\ & S & & S & & S & & S & & S \\ & S & & S & & S & & S & & S \\ N & & N & & N & & N & & N \end{array} \quad (5)$$

В дальнейшем элементы электростатического и магнитного полей (2) – (5) по отдельности не рассматриваются. Основным изображением радиальной силовой линии гравитации физического тела в статическом состоянии ниже считается (1), где прямолинейная цепочка начинается из центра тяжести тела с одной стороны, но на противоположной стороне не замыкается на другое тело. Аналогичную радиальную структуру имеют силовые линии гравитации нуклона, ядра атома, следствием суперпозиции которых является структура радиальных силовых линий гравитации макроскопического тела.

Радиальные силовые линии гравитации выходят из центра гравитации тела и прямолинейно продолжают (формально) до бесконечности, их структура ослабляется с удалением от центрального источника. Радиальные и замкнутые линии принадлежат единому полю гравитации. Возможно, что те и другие имеют отчасти общие элементы, которые в своих стохастических колебаниях чередуют передачу действия то замкнутых, то радиальных линий, принадлежа то одной, то другой структуре («в режиме разделения времени»). Точное различие между ними – отдельный предмет исследования. В дальнейшем будут рассматриваться только радиальные силовые линии гравитации тела. Предположительно, именно они обеспечивают процессы передачи и сохранения механического импульса, кинетической энергии, движения по инерции. Кратко они будут называться радиальными силовыми линиями, или радиальными линиями, их множество будет также называться полем инерции тела, ино-

изогнута посередине под некоторым углом. Угол наклона к исходной линии центров должен быть меньше прямого, иначе пара аннигилировала бы с парами среды, чего в реальности не происходит. Горизонтальное изображение отрезка силовой линии магнитного поля, составленной из элементов (4) (электрон-позитронных пар, в которых отображены только магнитные полюса замкнутых вихревых витков), можно представить в виде:

гда сами они – силовыми линиями инерции. Синонимы используются по контексту и не указывают на различие силовых линий гравитации и инерции (хотя геометрически и структурно между теми и другими имеется различие). Состояние и свойства силовых линий инерции будут отдельно рассматриваться по ходу обсуждения инерции. Поле инерции и поле гравитации имеют один и тот же источник, одинаковые элементы. Несмотря на это, в стационарном состоянии они не влияют друг на друга подобно тому, как в стационарном состоянии не влияют друг на друга гравитационное, электрическое и магнитное поле (несмотря на общность компонентов). Структура силовых линий поддерживается электромагнитной индукцией множества элементов, образующих эту структуру. Взаимная индукция структурированных множеств (элементов) препятствует изменению их взаимного положения аналогично тому, как она препятствует изменению состояния элементов электрон-позитронной пары. В частности, именно так силовые линии инерции сохраняют радиальную структуру. Для процесса электромагнитной индукции в контурах электрон-позитронных пар и в структурированном множестве элементов предполагаются выполненными закон Фарадея и правило Ленца.

Локальное движение и локальная неподвижность вакуумной среды. Согласно [2] окрестная среда из электрон-позитронных пар сопровождает орбитальное движение небесного тела (на сравнительно небольшом расстоянии от поверхности) и сопровождает также обращение этого тела вокруг своей оси. Этим объясняется постоянство

скорости света в опытах Майкельсона. Однако вектор $\vec{f}_z$ действия гравитации Земли на элемент среды по абсолютной величине в 10^{10} больше вектора $\vec{f}_i$ гравитационного действия на тот же элемент со стороны «кольцевого интерферографа» Саньяка. Вектор суммы $\vec{f}_z + \vec{f}_i$ всегда будет направлен вдоль вектора действия Земли. Как следствие, элемент среды остается статически притянутым к центру Земли и отстает от вращающейся платформы, чем объясняется разница скорости света в прямом и обратном направлении вращения (опыт Саньяка). Лучше сказать, что элемент вращающейся поверхности платформы не увлекает среду в силу разницы притяжения частью вращающейся поверхности Земли и элементом вращающейся платформы. Согласно [2] среда увлекается вращающейся поверхностью небесного тела, при удалении от поверхности среда перемещается вслед за центром гравитации этого тела, при последующем удалении – за центром планетной системы, в Солнечной системе – вслед за Солнцем, вблизи от Солнца – вслед за вращающейся поверхностью Солнца. При удалении от планетной системы среда движется вместе с центром галактики и вслед за ее вращением. Локальное перемещение среды вслед за перемещением центра гравитации и массивных поверхностей небесных тел – следствие действия силовых линий гравитации и инерции на элементы среды между ними.

Ниже принято уточнение, что небольшое тело при движении увлекает или не увлекает электрон-позитронную среду в малой окрестности своего центра в зависимости от ускорения: если ускорение нулевое, то среда движется со скоростью тела, если ускорение не равно нулю, то среда отстает от тела. За состояние локального покоя тела принимается неизменность его положения относительно окрестной электрон-позитронной среды, за состояние локального движения – изменение положения в пространстве относительно априорного положения покоя. В частности, это покой тела на твердой поверхности и механическое движение по инерции относительно точки покоя.

Притяжение тела вакуумной средой пространства. Пусть рассматривается неподвижное сферическое однородное тело небольшого размера массой m с центром o на поверхности Земли. Радиальные силовые линии гравитации (силовые линии инерции) центрально симметрично исходят из центра o этого тела. С некоторой модификацией из [2] заимствуется следующее

предположение. Элемент действия (дифференциал абсолютной величины силы) точечного тела массой m на сколь угодно малый (в макроскопическом измерении) элемент электрон-позитронной среды в окрестности точки радиальной силовой линии тела на расстоянии r от центра o может быть представлен в виде:

$$df = m \left(-\frac{2k}{r^3 e^{\frac{k_0}{r}}} + \frac{kk_0}{r^4 e^{\frac{k_0}{r}}} \right) dr,$$

где $f = m_d \ddot{r}$, m_d – масса рассматриваемого элемента среды, k и k_0 – некоторые постоянные коэффициенты. Полное действие тела на рассматриваемый элемент по абсолютной величине выразится интегралом:

$$f = m \int_0^r \left(-\frac{2k}{r^3 e^{\frac{k_0}{r}}} + \frac{kk_0}{r^4 e^{\frac{k_0}{r}}} \right) dr. \quad (6)$$

В обозначении $f = f_{m m_d}$ (6) перейдет в соотношение [2]

$$f_{m m_d} = k \frac{m m_d}{r^2} e^{-\frac{k_0}{r}}. \quad (7)$$

Если раскрыть выражение модуля силы $f_{m m_d}$, то (7) примет вид:

$$m_d \ddot{r} = k \frac{m m_d}{r^2} e^{-\frac{k_0}{r}}, \quad (8)$$

где на момент рассуждения $m_d \neq 0$. Ускорение элемента $\ddot{r} = k \frac{m}{r^2} e^{-\frac{k_0}{r}}$. Если бы рассматривались замкнутые, а не радиальные силовые линии, можно было бы показать, что $k = \gamma$, где γ – гравитационная постоянная (обоснование формально не сохраняется для радиальных линий). Ускорение может быть получено без предположения о наличии ненулевой массы элемента силовых линий и среды пространства [2], после умножения обеих частей на m_d получилось бы (8). В [2] как равноправные рассматривались оба подхода. Ниже принимается, что $m_d \neq 0$, и на этой основе выполнены соотношения (7) и (8). Допущение $m_d \neq 0$ соответствует предположению, что электрон-позитронная пара обладает ненулевой инертной массой $m_{IN e^- e^+}$: $m_{IN e^- e^+} \neq 0$. Гравитационная масса пары будет обозначаться $m_{GR e^- e^+}$. Предполагать, что $m_{GR e^- e^+} \neq 0$, можно на основе структуры нуклона. Нуклон имеет гравитационную массу и по предположению состоит из электрон-позитронных пар. Имен-

но нуклон порождает силовые линии гравитации и инерции, состоящие из таких же пар. Если он имеет гравитационную массу, проявляющуюся благодаря тому, что он сам и его силовые линии состоят из электрон-позитронных пар, то почему эти пары должны не иметь гравитационной массы? Ниже принято, что гравитационную массу $m_d \neq 0$ имеет структурированное множество электрон-позитронных пар в любой сколь угодно малой (в макроскопическом измерении) окрестности точки радиальной силовой линии. Принято, что инертная и гравитационная массы равны, в частности $m_{IN} e^- e^+ = m_{GR} e^- e^+$. В этих предположениях из того, что тело действует на дифференциальный элемент среды с силой (8), следует, что и сам этот элемент действует на тело с силой:

$$m \ddot{r} = k \frac{m_d m}{r^2} e^{-\frac{k_0}{r}}. \quad (9)$$

Как прямое, так и обратное действие состоят во взаимном притяжении тела и элемента среды. Отсюда тело массой m на расстоянии r от его центра на любой радиальной линии испытывает притяжение со стороны элемента среды на этой линии с силой, определяемой правой частью (7), или, что то же, – правой частью (8), или (9) (различие – в создаваемом уско-

рении: из (9) $\ddot{r} = k \frac{m_d}{r^2} e^{-\frac{k_0}{r}}$). Смежные радиальные силовые линии расположены («почти») под нулевым углом друг к другу, в макроскопическом измерении они представляются параллельными и неразделенными. Такие силовые линии образованы параллельными силовыми линиями нуклонов различных атомов тела. Параллельные силовые линии тела заполняют объем бесконечного цилиндра фиксировано малого диаметра перпендикулярного сечения D . Значение D считается заданным формально и фиксируется независимо от массы тела m . Предполагается, что определенные таким способом цилиндры попарно взаимно отделены на некоторый постоянный угол. Элементы среды массой m_d между двумя перпендикулярными сечениями цилиндра, образующими срез достаточно малой фиксированной высоты h , заполняют объем среза, составляя его конечную массу. Масса среза обозначается m_D , она представляет собой постоянную конечную величину:

$$m_D = \sum_{h \times s} m_d = \iiint_{h \times s} m_d, \quad m_D = \text{const}, \quad (10)$$

где s – площадь сечения. Константа m_D не зависит от r и от m . Высота среза h в ма-

кроскопическом измерении предполагается столь малой, что масса среза m_D фактически сосредоточена в плоскости его основания площадью s . Эта масса не равна нулю, поскольку конечная площадь сечения заполнена электрон-позитронными парами с массой $m_{IN} e^- e^+ \neq 0$.

В дальнейшем радиальной силовой линией (силовой линией инерции) считается не одна цепочка вида (1), а множество всех параллельных силовых линий вида (1), выходящих из макроскопической окрестности центра тела o , заключенных в объеме описанного бесконечного цилиндра. Притяжение тела вдоль каждой из них происходит к малому элементу конечной массы по модифицированной закономерности вида (12) – в правой части (12) вместо сколь угодно малой массы m_d надо взять конечную массу m_D :

$$m \ddot{r} = k \frac{m m_D}{r^2} e^{-\frac{k_0}{r}}, \quad (11)$$

$m_D = \text{const}$ из (10), эта постоянная ничтожно мала. Мало также ускорение, производимое

этим действием: $\ddot{r} = k \frac{m_D}{r^2} e^{-\frac{k_0}{r}}$, при этом

$$\lim_{r \rightarrow 0} \ddot{r} = k m_D \lim_{r \rightarrow 0} \frac{1}{r^2} e^{-\frac{k_0}{r}} = 0,$$

$$\lim_{r \rightarrow \infty} \ddot{r} = k m_D \lim_{r \rightarrow \infty} \frac{1}{r^2} e^{-\frac{k_0}{r}} = 0.$$

Действие (7), (8) понималось как действие на элемент массой m_d , реализуемое всей совокупностью элементов силовой линии, заключенных между элементом массой m_d и центром тела o . Обратное действие на тело элемента массой m_d – также действие всей совокупности промежуточных элементов силовой линии. Аналогично, действие (11) – результат совокупного действия множества всех промежуточных элементов силовой линии между конечным элементом массой m_D и центром o . Тем не менее формально действие (11) на тело вдоль силовой линии (хотя и через промежуточные элементы) производит один конечный элемент массой m_D на расстоянии r . Вдоль всей радиальной силовой линии на тело действует бесконечное множество таких элементов. Поскольку m_D – масса фактически плоского сечения, суммарная сила их действия на тело по модулю измеряется интегралом:

$$F_{m m_D} = \int_0^{\infty} k \frac{m m_D}{r^2} e^{-\frac{k_0}{r}} dr. \quad (12)$$

Подынтегральная функция имеет первообразную,

$$F_{mm_D} = k k_0^{-1} m m_D \int_0^{\infty} e^{-\frac{k_0}{r}} d\left(-\frac{k_0}{r}\right),$$

отсюда

$$F_{mm_D} = k k_0^{-1} m m_D \left(\lim_{r \rightarrow \infty} e^{-\frac{k_0}{r}} - \lim_{r \rightarrow 0} e^{-\frac{k_0}{r}} \right).$$

В результате:

$$F_{mm_D} = k k_0^{-1} m m_D. \quad (13)$$

Ускорение тела $\ddot{r} = k k_0^{-1} m_D$. Ниже оценивается суммарное действие на тело среды полупространства. Пусть зафиксирована радиальная силовая линия и через центр o проведена перпендикулярная ей плоскость P . Полупространство, отделенное плоскостью P , которому принадлежит эта силовая линия, условно принимается за правое, противоположное полупространство – левое. Пусть плоскость Q проходит через зафиксированную силовую линию. Эта плоскость содержит множество радиальных силовых линий в правом полупространстве, расходящихся из точки O между фиксированной радиальной силовой линией и плоскостью P . Пусть на фиксированную радиальную силовую линию спроектированы силы действия на тело каждой из такого множества силовых линий. Модуль каждой проектируемой силы определяется из (13). Для упрощения вычислений формально полагается (реальное действие ограничено силовыми линиями), что в любой точке правой полуплоскости Q , включая промежуточные точки между радиальными силовыми линиями, действие элемента среды на тело по модулю имеет такое же выражение, как для силовой линии. Аналогичное предположение – для правого и левого полупространства. Тогда модуль силы $F_{m m_D \sum \varphi}$, порождаемой суммой действий на тело в правой полуплоскости Q , определяется как

$$\begin{aligned} F_{m m_D \sum \varphi} &= \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} F_{m m_D} \cos \varphi d\varphi = \\ &= k k_0^{-1} m m_D \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \cos \varphi d\varphi. \end{aligned}$$

В результате:

$$F_{m m_D \sum \varphi} = 2 k k_0^{-1} m m_D. \quad (14)$$

Модуль действия $F_{m m_D \sum \psi \sum \varphi}$ на тело со стороны среды полупространства можно рассматривать как сумму действий во всех плоскостях, образованных поворотом плоскости Q вокруг фиксированной радиальной силовой линии на всевозможные углы ψ . Следовательно,

$$\begin{aligned} F_{m m_D \sum \psi \sum \varphi} &= \int_{-\pi}^{\pi} F_{m m_D \sum \varphi} d\psi = \\ &= 2 k k_0^{-1} m m_D \int_{-\pi}^{\pi} d\psi, \text{ и} \\ F_{m m_D \sum \psi \sum \varphi} &= 4 \pi k k_0^{-1} m m_D. \end{aligned} \quad (15)$$

Модуль ускорения

$$\ddot{r}_{m m_D \sum \psi \sum \varphi} = 4 \pi k k_0^{-1} m_D.$$

С противоположной стороны пространства действует сила такой же величины обратного направления, как следствие, тело остается в покое.

Притяжение тела сферически ограниченной частью среды. В дальнейшем понадобится оценка действия на тело со стороны среды в полусфере радиуса r_0 с центром o . В этом случае оценка (12) заменится на интеграл $F_{m m_D r_0} = \int_0^{r_0} k \frac{m m_D}{r^2} e^{-\frac{k_0}{r}} dr$. Отсюда

$$F_{m m_D r_0} = k k_0^{-1} m m_D e^{-\frac{k_0}{r_0}}, \quad \ddot{r}_{r_0} = k k_0^{-1} m_D e^{-\frac{k_0}{r_0}}.$$

Повторение рассуждений, проделанных при выводе (14), (15), приводит к оценке действия на тело среды, заключенной в правой полусфере:

$$F_{m m_D r_0 \sum \psi \sum \varphi} = 4 \pi k k_0^{-1} m m_D e^{-\frac{k_0}{r_0}}, \quad (16)$$

при этом $\ddot{r}_{r_0 \sum \psi \sum \varphi} = 4 \pi k k_0^{-1} m_D e^{-\frac{k_0}{r_0}}$.

Со стороны левой полусферы действует такая же сила обратного направления. Вне сферы, начиная от ее границы, со стороны среды правого полупространства на тело действует сила, которая получается вычитанием из (15) силы (16):

$$F_{m m_D r_0 \infty \sum \psi \sum \varphi} = 4 \pi k k_0^{-1} m m_D \left(1 - e^{-\frac{k_0}{r_0}} \right). \quad (17)$$

Оценки (14) – (16) завышены, однако в дальнейшем это не учитывается. Соот-

ношения (15) – (17) инвариантны по всем радиальным направлениям из центра тела.

Инерция тела при нарушении механического покоя. Обсуждается предположение о природе инерции тела, априори находившегося в состоянии покоя. Пусть однородное сферическое тело массой m с центром o локально неподвижно относительно поверхности Земли: механически покоится на участке поверхности, которая предполагается идеально плоской и абсолютно твердой. Пусть данное тело имеет идеально гладкую поверхность и также является абсолютно твердым (иногда ниже – пробное тело). Трением этого шара о поверхность допустимо пренебречь. Пока к телу не приложена механическая сила, элементы его радиальных силовых линий поддерживают устойчивое состояние покоя посредством действия друг на друга собственной электромагнитной индукции и аналогичного индуктивного взаимодействия с элементами окрестной электрон-позитронной среды. Предполагается, что индукция удерживает электрон-позитронные пары, составляющие элементы силовых линий и среды, в границах конечных элементов. Пусть к центру o по направлению прямой, проходящей через этот центр, параллельно плоскости расположения тела, на некоторый сколь угодно малый, но фиксированный промежуток времени Δt приложена механическая сила $\vec{F} = m\vec{v}$. Согласно формуле силы тело начнет смещаться от исходного положения в направлении $\vec{F}$

со скоростью $\vec{v}(t) = \int_0^t \vec{v} dt$ и продолжит прямолинейное смещение в течение времени Δt . При этом $\dot{v} > 0$, и $v(t)$ будет возрастать. Радиальные силовые линии тела будут двигаться вместе с телом с такой же скоростью. Принципиальная оговорка заключается в том, что сопровождающее движение силовых линий без изменения их формы и структуры будет происходить лишь в некоторой окрестности центра o . Радиус этой окрестности обозначается r_0 , предполагается постоянным, превосходящим радиус данного тела на малую в макроскопическом измерении величину. Вне данной окрестности радиальные силовые линии тела могут менять форму, структуру и скорость, смешиваясь с радиальными силовыми линиями Земли (или, при соответственном местоположении, других небесных тел). Априори тело было неподвижно относительно среды. Поэтому его движение по направлению $\vec{F}$ влечет движение в том же направлении относительно окрестной электрон-позит-

ронной среды (по предположению такая среда отстает от ускоренного движения тела) его радиальных силовых линий (в границах сферической окрестности центра o радиуса $r_0 = \text{const}$). Вследствие начавшегося движения возникает изменение магнитного потока в контурах встречных электрон-позитронных пар радиальных силовых линий (с одной стороны) и окрестной электрон-позитронной среды (с другой стороны). Изменение магнитного потока вызовет в обращенных друг к другу контурах пар электродвижущую силу (ЭДС) электромагнитной индукции. В предположении закона Фарадея и правила Ленца для любого контура ЭДС равна скорости изменения потока, проходящего через контур, взятой со знаком минус. Индукционный ток направлен таким образом, что его действие противоположно действию причины, вызвавшей этот ток. Внешние магнитные полюса электрон-позитронных пар одноименны. Поэтому во встречных парах с параллельными линиями центров (центров вращения электрона и позитрона в паре), а также с линиями центров, составляющими острый угол, противодействие изменению потока выразится в усилении тока во встречных контурах. Усиление будет возрастать, пока будет расти скорость встречного движения ($\dot{v} > 0$). Вследствие данной (внешней) электромагнитной индукции возникнет (внутренняя) электромагнитная индукция контуров пары, которая вызовет усиление тока во втором, внутреннем контуре пары. Усиление тока реализуется как рост линейной скорости вращения заряда вдоль круговой оси контура, что достигается увеличением винтового шага вихревых витков (в процессе тороидального вихревого вращения заряда). ЭДС контура электрон-позитронной пары в среднем составит

$$\varepsilon_{e^-e^+} = -\frac{\partial \Phi_{e^-e^+}}{\partial t},$$

где $\Phi_{e^-e^+}$ – поток магнитного поля через контур, имеющий направление движения тела относительно среды (направление $\vec{F}$). Средняя скорость изменения потока, очевидно, пропорциональна скорости $v(t)$ движения тела относительно среды. Поэтому

$$\varepsilon_{e^-e^+} = -k_{in} v(t),$$

где k_{in} – коэффициент пропорции. Отсюда

$$\dot{v}(t) = -\frac{1}{k_{in}} \frac{\partial \varepsilon_{e^-e^+}}{\partial t}, \text{ или, } \dot{v}(t) = \frac{1}{k_{in}} \frac{\partial^2 \Phi_{e^-e^+}}{\partial t^2},$$

где $\dot{v}(t)$, как и $\Phi_{e^-e^+}$, имеет направление $\vec{F}$. Следовательно, сила противодействия $\vec{f}_e$

движущемуся конечному элементу радиальной силовой линии со стороны встречного «конечного» элемента по модулю выражается как

$$f_{\varepsilon} = m_D \dot{v}(t) = \frac{1}{k_{in}} m_D \left| \frac{\partial \varepsilon_{e^-e^+}}{\partial t} \right| = \frac{1}{k_{in}} m_D \left| \frac{\partial^2 \Phi_{e^-e^+}}{\partial t^2} \right|.$$

Эта сила имеет упругую опору, поскольку все контуры элементов окрестной и пространственной среды взаимосвязаны в единое среднестатистическое состояние упругости посредством взаимной электромагнитной индукции. Сила $\vec{f}_{\varepsilon}$ приложена к каждому конечному элементу радиальной силовой линии в рассматриваемой сферической окрестности точки o . Противодействие $\vec{f}_{\varepsilon in}$ всей радиальной силовой линии в рассматриваемых границах суммируется по ее длине, что по модулю составит

$$f_{\varepsilon in} = \int_0^{r_0} \left(\frac{1}{k_{in}} m_D \left| \frac{\partial \varepsilon_{e^-e^+}}{\partial t} \right| \right) dr,$$

или $f_{\varepsilon in} = \left(\frac{1}{k_{in}} m_D \left| \frac{\partial \varepsilon_{e^-e^+}}{\partial t} \right| \right) \times r_0.$

Пусть зафиксирована радиальная силовая линия по направлению движения. С учетом проекций на ее направление всех других радиальных силовых линий тела из рассуждений, аналогичных выводу (15), получится модуль силы противодействия среды правой полусферы:

$$f_{\varepsilon in m_D \Sigma \psi \Sigma \varphi} = 4\pi \left(\frac{1}{k_{in}} m_D \left| \frac{\partial \varepsilon_{e^-e^+}}{\partial t} \right| \right) \times r_0. \quad (18)$$

Со стороны среды левой полусферы действует точно такая же сила, причем она направлена (против причины, вызвавшей ток индукции), как и (18), против движения (против $\vec{F}$). Действия среды обеих полусфер сложатся в одном направлении силы $\vec{f}_{2\varepsilon in m_D \Sigma \psi \Sigma \varphi}$, модуль которой составит:

$$f_{2\varepsilon in m_D \Sigma \psi \Sigma \varphi} = 8\pi \left(\frac{1}{k_{in}} m_D \left| \frac{\partial \varepsilon_{e^-e^+}}{\partial t} \right| \right) \times r_0. \quad (19)$$

Очевидно, масса полного набора радиальных силовых линий равна $8\pi m_D \times r_0$, она пропорциональна с коэффициентом пропорции $\hat{k}$ числу нуклонов тела и соответственно массе m данного тела. Поэтому модуль силы противодействия (19) силе $\vec{F}$ в обозначении $F_{2\varepsilon in m} = f_{2\varepsilon in m_D \Sigma \psi \Sigma \varphi}$ примет вид:

$$F_{2\varepsilon in m} = 8\pi K_{in} m \left| \frac{\partial \varepsilon_{e^-e^+}}{\partial t} \right|, \quad (20)$$

где K_{in} – коэффициент пропорции, $K_{in} = \hat{k} / k_{in} / (8\pi)$. Предполагается еще одна составляющая противодействия силе $\vec{F}$. Структура силовых линий в процессе индуктивного сопротивления сохраняется благодаря усилению (вследствие индуктивного тока в контурах пар) сил взаимного притяжения элементов. В этом процессе есть особенность. В изначальной модели магнитное, электрическое и гравитационное поля различаются только структурой соединения одних и тех же элементов силовых линий. Аналогично, множество радиальных силовых линий выделяется в отдельное поле инерции. Предполагается, что физическим свойством, обуславливающим устойчивую структуру силовых линий и специфику поля, является электромагнитная индукция, автономная для каждой структуры (каждое поле в отдельности устойчиво). Предполагаемая разновидность электромагнитной индукции определяется условием структурности, она вызвана внешним действием, автономно сопротивляется ему и автономно направлена против причины, нарушающей структуру силовых линий данного поля. Правило Ленца следующим образом модифицируется на случай структуры радиальных силовых линий.

Во множестве контуров электрон-позитронных пар радиальной силовой линии пробного тела и окрестной вакуумной среды изменение магнитного потока через контуры пар вызовет в них ЭДС электромагнитной индукции. При этом суммарный по всему множеству контуров данных электрон-позитронных пар вектор действия индукционных токов направлен противоположно действию причины, вызвавшей эти токи. Автономные для структуры силовой линии составляющие действия индукционных токов имеют следствием сохранение ее структуры, при этом в сумме по всей силовой линии в сферической окрестности тела радиуса r_0 создают действие, направление которого противоположно действию причины, нарушающей структуру силовой линии.

Радиальные силовые линии, связывавшие пробное тело в состоянии неподвижности центрально симметричным притяжением к вакуумной среде пространства, сохраняют свою структуру с момента приложения к телу силы $\vec{F}$. Как результат их структурного взаимодействия с элемен-

тами пространства, сохранится притяжение к этим элементам, однако характер притяжения изменится в соответствии с противодействием силе $\vec{F}$.

Именно притяжение к элементам левого полупространства с модулем силы (16) увеличится (как сопротивление силе $\vec{F}$), притяжение к элементам правого полупространства с модулем силы (16) уменьшится (как сопротивление силе $\vec{F}$). Предполагается, что эти изменения можно выразить в границах полусферы коэффициентом усиления $1 + \rho$ и коэффициентом ослабления $1 - \rho$ в (16). Тогда это соотношение перейдет в две разновидности в состоянии структурного индуктивного сопротивления:

$\vec{F}_{in\ m\ m_D\ r_0\ \sum\psi\ \sum\varphi\ \leftarrow\ \frac{k_0}{r_0}}$ для левой полусферы и $\vec{F}_{in\ m\ m_D\ r_0\ \sum\psi\ \sum\varphi\ \rightarrow\ \frac{k_0}{r_0}}$ для правой полусферы.

Для левой полусферы разновидность силы структурного сопротивления по модулю примет вид:

$$F_{in\ m\ m_D\ r_0\ \sum\psi\ \sum\varphi\ \leftarrow\ \frac{k_0}{r_0}} = 4\pi(1+\rho)k\ k_0^{-1}m\ m_D\ e^{\frac{k_0}{r_0}}, \quad (21)$$

для правой полусферы:

$$F_{in\ m\ m_D\ r_0\ \sum\psi\ \sum\varphi\ \rightarrow\ \frac{k_0}{r_0}} = 4\pi(1-\rho)k\ k_0^{-1}m\ m_D\ e^{\frac{k_0}{r_0}}. \quad (22)$$

В (21) и (22) $\rho > 0$. Сложение этих сил с учетом их противоположного направления даст модуль действия на тело:

$$\left(F_{in\ m\ m_D\ r_0\ \sum\psi\ \sum\varphi\ \leftarrow\ \frac{k_0}{r_0}} + F_{in\ m\ m_D\ r_0\ \sum\psi\ \sum\varphi\ \rightarrow\ \frac{k_0}{r_0}} \right)_{\leftarrow} = 8\pi\rho k\ k_0^{-1}m\ m_D\ e^{\frac{k_0}{r_0}}, \quad \rho > 0. \quad (23)$$

Сила (23) направлена против силы $\vec{F}$. Сложение (23) и (20) с учетом одинаковой направленности этих сил даст модуль полной силы $\vec{F}_{2\epsilon in m}^{\leftarrow \rightarrow}$, направленной против силы $\vec{F}$:

$$F_{2\epsilon in m}^{\leftarrow \rightarrow} = 8\pi m \left(\rho k\ k_0^{-1}m_D e^{\frac{k_0}{r_0}} + K_{in} \left| \frac{\partial \epsilon_{e^-e^+}}{\partial t} \right| \right), \quad (24)$$

или

$$F_{2\epsilon in m}^{\leftarrow \rightarrow} = 8\pi m \left(\rho k\ k_0^{-1}m_D e^{\frac{k_0}{r_0}} + K_{in} \left| \frac{\partial^2 \Phi_{e^-e^+}}{\partial t^2} \right| \right), \quad (25)$$

где выражение в скобках имеет положительное числовое значение. На тело еще действуют

силы левого и правого полупространств вне сферы. Предполагается, что эти силы вне сферы не меняются как в случае приложения к пробному телу силы $\vec{F}$, так и после прекращения ее действия. Их модуль определяется из (17), они противоположно направлены, так что в сумме уравнивают друг друга и не оказывают влияния на тело. Таким образом, (24), равно как (25), полностью выражает противоположно направленное по отношению к приложенной силе $\vec{F}$ действие, которое в промежуток времени Δt действия силы пропорционально массе пробного тела m , и, кроме того, монотонно зависит от ускорения. По самой природе электромагнитной индукции естественно предположить, что ρ в (21) и (22) является функцией, выражающей пропорцию

$$\left| \frac{\partial^2 \Phi_{e^-e^+}}{\partial t^2} \right|, \text{ или } \left| \frac{\partial \epsilon_{e^-e^+}}{\partial t} \right|,$$

при этом обе последние функции пропорциональны $\dot{v}(t)$. Тогда соотношения (24) и (25) можно записать в виде:

$$F_{2\epsilon in m}^{\leftarrow \rightarrow} = 8\pi \tilde{K}_{in} m \dot{v}(t), \quad \tilde{K}_{in} = \text{const}, \quad (26)$$

что означает абсолютную величину противодействия приложенной к пробному телу силе $\vec{F}$, пропорциональную массе тела и его ускорению. Выражения (24) – (26) определяют силу инерции при нарушении механического покоя тела.

Необходимо ограничить промежуток времени Δt , в течение которого рассматривалось возникновение инерции, он должен предполагаться столь малым, что не возникают другие, не учтенные выше, индукционные взаимодействия, то есть этот промежуток следует формально отнести только к начальному моменту приложения силы $\vec{F}$.

Движение тела по инерции. В процессе инертного сопротивления приложенной к телу силе изменения состояния электрон-позитронных пар радиальных силовых линий повлекут изменения взаимодействий с элементами среды, которые сохраняются после прекращения действия силы. Как следствие, сформируется механизм, обуславливающий равномерное и прямолинейное движение тела в электрон-позитронной среде.

Пусть к пробному телу снова приложена сила $\vec{F}$. Пусть теперь действие силы рассматривается в минимальный промежуток времени $\min_{\text{quantum}} \Delta t = \Delta t_{\text{quantum}} = \text{const}$ (квант времени), в течение которого начнется, реализуется и завершится следующий процесс.

Взаимно отталкивающиеся электрон-позитронные пары в сферической окрестности радиуса r_0 центра тела o (если они не принадлежат силовой линии) обращены друг к другу одноименными магнитными полюсами с усиленным индукцией магнитным полем. Обладая при этом всеми степенями свободы, они повернутся друг относительно друга так, чтобы действие их взаимного отталкивания было наименьшим. Но это такое их взаимное положение, при котором линии центров взаимодействующих соседних пар перпендикулярны друг другу, аналогично (1). Иначе говоря, усиленный магнитный полюс одной пары повернется к усиленному (вследствие индукции) сдвоенному противоположному полюсу другой пары. В результате две пары, которые в начальный момент отталкивались друг от друга, после перпендикулярного поворота линий центров станут взаимно притягиваться. В правой полусфере взаимному повороту содействует перемещение силовых линий в направлении $\vec{F}$, поскольку в этом случае взаимодействующие пары движутся навстречу друг другу. Радиальные силовые линии охватывают такие пары конусом от вершины, из которого парам нет выхода, они задерживаются, в то время как новые пары движутся им навстречу. После перпендикулярного поворота линий центров двух соседних пар они взаимно притянутся, став ортогональной парой. Такое преобразование произойдет с множеством соседних пар, при этом ортогональные пары продолжат сближаться. Сближаясь, они соединятся в прямолинейные отрезки вида (1). Отрезки оказываются расположенными внутри острых углов между радиальными силовыми линиями, охватывающими их конусом от вершины, которая движется им навстречу (вершина конуса на уровне источников силовых линий располагается в центре ядра каждого атома). Поэтому отрезки (в правой полусфере) либо образуют дополнительные радиальные силовые линии, либо присоединятся к исходным радиальным силовым линиям в качестве ответвлений, которые, наиболее вероятно, будут параллельны исходным радиальным линиям (притяжение двух параллельных отрезков вида (1) возможно при их взаимном сдвиге на половину линии центров пары). Иначе отрезкам не будет места внутри надвигающейся остроугольной вершины конуса: движение к вершине исключает перпендикулярное присоединение между почти параллельными лучами малого острого угла ближайших окружающих радиальных линий. Как результат, дополнительные и исходные

радиальные силовые линии реализуют возросшее (с учетом усиленных полюсов) притяжение пробного тела в направлении $\vec{F}$ со стороны элементов правой полусферы, которое по своей силе превзойдет притяжение с силой (16), бывшее до приложения силы. Пусть сила возросшего притяжения элементов правой полусферы обозначена $\vec{F}_{\dot{v} m m_D r_0 \rightarrow p}$. С учетом (16) ее модуль можно выразить соотношением:

$$F_{\dot{v} m m_D r_0 \rightarrow p} = 4\pi(1 + \rho_1) k k_0^{-1} m m_D e^{-\frac{k_0}{r_0}}, \quad \rho_1 > 0, \quad (27)$$

где $(1 + \rho_1)$ – коэффициент усиления притяжения в направлении $\vec{F}$ со стороны правой полусферы. В противоположной (левой) полусфере в течение того же кванта времени взаимодействующие в начальный момент путем отталкивания электрон-позитронные пары (не принадлежащие радиальным силовым линиям) не сближаются с вершиной конуса (центром ядра атома), образованного ближайшими радиальными линиями, а удаляются от нее (вследствие движения под действием $\vec{F}$). Эти пары, удаляясь от вершины конуса («соскальзывая с вершины») вдоль образующих его поверхности – радиальных силовых линий, могут притянуться к одной из них, наиболее вероятно – одним полюсом. Присоединение наиболее вероятно посредством пар, линии центров которых взаимно перпендикулярны, поэтому оно произойдет одним полюсом – с образованием ортогональной пары со сдвоенным противоположным полюсом пары радиальной линии. В свою очередь, к присоединившейся ортогональной паре может присоединиться еще одна пара, и так далее, до тех пор, пока не образуется отрезок, представляющий собой перпендикулярное ответвление радиальной силовой линии. От вершины конуса перпендикулярно к присоединившемуся отрезку смещаются электрон-позитронные пары (с усиленными индуктивным сопротивлением магнитными полюсами), линии центров которых составляют примерно прямой угол с присоединившимся отрезком. Вследствие индуктивного сопротивления действию $\vec{F}$ такие пары движутся внешними магнитными полюсами вперед. При подходе к отрезку полюса этих пар (появляясь поочередно) вынудят повернуться ортогональные пары отрезка под прямым углом к направлению их смещения (занять положение отталкивания с наименьшей силой).

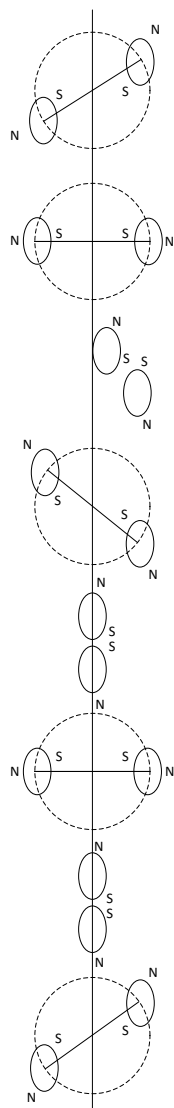


Рис. 2. Расположение на прямой в пространстве середины линий центров электрон-позитронных пар (окружности располагаются в плоскости перпендикулярной прямой)

В результате весь присоединенный перпендикулярный отрезок (ортогональное ответвление) будет иметь направление линий центров всех своих ортогональных пар, перпендикулярное направлению движения тела (направлению силы $\vec{F}$). Такое ортогональное ответвление радиальной силовой линии имеет вид плоского гребня с зубцами с обеих противоположных сторон, при этом его плоскость перпендикулярна направлению движения тела под действием силы $\vec{F}$. Иначе говоря, ортогональное ответвление лежит в одной плоскости, как изображение (1) в плоскости листа, при этом плоскость листа повернута перпендикулярно направлению движения тела. Такие

ортогональные ответвления образуются во множестве у каждой радиальной силовой линии левой полусферы, при этом они направлены по всем сторонам пространства. Физическое следствие наличия таких ортогональных ответвлений вытекает из геометрии взаимодействий элементов силовых линий и пространства. Пусть все пространственные положения свободных электрон-позитронных пар равновероятны. Пусть параллельно радиальной силовой линии из середины линии центров ортогональной пары ответвления восстановлен и зафиксирован перпендикуляр к этой линии центров. На продолжении перпендикуляра окажется множество точек середины линий центров электрон-позитронных пар. При этом (в силу равной вероятности положений) наибольшее их количество будет принадлежать тем парам, линии центров которых лежат в плоскостях под прямым углом к перпендикуляру (на перпендикулярных кругах – отмечены окружностями на рисунке 2). Действие остальных пар с серединой линии центров на перпендикуляре на центр рассматриваемой ортогональной пары можно считать скомпенсированным (по ориентации противоположных полюсов на центр рассматриваемой ортогональной пары). Но середина линии центров электрон-позитронной пары совпадает с центром симметрии сдвоенного внутреннего полюса пары. Это означает, что такая пара при сближении (в процессе движения тела) будет отталкивать этим центром одноименных сдвоенных полюсов аналогичный центр ортогональной пары, из которой был восстановлен перпендикуляр. На каждую притягивающую пару (линия центров которой лежит на перпендикуляре) будет приходиться множество отталкивающих пар, что сохраняется при неограниченном продолжении перпендикуляра.

Замечание 1. Отвлекаясь от рассматриваемого процесса, необходимо отметить, что если бы на множество отталкивающих пар при неограниченном продолжении перпендикуляра ориентировался не внутренний сдвоенный полюс S , а внешний полюс N , то он притягивался бы на продолжении всего перпендикуляра. Именно это является причиной притяжения тела не только вдоль радиальной силовой линии с силой (12), (13), но и вдоль ее неограниченного продолжения. Это же является причиной притяжения тела со стороны элементов полупространства с силой (15), центрально симметричного по всем направлениям. Как будет ясно из дальнейшего, именно это притяжение вдоль прямой влечет прямолинейность движения по инерции.

В результате центр ортогональной пары, из которого восстановлен и зафиксирован перпендикуляр, будет отталкиваться серединами линий центров пар на этом перпендикуляре (сдвоенными внутренними полюсами пар, линии центров которых лежат в кругах, составляющих прямой угол с перпендикуляром). Аналогичное действие на центр рассматриваемой ортогональной пары произведет любой перпендикуляр, восстановленный из этого центра, если он лежит в полуплоскости, перпендикулярной линии центров данной ортогональной пары. Условно говоря, рассматриваемая ортогональная пара отталкивается перпендикулярной полуплоскостью левого полупространства, проходящей через середину ее линии центров. Кроме того, совершенно аналогично отталкивание происходит по центру каждой («горизонтальной») пары, расположенной между двумя соседними («вертикальными») ортогональными парами данного ответвления. При этом полуплоскости, отталкивающие горизонтальные пары, перпендикулярны полуплоскостям, отталкивающие вертикальные пары. Такое отталкивание происходит посередине линии центров каждой «горизонтальной» и «вертикальной» пары данного ответвления, так что данное ответвление фактически отталкивается «всем левым полупространством». Аналогичное отталкивание испытывают каждое ортогональное ответвление данной радиальной силовой линии и все ортогональные ответвления всех других радиальных силовых линий левой полусферы, что суммируется в отталкивание данного тела элементами левого полупространства в направлении приложенной силы $\vec{F}$. При этом сами радиальные силовые линии сохраняют притяжение к элементам левого полупространства и левой полусферы.

Имевшиеся априори до начала движения ортогональные ответвления радиальных линий в левой полусфере и левом полупространстве должны вести себя так же, как присоединенные ортогональные отрезки, параллельные ответвления в правой полусфере и правом полупространстве – как параллельно присоединенные дополнительные «отрезки».

Как следствие, исходные радиальные силовые линии и их ортогональные ответвления реализуют уменьшенное притяжение пробного тела в направлении, противоположном силе $\vec{F}$ со стороны элементов левой полусферы. По модулю оно уступит притяжению с силой (16), бывшему до приложения силы. Пусть сила уменьшенного притяжения пробного тела в направле-

нии, противоположном $\vec{F}$ элементами левой полусферы, обозначена $\vec{F}_{\dot{v} m m_D r_0 \xrightarrow{\ell}}$.

С учетом (16) ее модуль можно выразить соотношением:

$$F_{\dot{v} m m_D r_0 \xrightarrow{\ell}} = 4\pi(1-\rho_2)k k_0^{-1} m m_D e^{-\frac{k_0}{r_0}}, \quad \rho_2 > 0, \quad (28)$$

где $(1-\rho_2)$ – коэффициент ослабления притяжения в направлении, противоположном $\vec{F}$. Если в (28) $\rho_2 > 1$, то эта сила не притягивает, а отталкивает тело со стороны элементов левой полусферы. К моменту истечения времени $\Delta t_{\text{quantum}}$ действие силы $\vec{F}$ прекратится. Исходные и дополнительные радиальные силовые линии тела, их ортогональные ответвления в своей сложившейся за время $\Delta t_{\text{quantum}}$ структуре согласно модифицированному правилу электромагнитной индукции отреагируют на прекращение действия сопротивлением процессу прекращения действия. В реакции сопротивления суммарное взаимодействие элементов силовых линий пробного тела сохранит свою обновленную за время $\Delta t_{\text{quantum}}$ структуру. Теперь их действие будет направлено против причины, вызвавшей прекращение действия $\vec{F}$, поэтому будет совпадать с бывшим направлением $\vec{F}$. Это означает, что со стороны элементов правой полусферы притяжение пробного тела усилится, а со стороны элементов левой полусферы – ослабнет. Пусть сила возросшего притяжения правой полусферы обозначена $\vec{F}_{v m m_D r_0 \xrightarrow{p}}$. С учетом (27) ее модуль можно выразить соотношением:

$$F_{v m m_D r_0 \xrightarrow{p}} = 4\pi(1+\rho_1)(1+\rho_3)k k_0^{-1} m m_D e^{-\frac{k_0}{r_0}}, \quad \rho_3 > 0, \quad (29)$$

где $(1+\rho_3)$ – коэффициент усиления притяжения в направлении бывшего действия $\vec{F}$ со стороны правой полусферы. Пусть сила уменьшенного притяжения тела со стороны левой полусферы обозначена $\vec{F}_{\dot{v} m m_D r_0 \xrightarrow{\ell}}$.

С учетом (28) ее модуль можно выразить соотношением:

$$F_{\dot{v} m m_D r_0 \xrightarrow{\ell}} = 4\pi(1-\rho_2)(1-\rho_4)k k_0^{-1} m m_D e^{-\frac{k_0}{r_0}}, \quad \rho_4 > 0, \quad (30)$$

где $(1-\rho_4)$ – коэффициент ослабления притяжения в направлении, противоположном

направлению бывшего действия $\vec{F}$. Если в (28) $(1-\rho_2)(1-\rho_4) > 1$, то эта сила не притягивает, а отталкивает тело со стороны левой полусферы. Сложение модулей сил (29) и (30) с учетом их противоположной направленности даст модуль суммы их действия на тело:

$$\left| \vec{F}_{v m m_D r_0 \xrightarrow{p}} + \vec{F}_{v m m_D r_0 \xrightarrow{\ell}} \right| = 4\pi(1+\rho_1)(1+\rho_3)k k_0^{-1} m m_D e^{-\frac{k_0}{r_0}} - 4\pi(1-\rho_2)(1-\rho_4)k k_0^{-1} m m_D e^{-\frac{k_0}{r_0}},$$

или

$$\left| \vec{F}_{v m m_D r_0 \xrightarrow{p}} + \vec{F}_{v m m_D r_0 \xrightarrow{\ell}} \right| = 4\pi(\rho_1 + \rho_3 + \rho_1\rho_3 + \rho_2 + \rho_4 + \rho_2\rho_4)k k_0^{-1} m m_D e^{-\frac{k_0}{r_0}}. \quad (31)$$

Пусть сила под знаком модуля (31) обозначена $\vec{F}_{v m m_D r_0} = \vec{F}_{v m m_D r_0 \xrightarrow{p}} + \vec{F}_{v m m_D r_0 \xrightarrow{\ell}}$, она приложена к пробному телу и имеет направление бывшего действия силы $\vec{F}$. Еще на пробное тело действуют две силы вне сферы (по предположению они не изменяются) со стороны обоих полупространств. Модуль каждой из них определяется из (17), они противоположно направлены, в сумме уравнивают друг друга и не оказывают влияния на тело. Поэтому полное действие на тело по модулю определяется из соотношения:

$$\left| \vec{F}_{v m m_D r_0 \infty} \right| = 4\pi\rho_{r_0\infty}k k_0^{-1} m m_D e^{-\frac{k_0}{r_0}}, \quad (32)$$

где индекс ∞ соответствует действию со стороны элементов всего пространства,

$$\rho_{r_0\infty} = \rho_1 + \rho_3 + \rho_1\rho_3 + \rho_2 + \rho_4 + \rho_2\rho_4.$$

Сила $\vec{F}_{v m m_D r_0 \infty}$ имеет ненулевое значение, действует на пробное тело по истечении кванта времени $\Delta t_{\text{quantum}}$ после прекращения действия силы $\vec{F}$ и сохраняет направление бывшего действия $\vec{F}$.

За время $\Delta t_{\text{quantum}}$ изменится состояние среды в сферической окрестности радиуса r_0 центра пробного тела. Множество элементов этой среды за время $\Delta t_{\text{quantum}}$ присоединилось к силовым линиям тела, и образовалось препятствие из старых и новых силовых линий, исключающее отставание среды из рассматриваемой окрестности от движения тела. Эта среда становится частью структуры поля инерции, поддерживаемой индукцией, в дальнейшем она будет сопровождать движение тела, если оно равномерное и прямолинейное.

Однако, поскольку сила $\vec{F}_{v m m_D r_0 \infty}$ не равна нулю, она должна порождать ускорение. Это было бы именно так, если бы пробное тело под действием этой силы не смещалось относительно электрон-по-

зитронной среды вне окрестности радиуса r_0 . Смещение порождает электромагнитную индукцию как сопротивление контуров электрон-позитронных пар среды контурам встречных пар силовых линий инерции тела в их новой структуре. Сила сопротивления определяется аналогично (20), но порождается противодействием совершенно другой силе, которая, как будет показано ниже, может оказаться очень малой. Сопротивление возникает от скорости смещения:

$$\varepsilon_{e^-e^+} = -\frac{\partial \Phi_{e^-e^+}}{\partial t},$$

где $\Phi_{e^-e^+}$ – поток магнитного поля через контур, имеющий направление движения тела относительно среды. Средняя скорость изменения потока пропорциональна скорости $v(t)$ движения тела относительно ближайшей среды вне окрестности радиуса r_0 , $\varepsilon_{e^-e^+} = -k_{in}v(t)$. Ненулевое значение силы сопротивления появится, поскольку движение ускоренное,

$$\dot{v}(t) = -\frac{1}{k_{in}} \frac{\partial \varepsilon_{e^-e^+}}{\partial t}, \text{ или, } \dot{v}(t) = \frac{1}{k_{in}} \frac{\partial^2 \Phi_{e^-e^+}}{\partial t^2},$$

где $\dot{v}(t)$, как и $\Phi_{e^-e^+}$, имеет направление движения относительно рассматриваемой среды вне окрестности радиуса r_0 . Именно эта сила уравнивает действие силы (32), так что тело станет двигаться равномерно и прямолинейно. Вместе с тем у равномерности может быть отдельно выраженная причина математического характера. Она заключается в том, что сила (32) не только мала, но, наиболее вероятно, является стремящейся к нулю и в асимптотике создает нулевое ускорение. Это окажется именно так, если закономерность перехода от покоя к движению описывает быстро убывающая функция времени. Сам процесс перехода, очевидно, кратковременен. В качестве примера функции, с помощью которой можно гипотетически описать переход, выбирается:

$$\varphi(t) = \frac{e}{\Delta t_{\text{quantum}}} t e^{-e^{\alpha \frac{t - \Delta t_{\text{quantum}}}{\Delta t_{\text{quantum}}}}}, \quad (33)$$

где $\alpha \geq 10^2$.

Очевидно, $\varphi(0) = 0$, $\varphi(\Delta t_{\text{quantum}}) = 1$. Сила (32) умножается на (33) в качестве весовой функции, произведение обозначается $F_{vm\infty}(t) = \varphi(t) F_{vmD r_0\infty}$, или

$$F_{vm\infty}(t) = \frac{e}{\Delta t_{\text{quantum}}} t e^{-e^{\alpha \frac{t - \Delta t_{\text{quantum}}}{\Delta t_{\text{quantum}}}}} 4\pi \rho_{r_0\infty} k k_0^{-1} m m_D e^{\frac{k_0}{r_0}}. \quad (34)$$

При $t = 0$ (на входе процесса) функция $F_{vm\infty}(t) = 0$, при $t = \Delta t_{\text{quantum}}$ (на выходе процесса) функция $F_{vm\infty}(t)$ совпадает с правой частью (32). Для (34) справедлива оценка:

$$F_{vm\infty}(t) \leq e^{-e^{\alpha \frac{t - \Delta t_{\text{quantum}}}{\Delta t_{\text{quantum}}}}} 4\pi \rho_{r_0\infty} k k_0^{-1} m m_D e^{1 - \frac{k_0}{r_0}}, \quad 0 < t \leq \Delta t_{\text{quantum}}. \quad (35)$$

Как нетрудно видеть, множители справа от экспоненты в (35) положительны, ограничены, так что $4\pi \rho_{r_0\infty} k k_0^{-1} m m_D e^{1 - \frac{k_0}{r_0}} \leq c$, $c = \text{const}$. Максимум самой этой экспоненты достигается в точке $t = \Delta t_{\text{quantum}}$, $\lim_{t \rightarrow \Delta t_{\text{quantum}}} e^{-e^{\alpha \frac{t - \Delta t_{\text{quantum}}}{\Delta t_{\text{quantum}}}}} = e^{-1}$. С дальнейшим ростом t она монотонно убывает к нулю, $\lim_{t \rightarrow \infty} e^{-e^{\alpha \frac{t - \Delta t_{\text{quantum}}}{\Delta t_{\text{quantum}}}}} = 0$. Отсюда $\lim_{t \rightarrow \infty} e^{-e^{\alpha \frac{t - \Delta t_{\text{quantum}}}{\Delta t_{\text{quantum}}}}} 4\pi \rho_{r_0\infty} k k_0^{-1} m m_D e^{1 - \frac{k_0}{r_0}} = 0$, или

$$\lim_{t \rightarrow \infty} F_{vm\infty}(t) = 0. \quad (36)$$

Из (32) – (38) следует, что после прекращения действия на тело силы $\vec{F}$ сила притяжения тела со стороны элементов пространства, $F_{vm\infty}(t)$, не меняет направление, бывшее до прекращения действия $\vec{F}$, положительна и с ростом времени убывает к нулю. При этом уже в пределах двух квантов времени $\Delta t_{\text{quantum}} < t \leq 2\Delta t_{\text{quantum}}$ эта сила становится чрезвычайно малой:

$$F_{vm\infty}(t) \Big|_{t \geq 2\Delta t_{\text{quantum}}} \leq c e^{-e^{100}}, \quad c = \text{const}. \quad (37)$$

Из (36) следует, что ускорение тела стремится к нулю, соответственно, скорость стремится к постоянному значению, движение в пределе становится равномерным. Нетрудно оценить отклонение скорости от «начального» значения $v(2\Delta t_{\text{quantum}})$

Из (35)

$$\begin{aligned} |v(t) - v(2\Delta t_{\text{quantum}})| &= \int_{2\Delta t_{\text{quantum}}}^t \dot{v}(t) dt \leq \int_{2\Delta t_{\text{quantum}}}^t e^{-e^{\alpha \frac{t - \Delta t_{\text{quantum}}}{\Delta t_{\text{quantum}}}}} 4\pi \rho_{r_0\infty} k k_0^{-1} m m_D e^{1 - \frac{k_0}{r_0}} dt \leq c \\ &\leq c \int_{2\Delta t_{\text{quantum}}}^t e^{-e^{\alpha \frac{t - \Delta t_{\text{quantum}}}{\Delta t_{\text{quantum}}}}} dt \leq c \int_{2\Delta t_{\text{quantum}}}^t e^{-\alpha \frac{t - \Delta t_{\text{quantum}}}{\Delta t_{\text{quantum}}}} dt. \end{aligned}$$

$$\text{Отсюда } |v(t) - v(2\Delta t_{\text{quantum}})| \leq c \frac{\Delta t_{\text{quantum}}}{\alpha} \left| e^{-\alpha \frac{t - \Delta t_{\text{quantum}}}{\Delta t_{\text{quantum}}}} - e^{-\alpha} \right|,$$

$$\text{и } |v(t) - v(2\Delta t_{\text{quantum}})| \leq c \frac{\Delta t_{\text{quantum}}}{\alpha} \left| e^{-\alpha \frac{\Delta t_{\text{quantum}}}{\Delta t_{\text{quantum}}}} + e^{-\alpha} \right|,$$

$$\text{поэтому } |v(t) - v(2\Delta t_{\text{quantum}})| \leq c \frac{\Delta t_{\text{quantum}}}{\alpha} 2e^{-\alpha},$$

где $\alpha \geq 10^2$ и заведомо $\Delta t_{\text{quantum}} \leq 0.5$. Окончательно,

$$|v(t) - v(2\Delta t_{\text{quantum}})| \leq 0.01ce^{-100}. \quad (38)$$

Согласно (38) скорость тела в произвольный момент времени будет отличаться от начального значения (взятого в момент $2\Delta t_{\text{quantum}}$) не более чем на $0.01ce^{-100}$, в макроскопическом измерении практически не изменится, начальное значение скорости фактически перейдет в постоянное. Формально существующее наличие роста скорости ($F_{v \rightarrow \infty}(t) > 0$, соответственно $\dot{v}(t) > 0$), ничтожно мало с учетом (37), необходимо компенсируется противодействием индукции контуров встречных элементов среды вне окрестности радиуса r_0 центра пробного тела. Таким образом, если функция (34) правильно моделирует процесс, то он за время $2\Delta t_{\text{quantum}}$ переводит тело в состояние равномерного и прямолинейного движения, которое продолжится, пока не подействует новая сила.

Если через некоторое время сила $\vec{F}$ снова подействует на пробное тело, то в процесс, аналогичный происходившему в первый квант времени, вовлекутся элементы силовых линий и новые встречные элементы среды. С учетом ускоренного перемещения в пределах рассматриваемой сферы будет проходить неограниченное количество новых встречных электрон-позитронных пар и образуется соответственное число дополнительных силовых линий. Произойдет дополнительное усиление тех же магнитных полюсов, что и раньше, за счет возросшей скорости тока в контурах. Сопротивление изменению магнитного потока возрастет от растущей скорости перемещения тела относительно среды:

$$\vec{v}(t + \Delta t_{\text{quantum}}) = \vec{v}(t) + \int_t^{\Delta t_{\text{quantum}} + t} \vec{\dot{v}} dt.$$

По окончании нового кванта времени тело окажется в состоянии равномерного прямолинейного движения со скоростью $\vec{v}(t + \Delta t_{\text{quantum}})$, которое будет поддерживаться электромагнитной индукцией. Если после прекращения действия силы $\vec{F}$ через некоторое время в момент t_1 на пробное

тело подействует другая сила $\vec{F}_1$, тело станет двигаться по направлению $\vec{v}(t) + \vec{v}_1(t)$,

где $\vec{v}_1(t) = \vec{v}_1(t_1) + \int_{t_1}^t \vec{\dot{v}}_1(t) dt$. При этом все

изменения контуров и силовых линий окончательно сформируются вдоль равнодействующей скорости $\vec{v}(t) + \vec{v}_1(t)$, поскольку индуктивное сопротивление будет вызвано процессом движения относительно среды в направлении именно этой скорости. Если пробное тело априори находится в среде, которая движется относительно своего центра гравитации, вначале тело неподвижно относительно нее, затем приобретает скорость смещения относительно среды, то это равносильно изложенному выше, поскольку все индукционные процессы порождаются только встречным движением тела и среды. Поэтому природа движения по инерции не изменится в случае пространственной удаленности пробного тела.

Замечание 2. Выше необходимо предпологалось, что в малой окрестности центра по истечении времени $\Delta t_{\text{quantum}}$ с момента получения импульса тело увлекает среду со скоростью своего движения по инерции относительно начальной точки покоя. До истечения этого времени, с момента получения импульса, тело получает ускорение от приложенной силы, и на время $t < \Delta t_{\text{quantum}}$ среда резко отстает от ускоренного тела. В этом заключается дополнительная (не указанная в [2]) причина отставания среды в опыте Саньяка: движение каждого элемента поверхности вращающейся платформы «кольцевого интерферографа» происходит под действием линейной и центробежной сил, является ускоренным, поэтому среда отстает. Однако вращение поверхности Земли не влечет отставания среды: наряду с полем инерции среда удерживается мощным гравитационным притяжением к поверхностной и всей вращающейся массе [2], и в рассматриваемом приближении движение поверхности Земли является равномерным и прямолинейным.

Передача механического импульса. Пусть пробное тело массой m с центром o пребывает в исходном состоянии механического покоя. Пусть затем происходит его столкновение с аналогичным телом массой m_1 , двигавшимся со скоростью $\bar{v}_1$. В течение кванта времени $\Delta t_{\text{quantum}}$ в радиальных силовых линиях пробного тела произойдут процессы, описанные для случая приложенной силы. Произойдет, внешне скачкообразно, изменение скорости тела относительно начального значения и относительно элементов среды. Скачок скорости допустимо трактовать как результат кратковременного действия силы (34), создающей высокий рост скорости за время $\Delta t_{\text{quantum}}$. В описании процесса, порождающего движение тела по инерции, ничего не потребуется менять. Сообщившее импульс тело само получает изменение скорости относительно среды и новое состояние движения по инерции. Необходимо выяснить процесс, за счет которого сохраняется механический импульс. Скорость получившего импульс пробного тела относительно среды пропорциональна среднему значению ЭДС контура элек-

трон-позитронной пары $\varepsilon_{e^-e^+v} = -\frac{\partial \Phi_{e^-e^+v}}{\partial t}$, $\Phi_{e^-e^+v}$ – поток магнитного поля через контур, имеющий направление движения тела, $\varepsilon_{e^-e^+v} = -k_{in} v(t)$. Аналогично характеризуется скорость передавшего импульс тела. В процессе передачи импульса радиальные силовые линии двух тел сближаются до соприкосновения. В соответствующее ударному столкновению состояние электромагнитной индукции перейдут все элементы силовых линий, а также элементы среды между столкнувшимися телами. Через эту среду стоящие электромагнитной индукции элементы радиальных силовых линий передающего импульс тела поэлементно передается контурам радиальных силовых линий получающего импульс (пробного) тела. Количество радиальных силовых линий каждого тела пропорционально его массе. ЭДС контуров элементов радиальных силовых линий получающего импульс тела суммируется по числу элементов радиальных силовых линий передающего импульс тела в пропорции массы этого тела (все взаимодействия рассматриваются в пределах сфер, соответствующих радиусов вокруг центров каждого тела). Если масса m_1 передающего импульс тела больше массы m получающего импульс пробного тела в q раз, то ЭДС контура электрон-позитронной пары радиальных линий пробного (получающего импульс) тела окажется больше в q раз, чем ЭДС контура электрон-позитронной пары

радиальных линий передающего импульс тела. Соответственно на выходе процесса его скорость окажется в q раз выше скорости передавшего импульс тела. Отсюда: $m(qv_1) = (mq)v_1 = m_1v_1$, или $mv = m_1v_1$.

Подробнее процесс рассматривается на примере упругого центрального удара двух шаров. Пусть те же два тела (с той же пропорцией масс) движутся навстречу друг другу вдоль одной прямой со скоростями v (пробное тело) и v_1 (встречное тело) относительно неподвижной среды (относительно априорной точки покоя пробного тела). Пусть они сталкиваются и в течение времени $\Delta t_{\text{quantum}}$ передают друг другу исходные значения импульсов. В качестве получающего импульс сначала рассматривается пробное тело. В начальный момент оно окажет инерционное сопротивление передающему импульс телу. Это выразится в электромагнитной индукции контуров элементов радиальных силовых линий. Контур элементов радиальных силовых линий передающего импульс встречного тела внесут изменение магнитного потока в контуры силовых линий получающего импульс пробного тела. В каждом таком

контуре возникнет ЭДС $\varepsilon_{e^-e^+v_1} = -\frac{\partial \Phi_{e^-e^+v_1}}{\partial t}$,

где скорость изменения потока пропорциональна скорости движения передающего импульс тела $v_1(t) = -k_{in} \frac{\partial \Phi_{e^-e^+v_1}}{\partial t}$, так

что $\varepsilon_{e^-e^+v_1} = -k_{in}v_1(t)$. Поскольку число радиальных силовых линий пропорционально массе, магнитный поток через каждый контур линий пробного тела больше, чем

$\Phi_{e^-e^+v_1}$, в q раз. Отсюда $\varepsilon_{e^-e^+v_1} = -q \frac{\partial \Phi_{e^-e^+v_1}}{\partial t}$,

и скорость, которую приобретет пробное тело, примет значение $\bar{v}_1(t) = -k_{in} q \frac{\partial \Phi_{e^-e^+v_1}}{\partial t}$.

Ниже обозначение $\bar{v}_1(t)$ сохраняется для модуля скорости. Далее, в течение кванта времени $\Delta t_{\text{quantum}}$ индуктивное сопротивление преобразуется аналогично тому, как описано выше (в случае действия силы). Если, учитывая согласно (35) малость преобразующей силы, полагать, что на выходе процесса скорость такая же, как на входе, то пробное тело окончательно получает скорость, по модулю равную $\bar{v}_1(t) = k_{in} q \frac{\partial \Phi_{e^-e^+v_1}}{\partial t}$, и направлен-

ную как у передававшего импульс тела. С учетом массы пробное тело в результате столкновения получило импульс, по модулю равный $m \bar{v}_1(t) = m k_{in} q \frac{\partial \Phi_{e^-e^+v_1}}{\partial t}$. Аналогичный процесс происходил в теле, передавшем импульс: от пробного тела (с меньшей в q раз массой) оно получило импульс, модуль которого $m_1 \bar{v}(t) = m_1 k_{in} \frac{1}{q} \frac{\partial \Phi_{e^-e^+v}}{\partial t}$, с направлением скорости, как у передавшего импульс пробного тела. С учетом противоположной направленности скоростей вдоль одной прямой сумма импульсов по истечении кванта времени $\Delta t_{\text{quantum}}$ (на выходе процесса) составит:

$$m \bar{v}_1(t) - m_1 \bar{v}(t) = m q k_{in} \frac{\partial \Phi_{e^-e^+v_1}}{\partial t} - m_1 \frac{1}{q} k_{in} \frac{\partial \Phi_{e^-e^+v}}{\partial t} = m_1 v_1(t) - m v(t), \quad (39)$$

что означает сохранение импульса в данном случае встречного движения двух тел (упругого центрального удара двух шаров). Нетрудно видеть, что сохраняется сумма модулей импульсов:

$$m \bar{v}_1(t) + m_1 \bar{v}(t) = m q k_{in} \frac{\partial \Phi_{e^-e^+v_1}}{\partial t} + m_1 \frac{1}{q} k_{in} \frac{\partial \Phi_{e^-e^+v}}{\partial t} = m_1 v_1(t) + m v(t). \quad (40)$$

Отсюда сохраняется кинетическая энергия двух тел:

$$\frac{m(\bar{v}_1(t))^2}{2} - \frac{m(\bar{v}(t))^2}{2} = \frac{1}{\sqrt{2}}(m \bar{v}_1(t) - m \bar{v}(t)) \times \frac{1}{\sqrt{2}}(m \bar{v}_1(t) + m \bar{v}(t)),$$

и с учетом (39), (40),

$$\frac{1}{\sqrt{2}}(m \bar{v}_1(t) - m \bar{v}(t)) \times \frac{1}{\sqrt{2}}(m \bar{v}_1(t) + m \bar{v}(t)) = \frac{1}{\sqrt{2}}(m v_1(t) - m v(t)) \times \frac{1}{\sqrt{2}}(m v_1(t) + m v(t)).$$

Окончательно:

$$\frac{m(\bar{v}_1(t))^2}{2} - \frac{m(\bar{v}(t))^2}{2} = \frac{m(v_1(t))^2}{2} - \frac{m(v(t))^2}{2}.$$

Аналогично на основе соотношений для $\varepsilon_{e^-e^+v_1}$ и $\varepsilon_{e^-e^+v}$, с использованием правил векторных преобразований механики можно вывести законы сохранения для угловых столкновений. Поскольку рассмотренные процессы зависят только от скорости каждого тела относительно среды, то она не обязательно должна рассматриваться как априори неподвижная.

Замечание 3. Подводя итог, можно заключить, что априори в случае неподвижности относительно электрон-позитронной среды тело притягивается посредством поля инерции к элементам среды пространства центрально симметрично по всем направлениям с одинаковой силой (15). После получения импульса тело движется по инерции вследствие того, что в направлении импульса притягивается сильнее, чем в обратном направлении, – с силой (32). Как функция времени эта сила притяжения преобразуется к виду (34), за минимальный промежуток

времени $\Delta t_{\text{quantum}}$ передачи импульса она становится чрезвычайно малой, с ростом времени асимптотически стремится к нулю, но не равна нулю. Уравновешивающее до нулевого значения действие на движущееся по инерции тело происходит от индукционного сопротивления со стороны элементов окрестной среды, сила которого складывается с силой прямолинейно направленного притяжения. При этом состояние поля инерции тела поддерживается структурной электромагнитной индукцией. В продолжение времени и в асимптотике, при $t \rightarrow \infty$, взаимодействие с окрестной средой переходит во взаимодействие с элементами внешней среды пространства. Согласно замечанию 1 внешний полюс N электрон-позитронных пар элементов силовых линий инерции тела ориентирован и притягивается в направлении движения к внутренним сдвоенным полюсам S тех пар на прямолинейном продолжении линии инерции, у которых на этой

прямой находится линия центров (рис. 2). Нескомпенсированное действие вдоль прямой оказывают те преобладающие по количеству пары, линия центров которых перпендикулярна прямолинейному продолжению радиальной силовой линии. В обратном направлении имеет место аналогичное притяжение, но оно ослаблено (или даже превышено) отталкиванием перпендикулярных ответвлений радиальных линий от сдвоенных полюсов. Электрон-позитронные пары на прямолинейном продолжении перпендикуляра к ответвлению. В результате действий всех отмеченных сил тело движется равномерно и прямолинейно.

О некоторых теоретических аналогах и известных экспериментах. Природа вакуума – классический предмет теоретических и экспериментальных исследований. Для объяснения распространения света Декарт, Гук и Ньютон принимали гипотезу эфира [4]. В числе сторонников гипотезы были Кулон, Пуассон, Эйлер, Грин, У. Томсон, Лаплас, Фарадей, Максвелл. Некоторые фрагменты классических исследований отчасти сходны с изложенными выше построениями. Так, идея Ампера о молекулярных круговых контурах, порождающих стационарное магнитное поле, предполагала, что в контурах отсутствует омическое сопротивление [4, с. 251]. Вебер в эту гипотезу добавил, что по молекулярному контуру движется электрический заряд, при этом предполагал, что токи в молекулярных контурах будут индуцироваться, если они находятся в изменяющемся магнитном поле [4, с. 251]. Позднее он предположил, что молекулярные токи Ампера являются круговым движением электрического заряда вокруг неподвижного заряда противоположного знака [4, с. 254]. Элементы сходства имеют планетарная модель и сам факт существования атома: каждый орбитальный электрон предполагается в состоянии стационарного вращения аналогично электрическому току в состоянии сверхпроводимости. Понятие силовых линий как множества элементов, передающих действие, ввел Фарадей. В частности, он утверждал: «Индукция заключается в создании определенной электродвижущей силы, которая не зависит от природы провода, а зависит только от пересечений провода с магнитными кривыми» [4, с. 210]. При этом наведенная ЭДС пропорциональна количеству единичных силовых линий, пересеченных за единицу времени [4, с. 210]. Сходство содержит механизм, на основе которого Максвелл создавал модель электромагнитного поля. Поле образуют замкнутые вихри «гидродинамической» среды вакуума, которые попарно

вращаются в противоположных направлениях [4, с. 296] (близко к гидродинамической модели Бернулли (1791 г.) [4, с. 296]). Непосредственно электрон-позитронные пары вакуума рассматривает теория Дирака. Его релятивистское уравнение свободного электрона удовлетворяло требованиям квантовой механики [5]. Уравнение имело два решения, согласно которым энергия электрона могла иметь положительное и отрицательное значения. Дирак ввел гипотезу, известную как «дырочная теория». Вакуум понимался как многочастичное квантовое состояние, в котором все состояния с отрицательной энергией заняты. Принцип запрещает электронам занимать состояние с отрицательной энергией. Любой дополнительный электрон вынужден занять состояние с положительной энергией, и электроны с положительной энергией не будут переходить в состояния с отрицательной энергией. Если состояния с отрицательной энергией не полностью заполнены, каждое незанятое состояние, называемое дыркой, ведет себя как положительно заряженная частица. Дырка обладает «положительной» энергией. Возникает энергия для создания пары из вакуума: (e^+e^-) -пара. Позже частицу экспериментально обнаружил Андерсон, ее назвали позитроном. Гипотеза Дирака указала на структуру вакуума, предсказала антивещество, возможность рождения электрон-позитронных пар из вакуума. Однако с должной осторожностью на эту теорию можно смотреть как на аналог теоремы существования. В ней указано, что существует, но не указано, как существует. Обычно ссылаются на квантово-механические условия существования и относят (e^+e^-) -пары в вакууме к виртуальным частицам [5]. При этом не ставится вопрос, почему, соседствуя с бесконечной плотностью в вакууме в непосредственной близости друг от друга, электроны и позитроны не аннигилируют (как и вакуум в целом), не исследуются закономерности их движения и взаимодействия в вакууме. Уравнение Дирака описывает поведение свободного и только свободного электрона (позитрона). Это не влечет полноту представления вакуума и виртуальное состояние (e^+e^-) -пары как единственно возможное. Известны другие теории вакуума [6], некоторые опираются на новейшие теоретические и экспериментальные данные, их обсуждение выходит за рамки излагаемой работы. Необходимо отметить эксперименты, указывающие на электрон-позитронную структуру вакуума. В частности, на это указывают исследования по рождению электрон-позитронных пар непосредственно из вакуума

[7–9]. Привлекает внимание эксперимент с графеновой решеткой [10]. Явление усиления тока за счет создания частиц из вакуума теоретически предсказано Швингером: сверхмощное электрическое или магнитное поле разлагает вакуум на электроны и позитроны. Авторы [10] продемонстрировали эффект Швингера в лаборатории. Пары «электрон – позитрон» образуются из вакуума, но обычно аннигилируют, на выходе эксперимента остается пустота. Если же аналогичное явление произойдет в сверхмощном электрическом или магнитном поле, то энергии окажется достаточно, чтобы частицы не аннигилировали, а смогли далеко друг от друга разлететься. Такими мощными полями обладают космические магнетары. Их магнитное поле примерно в 80 млн раз превышает когда-либо созданные в лаборатории. Для достижения подобного результата в лаборатории исследователи использовали графеновые сверхрешетки, к которым ток подавался с силой, превышающей максимально возможную для любого вещества. Графен выдержал такой ток, при этом из вакуума в большом количестве стали появляться электроны и позитроны, которые не аннигилировали. В графеновых решетках обнаружили сверхпроводимость и самоусиление тока через генерируемое им электрическое поле. Спонтанное образование пар электронов и позитронов прослеживалось очень четко, все процессы шли в соответствии с теорией Швингера. Библиография по предшествующим экспериментам содержится в [11], новые эксперименты описаны в [12].

Взаимодействие полей инерции двух тел. Поскольку связи элементов силовых линий инерции тела меняются при изменении направления движения (относительно среды), можно ожидать, что, помимо гравитационного притяжения, на тело оказывают действие поля инерции. При выводе (29) – (32) показано, что в полусфере поля инерции по направлению движения тела (правая полусфера) доминируют усиленные внешние полюса N электрон-позитронных пар, а в противоположной (левой) полусфере во множестве усилены внутренние полюса S пар. Отсюда у двух движущихся по инерции тел возникает взаимная ориентация, сходная ориентации двух постоянных магнитов. Предположительно, она порождает либо притяжение (разноименных полюсов), либо отталкивание (одноименных полюсов). Переход в состояние движения делает поле инерции отличающимся от поля в состоянии покоя – оно ориентировано по направлению движения. Это влечет предположение о взаимном притяжении

тел, движущихся в одном направлении, и взаимном отталкивании тел, движущихся в противоположных направлениях. Пусть два тела в поле общего центра гравитации движутся по инерции по параллельным близко расположенным линиям в одном направлении с неравными скоростями. Пусть сначала между телами было некоторое расстояние, затем они поравнялись, и расстояние снова начало возрастать. Их поля инерции ориентированы так, что вначале у отстающего тела впереди доминируют полюса N , а у опережающего – позади – полюса S , это влечет взаимное притяжение. Когда отстававшее тело обгонит первое, их поля инерции поменяются ролями, сохранив ориентацию на взаимное притяжение. Символически этому взаимодействию ставятся в соответствие положения полюсов двух постоянных магнитов:

$$\begin{array}{ccccccc} & \leftarrow & N & S & & & \\ \leftarrow & N & S & \dots & \leftarrow & N & S \end{array} \quad (41)$$

Если эти же тела движутся навстречу друг другу, то взаимно обращенные полюса их полей инерции ориентированы на отталкивание до и после обгона вторым телом первого:

$$\begin{array}{ccccccc} & \leftarrow & N & S & & & \\ S & N & \rightarrow & \dots & S & N & \rightarrow \end{array} \quad (42)$$

В момент, когда в положении (42) тела поравняются в движении, они должны притягиваться, но, поскольку это сравнительно кратковременно, то в целом мало отразится на силе их взаимного отталкивания. Если тела поравняются в положении (41), на некоторое время проявится взаимное отталкивание, что в целом мало отразится на силе взаимного притяжения. Такие взаимодействия могут проявляться между небесными телами (для тел с малой массой силы инерционного взаимодействия малы). Траектории небесных тел прямолинейны лишь в некотором приближении, тем не менее взаимная ориентация на притяжение или отталкивание должна сохраняться. При этом необходимо сохраняется гравитационное притяжение тел по закону всемирного тяготения.

Об инерционной природе приливов и отливов. Анализ лунно-солнечных приливо-отливных явлений сложен в силу различия теорий, противоречивости данных и наблюдений в различных участках океанической поверхности. Первичные сведения ниже заимствуются из [13, с. 63]: «Уровень моря в Бресте поднимается и опускается два раза в каждом интервале вре-

мени между двумя последовательными возвращениями Луны к верхнему меридиану. Средний промежуток времени между этими возвращениями равен 1.035050 суткам, так что интервал времени между двумя последовательными приливами равен 0.517525 суток (такой же период отливов)... Средняя величина полного прилива в Бресте во время равноденственных сизигий около 5.5 м. Во время квадратур она вдвое меньше». Таким образом, прилив в этом месте повторяется примерно через 12 часов, то есть он происходит на стороне Земли, обращенной к Луне, и одновременно на противоположной от Луны стороне. Известные объяснения не отходят от отправной точки теории Ньютона. Он объяснял прилив на обращенной к Луне стороне Земли притяжением к Луне, а прилив на обратной от Луны стороне Земли – центробежной силой, возникающей от вращения Земли и Луны вокруг общего центра этой пары небесных тел. Как правило, модели приливов и отливов рассматривают Землю как однородный шар (аналогично – Луну и Солнце). Но гравитационное взаимодействие двух таких шаров происходит так, как если бы вся масса каждого из них была сосредоточена в их точечных центрах. При этом наружный сферический слой не оказывает на центр никакого действия [14, с. 329]. Поэтому моделировать приливные явления на основе только закона всемирного тяготения не вполне корректно. Кроме того, солнечный прилив на обратной от Солнца стороне Земли проблемно объяснять центробежной силой, возникающей от вращения Земли и Солнца вокруг общего центра. В обсуждаемом аспекте возможно альтернативное объяснение. Предполагается, что на обращенной к Луне стороне Земли прилив вызывается инерционным притяжением поверхности к Луне, а на противоположной от Луны стороне – инерционным отталкиванием поверхности от Луны. Луна и поверхность Земли вращаются в одинаковом направлении, линейное движение поверхности Земли медленнее. Однако угловая скорость вращения Луны вокруг Земли в ≈ 27 раз меньше, чем угловая скорость суточного вращения Земли. В процессе вращения точка поверхности Земли будет «равняться, обгонять и догонять» точку кратчайшего расстояния до Луны за период обращения Луны вокруг Земли ≈ 27 раз. Поэтому поле инерции Луны и поле инерции части поверхности Земли, обращенной к Луне, будут практически ориентированы на постоянное притяжение в соответствии с (41). В то же время поле инерции Луны и поле инерции части поверхности Земли,

обращенной противоположно Луне, практически ориентированы на постоянное отталкивание в соответствии с (42). Этим объясняется наличие лунных приливов (отливов) с периодом 12 часов (рис. 3).

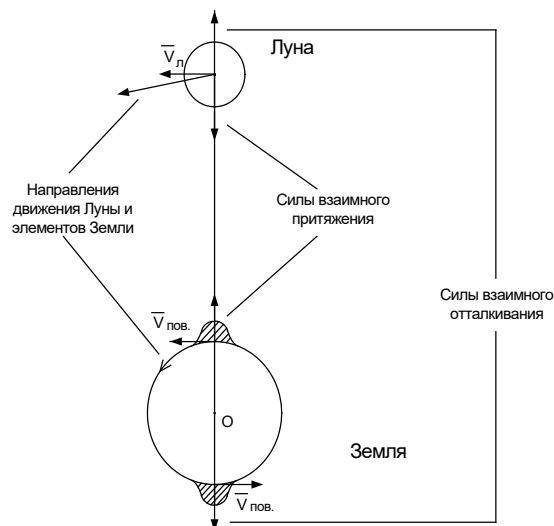


Рис. 3. Взаимное притяжение Луны с одинаково направленными и отталкивание с противоположно направленными элементами вращения земной поверхности

Вместе с поверхностью вращается огромная часть массы Земли, которая также участвует в создании поля инерции и в инерционном взаимодействии со всей массой движущейся по инерции Луны. Сложнее трактовать причину солнечных приливов (отливов). В районе Бреста они имеют ту же периодичность, примерно 12 часов [13, с. 194]. Известное объяснение отправляется от сходной причины, приписываемой лунным приливам и отливам. Считается, что Земля и Солнце вращаются вокруг общего центра, и это вызывает притяжение обращенной к Солнцу стороны Земли и центробежное отталкивание противоположной стороны. Возможное альтернативное объяснение сводится к следующему. Солнце и Земля вращаются вокруг своих осей в одинаковом направлении – против часовой стрелки, если смотреть со стороны северного полюса. Линейная скорость вращения Солнца на экваторе около 2 км/сек, что соответствует периоду около 25 земных суток (к полюсам период возрастает до 36 дней). Линейная скорость вращения Земли на экваторе 0.4651013 км/сек (к полюсам скорость падает). Поскольку в плоскости эклиптики обращение Солнца и Земли вокруг своих осей происходит в одном направлении, то на сторонах поверхностей, обращенных друг к другу,

линейное направление движения поверхностей взаимно противоположно. На противоположной от Солнца стороне Земли линейное направление движения поверхности совпадает по направлению с движением обращенной к Земле поверхности Солнца. Сопоставление с (41), (42) показывает, что поле инерции поверхности Солнца, обращенной к Земле, отталкивает поверхность Земли, обращенную к Солнцу, и притягивает противоположную поверхность Земли, обращенную от Солнца. В обоих случаях участки поверхности вдавливаются по направлению к центру Земли. Когда это происходит в океане, то вдавленная поверхность воды по краям центростремительного действия выдавливает вверх массу воды, что проявляется как приливный горб. При этом он должен быть больше на стороне, противоположной направлению вращения поверхности Земли (вследствие противодействия направленному движению воды и ее накопления в приливном горбе). На противоположной стороне Земли происходят аналогичные процессы, и приливный горб также больше на стороне противоположной направлению суточного вращения.

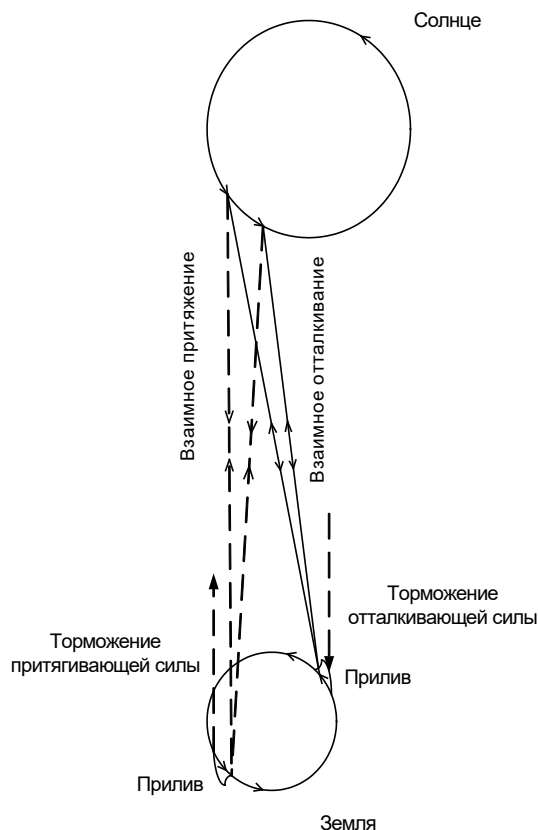


Рис. 4. Возникновение приливных горбов вследствие взаимодействия с вращающейся поверхностью Солнца

Вследствие асимметрии взаимодействий солнечный прилив происходит через 12 часов с запаздыванием к положению точки максимального действия (рис. 4). Вместе с поверхностью вращается огромная часть массы Солнца, которая участвует в создании поля инерции и в его инерционном взаимодействии со всей массой вращающейся вокруг своей оси Земли. Наибольший подъем воды наблюдается, когда Солнце, Луна и Земля находятся на одной прямой линии. Возможно, это связано с резонансом лунных и солнечных приливных волн, но наибольший подъем воды происходит с запаздыванием до полутора суток [13, с. 196]. Запаздывание может быть следствием запаздывания приливной волны солнечного прилива (помимо стандартного лунного запаздывания примерно на 50 минут [15]) в силу различных механизмов действия Луны и поверхности Солнца на поверхность Земли.

Особенности приливных волн существенно разнятся в зависимости от географической широты и рельефа береговых линий. Вода во время прилива может подниматься на 18 м (залив Канди), на 0,9 м (остров Св. Елены), 0,6 м (остров Вознесения), 0,4 м (Таити), 16 м (Бристольский канал), 11 м (залив С. Мишель). Когда Солнце находится над экватором, полусуточные солнечные приливы должны быть равными, когда оно удаляется от экватора, то появляется разница между первой и второй полными и малыми водами (суточное неравенство). Когда Солнце достигает максимального склонения, солнечные приливы становятся суточными. Возрастание приливов начинается с увеличением склонения Луны, и амплитуда приливов достигает наибольших значений в дни, когда Луна больше всего удалена от экватора (тропические приливы). Наибольшие приливы наступают не точно в момент достижения Луной наибольшего склонения, а спустя некоторое время (возраст суточного прилива [15]). В некоторых местах вследствие интерференции приливных и отливных волн, происходящей от влияния конфигурации берегов, приливы и отливы наблюдаются 1 раз в сутки. На Таити интерференция ведет к тому, что лунная приливо-отливная волна совсем исчезает и развиваются только солнечные приливы и отливы. В предложенном объяснении гравитационное взаимодействие относится к центрам небесных тел, а приливы и отливы порождаются инерционным взаимодействием вращающейся поверхности Земли непосредственно с Луной в ее орбитальном движении и с вращающейся поверхностью Солнца. Объяснение отно-

сится к периодическим приливо-отливным явлениям и не касается зависимости от географической широты и рельефа берега.

Об инерционных взаимодействиях планет. Инерционные поля движущихся небесных тел ориентированы вдоль орбиты по направлению движения. В частности, это так для соседних планет Солнечной системы. Они движутся примерно в плоскости эклиптики, в одном направлении, с различной линейной и угловой скоростью. В случае противостояния иногда между касательными в точках местоположения образуется острый угол. Такие поля инерции ориентированы «одинаково» – на взаимное притяжение. Если при этом противостояние происходит вблизи апогея (перигея) орбиты одной из планет, а вторая находится относительно далеко от апогея (перигея) своей орбиты, то угол между касательными со временем начнет возрастать. Когда планета перейдет апогей (перигей), касательная в точке ее орбиты увеличит угол с касательной в точке орбиты другой планеты. При некоторых параметрах движения может наступить момент, когда угол между касательными станет больше прямого. В этом случае поля инерции двух планет станут ориентированными «противоположно» – на взаимное отталкивание. В результате вслед за противостоянием планеты будут взаимно отдаляться быстрее, чем это происходило бы при условии только гравитационного притяжения. В таком взаимном положении оказались Нептун и Плутон ко времени открытия Плутона в 1930 г. Линейная скорость Нептуна выше линейной скорости Плутона. По расчетам, Нептун прошел точку апогея 23 января 1963 г. От момента открытия Плутона Нептун приближался к точке апогея в течение 33 лет. Именно в этот период между планетами происходило противостояние. При этом Плутон двигался к перигею своей орбиты. Через некоторое время он оказался ближе к Солнцу, чем Нептун (у Плутона очень вытянутая эллиптическая орбита), это продолжалось с 1979 г. по 1999 г. На пути к перигею Плутон, помимо гравитационного притяжения, испытывал отталкивающее действие полей инерции Нептуна, подходившего к апогею, еще большее такое же действие – непосредственно после прохождения апогея. Ориентация полей инерции на отталкивание Плутона от Нептуна усиливалась тем, что орбита Плутона наклонена к плоскости эклиптики на 17.14° . Вследствие частичного отталкивания от Нептуна Плутон проявлял центробежное от Солнца отклонение от своей орбиты. Отклонение Плутона фиксировалось наблюдениями, начиная с 1930 г., и про-

должалось до 1979 г. (в период отклонения Плутон находился вне орбиты Нептуна, внутри нее он на время оказался, начиная с 1979 г.). Масса Нептуна 1.02413×10^{26} кг, масса Плутона $(1.303 \pm 0.003) \times 10^{22}$ кг. Нептун в $\approx 10^4$ раз массивнее, поэтому оказал на Плутон сильное возмущающее действие. Плутон находится с Нептуном в орбитальном резонансе 3:2. Поэтому момент противостояния повторяется 1 раз в 498 (точнее, в 495) лет. Расположение точки противостояния вблизи апогея Нептуна и перигея Плутона, как это произошло в рассматриваемый период, – редкое, но периодическое событие, которое воспроизводится почти через 500 лет. Совпадение предложенной модели сил инерции с периодом противостояния не представляется случайным, и центробежное отклонение Плутона от Солнца наиболее вероятно указывает на наличие сил отталкивания, отличающихся от гравитационного притяжения к Нептуну.

Инерционные возмущения могут испытывать все тела, движущиеся с космическими скоростями, если их движения сближаются с окрестностями апогея (перигея) орбиты одной из планет. Особенно это относится к вытянутым орбитам комет и астероидов. Средний период обращения кометы Галлея составляет 76 лет, гравитационное влияние планет изменяет орбитальный период. Орбитальный период изменялся от 76 лет (в 1986 г.) до 79,3 года (в 451 и 1066 гг.). Орбита кометы высокоэксцентрическая, наклонена под углом 18° к эклиптике. Можно анализировать движение этой кометы вблизи апогея (перигея) орбит планет с целью обнаружить возмущающее действие полей инерции. С аналогичной целью можно сопоставить орбиты самих планет. Так, период обращения Сатурна 29,46 года, период Урана 84,02 года. Орбитальный резонанс $\approx 1:3$. После открытия Нептуна в 1846 г. по возмущению Урана астрономы наблюдали новые возмущения Урана (их нельзя приписать Плутону), сходные с центробежным отклонением от Солнца. В рассматриваемом аспекте были бы интересны возмущения Сатурна и Юпитера. Но в большей мере это относится к спутникам Юпитера и Сатурна, особенно к тем, которые движутся навстречу друг другу. Девять из двенадцати недавно открытых спутников принадлежат к внешней группе и движутся вокруг Юпитера по ретроградным орбитам, то есть направление их движения противоположно вращению Юпитера. Среди спутников с противоположно направленным движением можно пытаться обнаружить влияние инерционных полей, но сам факт существования спутников с ретроград-

ными орбитами указывает на наличие у них отталкивающих полей инерции, иначе бы они сталкивались с встречными спутниками и прекратили существование. Объяснить длительное существование спутников с ретроградными орбитами возмущением полей инерции можно, если массы встречных спутников достаточно велики. У Юпитера на 2022 г. открыто 80 спутников. Все они имеют массу порядка $10^{12} \text{ кг} - 10^{23} \text{ кг}$. Ретроградную орбиту имеют 39 спутников. У Сатурна известно 83 спутника. Спутники, у которых масса определена, имеют сходный со спутниками Юпитера порядок: от 10^{13} кг до 10^{23} кг . По крайней мере 9 из них отличаются ретроградной орбитой, еще около половины – нерегулярной орбитой. Наблюдение может указать на отталкивающие влияния полей инерции, исключаящие взаимное столкновение.

У многих объектов пояса Койпера, включая Седна, орбиты либо ретроградные, либо сильно возмущенные по сравнению с планетами Солнечной системы. В предположении действия полей инерции центробежные возмущения орбит пояса Койпера могли быть вызваны не гипотетической планетой или потухшей звездой, а отталкивающим действием полей инерции встречных планет Солнечной системы. Объекты пояса Койпера с ретроградными орбитами движутся навстречу планетам Солнечной системы. Их поля инерции ориентированы противоположно полям инерции планет, что может повлечь инерционное отталкивание. Неретроградные орбиты объектов Койпера сильно вытянуты, находятся под большим углом к эклиптике, при некоторых параметрах движения это также может повлечь инерционные возмущения.

О создании движения без передачи импульса. Силовые линии поля гравитации состоят из электрон-позитронных пар (электрических контуров в состоянии сверхпроводимости). При определенных условиях с этими элементами могут индуктивно взаимодействовать электромагнитные поля. Отчасти это наблюдалось в экспериментах, которые проводились с 1986 г. (и ранее), суть их в следующем [1]. К двум изолированным прямолинейным проводникам подсоединялись два соленоиды. Каждый имел обмотку из двойного (разрезанного на концах для возможности изменения электрической схемы) алюминиевого провода диаметром 0.8 мм с эмалевой изоляцией. Длина одинарного провода обмотки соленоида составляла 10 м . Обмотка выполнялась на картонный цилиндр. Если выход одного конца одинарного провода подсоединить к входу другого, а выход другого подсоединить

к входу аналогичной обмотки второго соленоида, то каждый соленоид имел обмотку длиной 20 м . Оба соленоида с подводящими проводами крепились в жесткую линейную конструкцию как плечо рычага. Другое плечо продолжало конструкцию без проводника и образовывало с первым коромысло, на конце которого помещались разновесы для уравновешения соленоидов. По центру коромысла под прямым углом вставлялись медные штыри без изоляции для контакта с подводящими проводами. Их концы затачивались и амальгамировались. Острыми концами штыри вставлялись в две чаши с ртутью для подвижного электрического контакта. Коромысло тщательно уравновешивалось. Если в течение $1-3 \text{ сек}$ пропусклся переменный ток около 50 А и 180 В , частотой 50 Гц , в противофазе по двум соленоидам, конструкция нарушала равновесие так, как если бы соленоиды теряли вес: конец с соленоидом всегда без инерции поднимался вверх. Если же для контроля двойной провод каждого соленоида переводился в бифилярное соединение и пропускался тот же ток, эффект исчезал – равновесие не нарушалось. В разновидности опыта конец с соленоидом подвешивался к горизонтально натянутой эластичной тесьме. К соленоиду подвешивался груз, чтобы создать наклон, определялся вес груза на противоположном конце, уравновешивающего наклон, и этот груз снимался с конца, чтобы соленоиды снова были в наклонном положении. Пропускался переменный ток, и коромысло поднималось в горизонтальное положение. Так определялось количество потерянного веса обмотки. За несколько коротких переключений соленоиды поднимались вверх над горизонтальным положением до упора [1]. Эффект усиливался, если в соленоиды вставлялись стальные сердечники. Действие против силы тяжести составляло примерно $4,5\%$ веса обмотки. Одно из объяснений – индукция переменного тока частично нарушала структуру силовых линий поля гравитации соленоидов, что ослабляло их вес. Восстановление веса происходило крайне инерционно. Предположительно, повышение частоты тока должно увеличить снижение веса. Схему можно перенести на поле инерции [3, с. 324–327]. Если к пробному телу вертикально прикрепить экран, изолирующий от электромагнитного поля, на противоположной от тела стороне экрана прикрепить соленоиды с подвижным электрическим контактом через удлиненные ванночки с ртутью, то при подаче переменного тока тело с соленоидом должно перейти в состояние горизонтального прямолинейного движе-

ния. Это объясняется частичным нарушением структуры силовых линий инерции тела со стороны экрана, противоположного направлению движения. С другой стороны экрана силовые линии сохраняют структуру, и возникает инерционное притяжение тела к элементам полупространства. Соленоиды можно заменить источниками электромагнитного излучения сверхвысокой частоты. Излучение частично нарушит структуру силовых линий по одну сторону от экрана, что приведет к созданию движения. Экран можно выполнить в форме усеченного параболоида, в который через открытый срез вставлено тело. Тогда силовые линии тела «не смогут» огибать экран. Если источник излучения поместить внутрь параболоида, то он будет прямолинейно двигаться в направлении, противоположном излучению. Целесообразно использовать несколько источников, создающих излучение с частотными сдвигами, расположив их по внутренним стенкам параболоида. Если параболоиды центрально симметрично расположить по внешней поверхности экранирующей сферы, содержащей внутри пробное тело, то конструкция должна автономно управлять весом и направленным движением посредством включения соответствующих источников излучения. В этой же конструкции можно усилить инерционное возмущение, центрально симметрично расположив и соленоиды, и источники излучения, пропуская по соленоидам переменный ток сверхвысокой частоты в смещенных фазах. При использовании сверхпроводящих материалов можно усилить разложение элементов силовых линий током большой силы до «самоусиления тока через генерируемое им электрическое поле» [10]. Индукционное действие излучения на поля гравитации и инерции усилится при наличии внутри параболоида плазменной среды. Этим отчасти объясняется работа «неракетного нереактивного квантового двигателя» [16]. К этому объяснению близка «схема квантового двигателя EmDrive Роджера Шойера», в котором градиент энергии и сила тяги создаются внутри микроволнового конусного резонатора [17] с применением различных комбинаций электромагнитных полей. Работы продвинуты в США, Великобритании и Китае [18, 19].

Заключение

В изложенных предположениях инерция как сопротивление действию и движение тела по инерции являются следствиями электромагнитной индукции поля инерции тела. Вектор индуктивного сопротивления действию направлен против действия

на тело, усиливая притяжение среды полупространства в противоположном действии направлению и ослабляя притяжение среды противоположного полупространства в направлении действия. Результатом является инерция тела, выражающаяся в сопротивлении действию. Напротив, вектор индуктивного сопротивления прекращению действия имеет направление действия на тело, усиливая притяжение среды полупространства в направлении действия и ослабляя притяжение (вплоть до преобразования в отталкивание) среды противоположного полупространства в направлении, противоположном действию. Это состояние индуктивно поддерживается после прекращения действия. Результатом является движение тела по инерции. Если ограничиться только этими предположениями, не дополняя их эвристическими конструкциями процессов в момент передачи телу импульса, то сохраняются основные положения изложенной работы. В частности, сохранится ориентированность поля инерции тела по направлению движения, приложения к приливо-отливным явлениям, к возмущениям орбит небесных тел, к возможности создания движения без передачи телу импульса. С этим же согласуется предположение, что электрон-позитронная среда вместе с полем инерции сопровождает движение тела по инерции в сравнительно малой окрестности его центра, но отстает при его ускорении.

Список литературы

1. Ромм Я.Е. О видоизменениях опыта Фарадея с кажущимся уменьшением веса проводников при прохождении электрического тока в аспекте гипотетической связи гравитации и электромагнетизма // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2020. № 8. С. 61-81. DOI: 10.17513/mjprfi.13117.
2. Ромм Я.Е. Гипотеза близкогодействия в аспекте влияния гравитации на скорость света в экспериментах Майкельсона-Морли и Саньяка // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2021. № 2. С. 49-66. DOI: 10.17513/mjprfi.13180.
3. Ромм Я.Е. Электромагнетизм, гравитация и инерция в предположении близкогодействия. Таганрог: Изд-во ТГПИ, 2009. 348 с.
4. Уиткер Э. История теории эфира и электричества. Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. 512 с.
5. Вайнберг С. Квантовая теория поля. Том 1. Общая теория. М.: Физматлит, 2015. 648 с.
6. Смилга А. В. Структура вакуума в трёхмерных суперсимметричных калибровочных теориях // Успехи Физических Наук. 2014. Т. 184. С. 163-176.
7. Slade-Lowther C., Del Sorbo D., Ridgers C.P. Identifying the Electron-Positron Cascade Regimes in High-Intensity Laser-Matter Interactions. New Journal of Physics. 2019. Vol. 21. P. 013028.
8. Александров И.А. Рождение электрон-позитронных пар в сильных электромагнитных полях, зависящих от ко-

ординат и времени: дис. ... канд. физ.-матем. наук. Санкт-Петербург, 2019. 255 с.

9. Попов В.С., Мур В.Д., Нарожный Н.Б., Попруженко С.В. О рождении электрон-позитронных пар из вакуума полем интенсивного лазерного излучения // ЖЭТФ. 2016. Т. 149. Вып. 3. С. 623-640.

10. A.I. Berdyugin, Na Xin, Haoyang Gao, S. Slizovskiy, Zhiyu Dongshubhadeep Bhattacharjee, Kumaravadeivel, Shui-gang Xu, A. Ponomarenko, K. Geim (+13 authors Authors Info & Affiliations). Out-of-equilibrium criticalities in graphene superlattices. *Science*. 27 Jan 2022. Vol. 375. Iss. 6579. P. 430-433. DOI: 10.1126/science.abi8627.

11. Christian Kohlfürst. Effect of time-dependent inhomogeneous magnetic fields on the particle momentum spectrum in electron-positron pair production. *Physical Review D* 101. 096003. 2020. P. 1-24.

12. Sadah A. Alkhateeb, Aisha Abdu Alshaery, Rawan Ali Aldosary. Electron-Positron Pair Production in Electro-Magnetic Field Sadah A. Alkhateeb, Aisha Abdu Alshaery, Rawan Ali Aldosary. *Journal of Applied Mathematics and Physics*. 2022. № 10. P. 237-244.

13. Лаплас П.С. Изложение системы мира. Л.: Наука, 1982. 375 с.

14. Фихтенгольц Г.М. Курс дифференциального и интегрального исчисления. Том 3. М.: Книга по Требованию, 2014. 656 с.

15. Шулейкин В.В. Физика моря. М.: Наука, 1968. 1090 с.

16. Леонов В.С., Бакланов О.Д., Саутин М.В., Костин Г.В., Кубасов А.А., Алтуниин С.Е., Кулаковский О.М. Неракетный нереактивный квантовый двигатель: технология, результаты, перспективы // Воздушно-космическая сфера. 2019. № 1. С. 68-75.

17. Roger Shawyer. Second generation EmDrive propulsion applied to SSTO launcher and interstellar probe. *Acta Astronautica*. 2015. Vol. 116. P. 166-174.

18. Harold White, Paul March, James Lawrence, Jerry Vera, Andre Sylvester. Measurement of Impulsive Thrust from a Closed Radio-Frequency Cavity in Vacuum. *Journal of Propulsion and Power*. 2017. Vol. 33. № 4. P. 830-841.

19. China claims to have a working version of NASA's impossible engine orbiting the Earth - and will use it in satellites 'imminently'. *Daily Mail Online*. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-4052580/China-claims-built-working-version-NASA-s-impossible-engine-says-s-orbiting-Earth.html> (дата обращения: 16.09.2022).

УДК 532.516

КОЛЕБАНИЯ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТЬЮ

Сенницкий В.Л.*ФГБУН Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева**Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск;**ФГАОУ ВО «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»,
Новосибирск, e-mail: sennitskii@yandex.ru*

В работе поставлена и решена задача о вынужденных вращательных колебаниях сферически-симметричной гидромеханической системы, состоящей из несжимаемой вязкой жидкости и окружающего ее абсолютно твердого тела. На систему действует периодически изменяющийся со временем внешний силовой момент. Твердое тело является свободным (движение тела не задано, подлежит определению). Постановка задачи включает в себя уравнение движения твердого тела, уравнение Навье – Стокса, уравнение неразрывности и условия на твердой границе жидкости. Целесообразность рассмотрения данной задачи обусловлена, в частности, следующим. Колебательное движение практически повсеместно и чрезвычайно разнообразно реализуется в природе и в технике, ввиду чего изучение закономерностей колебательного движения неизменно сохраняет свою актуальность. Весьма часто в колебательном движении участвует жидкость (прежде всего представляет интерес изучение движения вязкой жидкости). Для классических задач гидромеханики характерно то, что те или иные части присутствующей в задаче гидромеханической системы – находящиеся в жидкости тела, стенки сосудов – совершают заданное движение. Задачи, в которых гидромеханическая система является свободной, все части системы являются свободными (движение всех частей системы подлежит определению), к настоящему времени мало изучены. Задача, рассмотренная в настоящей работе, представляет собой новую задачу, в которой все части гидромеханической системы являются свободными. Найдено решение данной задачи в отсутствие подчинения значений числа Рейнольдса каким-либо условиям (найденно решение задачи, пригодное при любом положительном значении числа Рейнольдса). С использованием данного решения получены асимптотические формулы, которыми определяется движение твердого тела при малых и больших значениях числа Рейнольдса. Результаты настоящей работы могут использоваться, в частности, при поиске новых подходов к изучению строения гидромеханических систем.

Ключевые слова: свободная гидромеханическая система, твердое тело, вязкая жидкость, вращательные колебания, число Рейнольдса, асимптотические формулы

OSCILLATIONS OF A HYDRO-MECHANICAL SYSTEM WITH A VISCOUS LIQUID

Sennitskiy V.L.*Lavrentev Institute of Hydrodynamics SB RAS, Novosibirsk;**Novosibirsk State University, Novosibirsk, e-mail: sennitskii@yandex.ru*

It is formulated and solved in the work a problem on forced rotatory oscillations of a spherically symmetrical hydro-mechanical system, consisting of an incompressible viscous liquid and a surrounding it absolutely solid body. An external periodically changing in time force moment acts to the system. The solid body is free (the motion of the body is not given, it must be determined). The problem formulation includes the equation of the solid body motion, the equation of Navier – Stokes, the equation of continuity and the conditions at the solid boundary of the liquid. The expediency of the consideration of this problem is conditioned in particular by following. An oscillatory motion realizes in nature and in technics practically everywhere and extremely variedly and in view of this a learning of laws of an oscillatory motion constantly keeps its actuality. Very often a liquid takes part in an oscillatory motion (first of all a learning of the motion of a viscous liquid is of interest). It is of characteristic for classic problems of hydro-mechanics that some parts of the hydro-mechanical system which is present in a problem – bodies which are in a liquid, walls of vessels, the liquid being at infinity – fulfil a given motion. To the present time the problems where a hydro-mechanical system is free, all parts of the system are free (the motion of all parts of the system must be determined) are small studied. The problem which is considered in the present work is a new problem where all parts of the hydro-mechanical system are free. The solution of this problem is obtained under the absence of a subordination of meanings of the number of Reynolds to any conditions (the solution of the problem is obtained which is valid for any positive meaning of the number of Reynolds). With the use of this solution the asymptotic formulas are obtained by which the motion of the solid body is determined for small and for large meanings of the number of Reynolds. The results of the present work can be used in particular for a search of new approaches to the study of a structure of hydro-mechanical systems.

Keywords: free hydro-mechanical system, solid body, viscous liquid, rotatory oscillations, number of Reynolds, asymptotic formulas

Исследования динамики гидромеханических систем представлены, в частности, в изданиях [1–3]. Экспериментальному и теоретическому изучению влияния периодических по времени (колебательных, вибрационных) воздействий на динамику

гидромеханической системы посвящены работы [4, 5].

В [6] поставлена и решена задача о движении гидромеханической системы с вязкой жидкостью, все части которой являются свободными.

Предметом изучения в настоящей работе является следующая задача. Имеется гидромеханическая система, движение которой подлежит определению. Система состоит из абсолютно твердого тела Ξ и вязкой несжимаемой жидкости. Тело Ξ ограничено двумя сферами радиусов A и A' ($A' > A$) с центрами в точке O – начале инерциальной прямоугольной системы координат X, Y, Z . Масса m тела Ξ распределена сферически-симметрично относительно точки O . Разность $A' - A$ пренебрежимо мала по сравнению с радиусом A , в связи с чем тело Ξ рассматривается как материальная поверхность (сфера массы m , радиуса A , с центром в точке O). Жидкость заполняет область Q : $0 \leq X^2 + Y^2 + Z^2 < A^2$. На тело Ξ , наряду с силами со стороны жидкости, действуют внешние силы. Момент M_{ext} внешних сил относительно оси X периодически с периодом T изменяется со временем t . Тело Ξ совершает обусловленные наличием момента M_{ext} вынужденные вращательные колебания вокруг оси X (монотонное вращение тела Ξ вокруг оси X отсутствует).

Целью работы является определение не зависящего от начальных данных движения гидромеханической системы (тела Ξ и жидкости).

Постановка и решение задачи

Пусть $\tau = t/T$, $x = X/A$, $y = Y/A$, $z = Z/A$, r, θ, φ – сферическая система координат, связанная с системой X, Y, Z соотношениями

$$x = r \cos \theta, y = r \sin \theta \cos \varphi, z = r \sin \theta \sin \varphi;$$

$\mathbf{e}_r, \mathbf{e}_\theta, \mathbf{e}_\varphi$ – единичные базисные векторы системы r, θ, φ ($\mathbf{e}_r = \{x/r, y/r, z/r\}$); $\mathbf{V} = (A/T) \mathbf{v}$, v и ρ – скорость, кинематический коэффициент вязкости и плотность жидкости ($\mathbf{v} = v_r \mathbf{e}_r + v_\theta \mathbf{e}_\theta + v_\varphi \mathbf{e}_\varphi$); $P = (\rho A^2 / T^2) p$ – давление в жидкости; m – масса тела Ξ ; $I = (2/3) m A^2$ – момент инерции тела Ξ относительно оси X ; $\Omega = \omega / T$ – угловая скорость вращения тела Ξ вокруг оси X ; $\text{Re} = A^2 / (vT)$ – число Рейнольдса; $f = \sin 2\pi\tau$; $M_{\text{ext}} = \dot{M}f$ – момент внешних сил, действующих на тело Ξ , относительно оси X ($\dot{M} > 0$ – постоянная);

$$\mu = -2\pi \int_0^\pi \left(\frac{\partial}{\partial r} \frac{v_\varphi}{r} + \frac{1}{\sin \theta} \frac{\partial v_r}{\partial \varphi} \right) (\sin \theta)^2 d\theta;$$

$$M_{\text{liq}} = \frac{\rho A^5}{\text{Re } T^2} \mu$$

– момент сил, действующих на тело Ξ со стороны жидкости, относительно оси X ; $\varepsilon = \dot{M} T^2 / (\rho A^5)$; $\varkappa = I / (\rho A^5)$.

Уравнение движения тела Ξ , уравнение Навье – Стокса, уравнение неразрывности и условия на твердой границе жидкости имеют вид

$$\varkappa \frac{d\omega}{d\tau} = \varepsilon f + \frac{\mu}{\text{Re}}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial \tau} + (\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{v} = -\nabla p + \frac{1}{\text{Re}} \Delta \mathbf{v}, \quad (2)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{v} = 0, \quad (3)$$

$$v_r = 0, \quad v_\theta = 0, \quad v_\varphi = \omega \sin \theta \quad \text{при } r = 1. \quad (4)$$

Будем рассматривать задачу (1)–(4) при малых по сравнению с единицей значениях ε . Применим метод разложения по степеням малого параметра. Предположим, что

$$\omega \sim \omega_0 + \varepsilon \omega_1, \quad \mathbf{v} \sim \mathbf{v}_0 + \varepsilon \mathbf{v}_1, \quad p \sim p_0 + \varepsilon p_1 \quad \text{при } \varepsilon \rightarrow 0. \quad (5)$$

Используя (1)–(5) в ε^N – приближении ($N = 0, 1$), получим

$$\varkappa \frac{d\omega_N}{d\tau} = N f + \frac{\mu_N}{\text{Re}}, \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \mathbf{v}_N}{\partial \tau} + (1-N) (\mathbf{v}_0 \cdot \nabla) \mathbf{v}_0 = \\ = -\nabla p_N + \frac{1}{\text{Re}} \Delta \mathbf{v}_N, \end{aligned} \quad (7)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{v}_N = 0, \quad (8)$$

$$v_{Nr} = 0, \quad v_{N\theta} = 0, \quad v_{N\varphi} = \omega_N \sin \theta \quad \text{при } r = 1, \quad (9)$$

где

$$\mu_N = -2\pi \int_0^\pi \left(\frac{\partial}{\partial r} \frac{v_{N\varphi}}{r} + \frac{1}{\sin \theta} \frac{\partial v_{Nr}}{\partial \varphi} \right) (\sin \theta)^2 d\theta,$$

$$v_{Nr} = \mathbf{v}_N \cdot \mathbf{e}_r, \quad v_{N\theta} = \mathbf{v}_N \cdot \mathbf{e}_\theta, \quad v_{N\varphi} = \mathbf{v}_N \cdot \mathbf{e}_\varphi.$$

Пусть $N = 0$. Задача (6)–(9) имеет решение

$$\omega_0 = 0, \quad \mathbf{v}_0 = 0, \quad p_0 = p_0(\tau). \quad (10)$$

Пусть $N = 1$. Будем искать решение задачи (6)–(9), имеющее вид

$$\omega_1 = \text{Real}(\hat{\omega} e^{2\pi i \tau}), \quad \mathbf{v}_1 = \text{Real}[\mathbf{v}(r, \theta) e^{2\pi i \tau}] \mathbf{e}_\varphi$$

$$P_1 = P_1(r, \theta, \tau), \quad (11)$$

где $\hat{\omega}$ – постоянная. Отметим, что для (11) уравнение (8) является выполненным. Используя (6), (7), (9), (11), найдем

$$2\pi i \varepsilon \hat{\omega} = -i - \frac{2\pi}{\text{Re}} \int_0^\pi \left(\frac{\partial}{\partial r} \frac{v}{r} \right)_{|r=1} (\sin \theta)^2 d\theta, \quad (12)$$

$$p_1 = p_1(\tau), \quad (13)$$

$$q^2 v = \frac{\partial^2 v}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial v}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v}{\partial \theta^2} + \frac{ctg\theta}{r^2} \frac{\partial v}{\partial \theta} - \frac{v}{r^2 (\sin \theta)^2}, \quad (14)$$

$$v = \hat{\omega} \sin \theta \quad \text{при } r = 1, \quad (15)$$

где $q = (1+i)\sqrt{\pi \text{Re}}$. Сделаем в (14), (15) подстановку

$$v = \hat{v}(r) \sin \theta. \quad (16)$$

В результате этого получим

$$r^2 \frac{d^2 \hat{v}}{dr^2} + 2r \frac{d\hat{v}}{dr} - (2 + q^2 r^2) \hat{v} = 0, \quad (17)$$

$$\hat{v} = \hat{\omega} \quad \text{при } r = 1. \quad (18)$$

Задача (17), (18) имеет решение

$$\hat{v} = \hat{\omega} \frac{I_{3/2}(qr)}{I_{3/2}(q)}, \quad (19)$$

где $I_{3/2}$ – модифицированная функция Бесселя. Отметим, что ввиду наличия соотношения

$$I_{3/2}(q) = e^{-i\frac{3\pi}{4}} J_{3/2}(q)$$

($J_{3/2}$ – функция Бесселя), согласно теореме Ломмеля

$$I_{3/2}(q) \neq 0$$

для любого положительного значения Re . Из (11), (15), (16), (19) следует

$$v_1 = \text{Real} \left[\hat{\omega} \frac{I_{3/2}(qr)}{I_{3/2}(q)} e^{2\pi i \tau} \right] \frac{\sin \theta}{r^{1/2}} \mathbf{e}_\varphi. \quad (20)$$

Используя (12), (16), (19), получим

$$\hat{\omega} = -\frac{i}{2\pi i \varepsilon + \Phi}, \quad (21)$$

$$\text{где } \Phi = \frac{8\pi}{3\text{Re}} \frac{q I_{1/2}(q) - 3 I_{3/2}(q)}{I_{3/2}(q)}$$

($I_{1/2}$ – модифицированная функция Бесселя). Формулами

$$\omega = \omega_0 + \varepsilon \omega_1, \quad \mathbf{v} = \mathbf{v}_0 + \varepsilon \mathbf{v}_1, \quad p = p_0 + \varepsilon p_1 \quad (22)$$

и (10), (11), (13), (20), (21) определяется приближенное решение задачи (1)–(4).

Остановимся на вопросе о движении тела Ξ при малых и больших (по сравнению с единицей) значениях числа Рейнольдса.

Предварительно отметим следующее.

1. Пусть область Q заполнена не жидкостью, а однородным твердым телом Ξ' (шаром радиуса A с центром в точке O) плотностью ρ , и тела Ξ , Ξ' колеблются как одно твердое тело. Тогда движение системы (тела Ξ и тела Ξ') определяется уравнением

$$(I + I') \frac{d\Omega}{dt} = M_{\text{ext}}. \quad (23)$$

Здесь $I' = (8\pi / 15) \rho A^5$ – момент инерции тела Ξ' относительно оси X . Из (23) следует

$$\Omega = \eta_1, \quad (24)$$

где

$$\eta_1 = \frac{T}{2\pi(I + I')} \hat{M} \sin \left(\frac{2\pi t}{T} - \frac{\pi}{2} \right).$$

2. Пусть в области Q отсутствует какая-либо материальная среда. Тогда движение системы (тела Ξ) определяется уравнением

$$I \frac{d\Omega}{dt} = M_{\text{ext}}. \quad (25)$$

Из (25) следует

$$\Omega = \eta_2, \quad (26)$$

где

$$\eta_2 = \frac{T}{2\pi I} \hat{M} \sin \left(\frac{2\pi t}{T} - \frac{\pi}{2} \right).$$

Отметим, что «твердотельные» колебания η_1 , η_2 имеют сдвиг по времени на $-T/4$ по отношению к моменту M_{ext} .

Обратимся к полученному решению задачи (1)–(4). Используя (10), (11), (21), (22), найдем

$$\omega \sim -\frac{\varepsilon}{2\pi} \text{Real} \left\{ \left[1 + \frac{16\pi^2 i \text{Re}}{525(\varepsilon + 8\pi/15)} \right] \frac{e^{2\pi i \tau}}{\varepsilon + 8\pi/15} \right\} \quad \text{при } \text{Re} \rightarrow 0, \quad (27)$$

$$\omega \sim -\frac{\varepsilon}{2\pi \varepsilon} \text{Real} \left\{ \left[1 - \frac{4\sqrt{\pi}(1-i)}{3\varepsilon\sqrt{\text{Re}}} \right] e^{2\pi i \tau} \right\} \quad \text{при } \text{Re} \rightarrow \infty. \quad (28)$$

Из (27), (28) следуют приближенные формулы

$$\Omega = \eta_1 + \xi_1 \quad (29)$$

– для малых значений Re ; здесь

$$\xi_1 = \frac{I'TRe}{35(I+I')^2} \hat{M} \sin \frac{2\pi t}{T}; \quad (30)$$

$$\Omega = \eta_2 + \xi_2 \quad (31)$$

– для больших значений Re ; здесь

$$\xi_2 = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{\rho A^5 T}{I^2 \sqrt{Re}} \hat{M} \sin \left(\frac{2\pi t}{T} - \frac{7\pi}{4} \right). \quad (32)$$

Согласно (29), (31) и при малых, и при больших значениях Re угловая скорость Ω представляет собой сумму «больших» колебаний (которые совпадают с «твердотельными» колебаниями (24), (26)) и «малых» колебаний (30), (32). Отметим, что при малых значениях Re «малые» колебания угловой скорости имеют нулевой сдвиг по времени; при больших значениях Re «малые» колебания угловой скорости имеют сдвиг по времени $-7T/8$ по отношению к моменту M_{ext} .

Заключение

В настоящей работе определено движение гидромеханической системы с вязкой жидкостью. Тем самым установлено, каковы отклики системы на оказываемые на нее периодические по времени воздействия. Найдено, в частности, что при малых и больших (по сравнению с единицей) значениях числа Рейнольдса присутствие в си-

стеме вязкой жидкости проявляется в наличии «малых» колебаний угловой скорости окружающего жидкостью твердого тела. Формулами (30), (32) демонстрируется связь между параметрами гидромеханической системы и являющимися наблюдаемыми «малыми» колебаниями угловой скорости вращения твердого тела.

Полученные результаты могут использоваться, в частности, в исследованиях возможностей малоинвазивного изучения строения гидромеханических систем.

Список литературы

1. Слезкин Н.А. Динамика вязкой несжимаемой жидкости. М.: ГИТ-ТЛ, 1955. 521 с.
2. Международная конференция «Лаврентьевские чтения по математике, механике и физике» (Новосибирск, 7–11 сентября 2020 г.). Тезисы докладов. Новосибирск: Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН, 2020. 262 с.
3. Международная конференция «Минские научные чтения – 2021» (Минск, 9 декабря 2021 г.). Сборник статей в 3-х т. Минск: Белорусский государственный технологический университет, 2021. 883 с.
4. Карпунин И.Э., Козлов В.Г., Козлов Н.В. Влияние высокочастотных колебаний жидкости на вязкое капельное включение в ячейке Хеле-Шоу // Конвективные течения. 2019. № 9. С. 36–51. DOI: 10.24411/2658-5421-2019-10904.
5. Сенников В.Л. Преимущественно однонаправленное течение вязкой жидкости // Сибирский журнал индустриальной математики. 2021. Т. 24. № 2. С. 126–133. DOI: 10.33048/SIBJIM.2021.24.210.
6. Сенников В.Л. Нестационарное вращение цилиндра в вязкой жидкости // Прикладная механика и техническая физика. 1980. № 3. С. 66–69.

СТАТЬИ

УДК 54-16:54-32:54-19:544.144.2

СТРУКТУРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНТЕРКАЛЯЦИИ ГРАФИТА КИСЛОТАМИ

Гриднев А.А.

ФГБУН Федеральный исследовательский центр химической физики им Н.Н. Семенова
Российской академии наук, Москва, e-mail: 99gridnev@gmail.com

Получено объяснение ранее обнаруженному факту, что при интеркаляции графита сильными кислотами образуются интеркаляты определенной стехиометрии C_nZ , где Z – остаток сильной кислоты. Для выяснения возможной химической структуры интеркалированного графита для каждого значения « n » в этой формуле проведено структурное моделирование формирования на базальной плоскости графита наиболее стабильных структур при окислительном протонировании. На основании предположения о формировании малых ароматических структур на базальной плоскости графита при глубоком интеркаливании было предложено несколько фрагментов, способных образовывать бесконечную бездефектную структуру интеркалированного графита. Определено, что наиболее устойчивые соединения получаются при $n = 4, 8, 9, 10, 13, 15$, что соответствует наблюдаемым экспериментальным значениям. Показано, таким образом, при наиболее глубоком интеркаливании, известном в настоящее время, формула нитрата графита должна быть $C_8(NO_3)_2$, а не $C_{4.3}NO_3$, как предполагалось ранее. Аналогично, бисульфат графита правильной записывать не $C_{24}^+HSO_4^- \cdot 2H_2SO_4$, а $C_8H_2SO_4$. Все эти структуры сильно интеркалированного графита состоят из бензольных колец с прослойками из sp^3 -гибридизированных атомов углерода. Более глубокая интеркаляция приводит к необратимому окислению графита до окиси графита и его производных.

Ключевые слова: графит, интеркаляция, графита бисульфат, ароматическая структура

STRUCTURAL MODELLING OF GRAPHITE INTERCALATION BY ACIDS

Gridnev A.A.

Federal Research Center of Chemical Physics of the Russian Academy of Sciences, Moscow,
e-mail: 99gridnev@gmail.com

An explanation was obtained on the previously reported facts that intercalation of graphite with strong acids leads to formation of intercalates with certain stoichiometry C_nZ , where Z is a strong acid moiety. For elucidation possible chemical structure of intercalated graphite for every “ n ” in this formula a structural modeling of the most stable structures formation on the graphite basal plane was conducted during oxidative protonation. On assumption of small aromatic structures formation on basal plane at deep intercalation several fragment capable of formation of endless and flawless structure of intercalated graphite were suggested. It was determined that the most stable compounds are formed with $n = 4, 8, 9, 10, 13$ and 15 , that fits well experimental data. Thus, was shown that the most intercalated formula is graphite nitrate should be $C_8(NO_3)_2$, rather than $C_{4.3}NO_3$, as it was suggested earlier. Analogously, graphite bisulfate would be more correct represented not $C_{24}^+HSO_4^- \cdot 2H_2SO_4$ but $C_8H_2SO_4$. All these structures of strongly of intercalated graphite consist of benzoic rings surrounded by layers of sp^3 -hybridized carbon. Deeper intercalation would lead to irreversible oxidation of graphite to graphite oxide.

Keywords: graphite, intercalation, graphite bisulfate, aromatic structures

Внедрение сильных кислот между слоями графита – интеркалирование, как известно, широко применяется для изготовления различных изделий из графита и графито/графено наполненных композиций. Несмотря на то, что реакция интеркалирования графита изучается уже почти 90 лет [1] и опубликованы десятки работ на эту тему, многие особенности этого процесса недостаточно изучены. Так, общепризнанным фактом считается, что при использовании избытка серной кислоты и достаточного количества окислителя образуется бисульфат графита – соединение, описываемое брутто-формулой $C_{24}^+HSO_4^- \cdot 2H_2SO_4$. В то же время при интеркаливании избытком азотной кислоты, которая сама по себе является окислителем, образуется $C_{5.3}^+NO_3^-$ [2] и даже $C_{4.3}^+NO_3^-$ [3]. При недостатке окислителя или кислоты или при применении других

температур можно получить и другие отношения углерод/кислота, с большим количеством углерода, чем указано в [4–6], а также в [7–9]. Как правило, чем выше концентрация используемой кислоты, тем выше степень интеркалирования. Несмотря на многочисленность работ по интеркаливанию графита кислотами, получение столь разных по брутто-формуле интеркалятов не получило никакого рационального объяснения. Во многом это, по-видимому, связано с трудностями работы с графитом как химическим соединением.

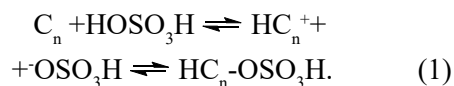
Реакция интеркалирования, что очевидно, сильно зависит от диффузии реагентов между слоями графита, в силу чего нельзя быть полностью уверенным в том, что в условиях эксперимента интеркалирование прошло достаточно ровно по всей длине слоев графита, а разделение про-

дуктов реакции невозможно. На интеркалирование также оказывает сильное влияние морфология твердой фазы. Например, в одних работах скорость реакции интеркалирования оказалась больше в мелких зернах графита [10], а в других исследованиях, наоборот, скорость интеркалирования была больше в более крупных зернах [11]. Разные образцы графита дают разные брутто-формулы интеркалирования у одних и тех же авторов [5, 9]. Дополнительно усложняет ситуацию то, что в интеркалятах при комнатной температуре продолжают протекать какие-то реакции [9, 12, 13]. Эти данные указывают на лабильность интеркалированных структур, а также на то, что важно правильно определить время установления равновесия в интеркалированных структурах.

В настоящей работе сделана попытка объяснить химический смысл той или иной стехиометрии при интеркаляции графита сильными кислотами на основе образования различных «малых» ароматических структур из бесконечной ароматической структуры графита и нанотрубок при интеркаляции сильными кислотами как без окислителей, так и в присутствии окислителей.

Модель

В органической химии известно, что сильные кислоты легко протонируют двойные связи, в том числе ароматических соединений. В низкомолекулярных ароматических соединениях за протонированием обычно следует реакция замещения ароматического водорода остатком кислоты с образованием, если рассматривать серную кислоту, сульфокислот. В графите такая реакция замещения невозможна, поэтому единственной реакцией после протонирования может быть только присоединение аниона кислоты к карбокатиону, образовавшемуся после протонирования, то есть логично, по нашему мнению, предположить, что серная кислота присоединяется по одной из двойных связей графита. Понятно, что связь $\text{HC}_n\text{-OSO}_3\text{H}$ в этом случае достаточно неустойчива и реакция (1) может быть существенно сдвинута влево.



Образование электро-нейтрального эфира $\text{HC}_n\text{-OSO}_3\text{H}$, тем не менее, должно облегчать присоединение следующей молекулы серной кислоты и т.д. до некоторого «насыщения».

Это насыщение графита серной кислотой определяется (второе допущение) со-

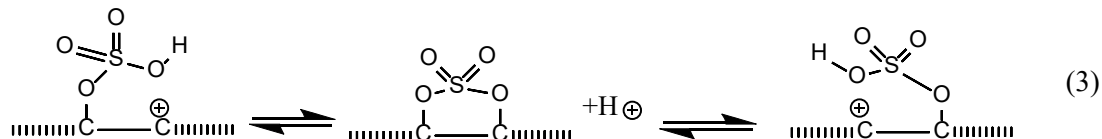
хранением ароматического характера в молекулярных структурах графита. Имеется в виду следующее. Присоединение одной-двух молекул серной кислоты к двойным связям графита не может сильно изменить ароматический характер молекулы графита, которая может быть представлена комбинацией бесчисленного количества путей ароматического сопряжения, причем эта комбинация постоянно меняется. Это будет продолжаться до тех пор, пока количество двойных связей, присоединивших серную кислоту, относительно невелико. По мере присоединения все большего количества кислоты возможность образовывать ароматические структуры будет сокращаться из-за того, что ароматические структуры будут разделены местами присоединения кислоты. Чем больше присоединится кислоты, тем меньше будет размер ароматических фрагментов, пока не дойдет до некоторых критических для данных условий (концентрация и сила кислоты, температура, окислитель и др. условия) состояний, в котором реакция (1) остановится. Это и будет определять число « n » в $\text{HC}_n\text{-OSO}_3\text{H}$.

Если предположить, что первой стадией интеркаляции является окисление графита, а не присоединение кислоты к двойной связи графита, то это не повлияет на наш конечный вывод. Тогда при первичном окислении графита будет образовываться катион радикал $^+\text{C}_n$. Если в присутствии избытка окислителя катион-радикал претерпевает дальнейшее окисление, то конечным продуктом реакции интеркаляции будет $\text{ZC}_n\text{-OSO}_3\text{H}$, где $\text{Z} = \text{OH}$, OSO_3H или другая функциональная группа (атом), химическое строение которой зависит от условий проведения реакции окисления. Если окисление катион-радикала не происходит, то он может сохраняться в таком виде при невысоких температурах. Известная формула бисульфата графита, $\text{C}_{24}^+\text{HSO}_4^- \cdot 2\text{H}_2\text{SO}_4$, полученная многими авторами, отражает этот факт. Устойчивость катион-радикалов, центрированных на углероде, сильно зависит от возможности делокализации неспаренного электрона и катиона. В обоих случаях такая делокализация происходит лучше всего на ароматических фрагментах.

По мере протекания интеркаляции ароматические фрагменты уменьшаются в размерах. Логично предположить, что происходит упорядочение этих фрагментов благодаря возможности миграции присоединенных остатков сильной кислоты по причине обратимости реакции (1). Некоторые фрагменты Z также могут мигрировать, например:



В реакции (2) вместо гидроксила могут легко участвовать эфиры кислород-содержащих кислот, такие как нитраты и сульфаты:

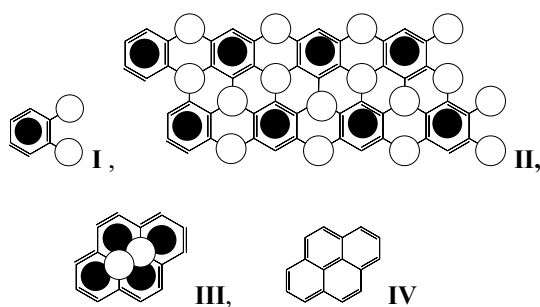


Миграция Z при Z = F или Cl, вероятно, затруднена, что приведет к образованию неупорядоченных структур в интеркаляте, если в качестве окислителя использовался фторирующий или хлорирующий окислитель. Действительно, многие авторы наблюдали ступенчатость в протекании реакции интеркалирования, как отмечалось во введении.

Таким образом, при глубоких степенях интеркаляции должны образовываться устойчивые структуры, которые, во-первых, состоят из ароматических фрагментов в сочетании с фрагментами окисления. Геометрия этих структур, во-вторых, позволяет собрать их в бесконечную бездефектную плоскость. Попробуем разобраться с такими структурами, используя известное правило Хюккеля для ароматичности.

Результаты исследования и их обсуждение

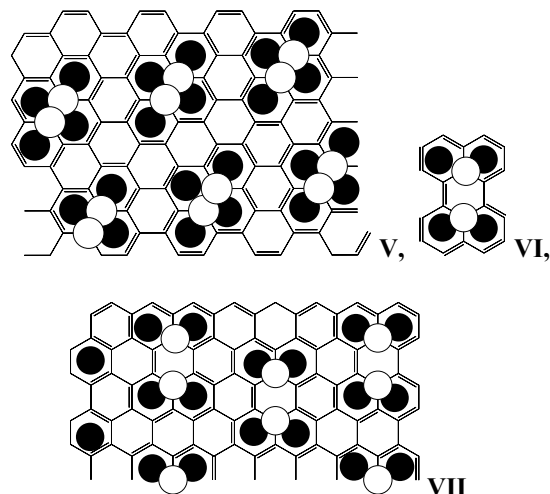
Самой малой структурой, удовлетворяющей обоим условиям, является **I** ($\text{ZC}_6\text{-OSO}_3\text{H}$), представляющим собой бензол (C_6) в соединении с $\equiv \text{CZ}$ и/или $\equiv \text{C-OSO}_3\text{H}$.



Здесь и далее для большей визуализации светлыми кружками обозначены места присоединения Z и/или кислотного остатка A, а черными – ароматический фрагмент. Из **I** можно легко составить бесконечную плоскую молекулу **II**, в которой каждый ароматический фрагмент бензола окружен sp^3 -гибридизированными атомами углерода. Структура представляется пределом

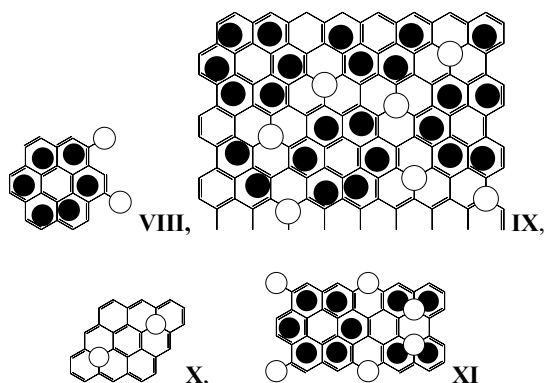
интеркаляции графита, поскольку дальнейшее присоединение функциональных групп Z и A приведет к образованию полностью окисленного графита (graphite oxide), не содержащего ароматических структур, и это окисление/интеркаляция становится необратимым.

По мере уменьшения степени интеркаляции (снижение концентрации кислоты HA, применение менее сильного окислителя и пр.) может образовываться структура **III**, $\text{ZC}_{16}\text{-OSO}_3\text{H}$, основанная на молекуле пирена **IV**, которая после присоединения HA образует ароматический [14] аннулен. Из нее тоже можно собрать бесконечную плоскость **V**. Сульфированный перилен, **VI**, дает бесконечную плоскость $\text{ZC}_{20}\text{-OSO}_3\text{H}$ (**VII**). Устойчивость ему придает ароматическая система [18] аннулена, которая образуется после присоединения HA.

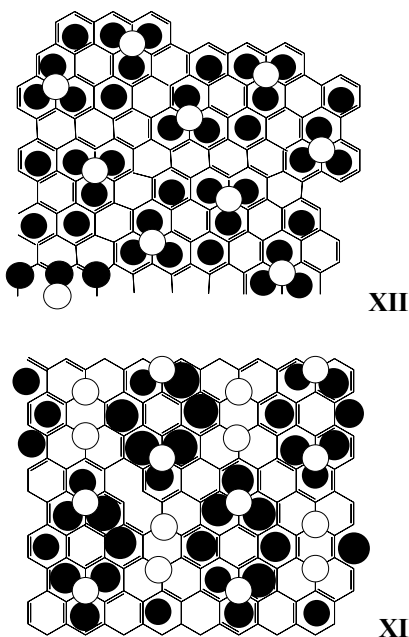


Дальнейшее снижение степени интеркаляции может привести к образованию структуры **VIII**, из которой можно построить бесконечную плоскость **IX** ($\text{ZC}_{26}\text{-OSO}_3\text{H}$). Основа **IX** – коронен, который иногда называют «супербензолом», поскольку его электронная система сопряжения состоит из двух ароматических систем, централь-

ного бензольного кольца и периферийного [22] аннулена. Еще большее соотношение углерод-кислота, $ZC_{30}\text{-OSO}_3\text{H}$, можно найти у фрагмента **X**, также способного образовывать бездефектную бесконечную плоскость.



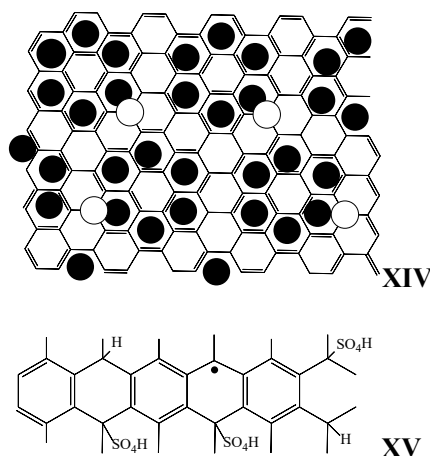
Некоторые смешанные структуры, например **XI** ($ZC_{16}\text{-OSO}_3\text{H}$), также способны образовывать бесконечную ароматическую плоскостную молекулу, удовлетворяющую второму допущению. Среди других вариаций строений сульфированного графита со смешанными структурами мы нашли **XII** и **XIII**.



Структура **XIII** также удовлетворяет формуле $ZC_{16}\text{-OSO}_3\text{H}$, полученной для структуры **III**. В случае образования при интеркаляции графита катион-радикалов, в найденных структурах катион и радикал могут располагаться на атомах обозначенных белыми кругами.

Какова же молекулярная структура бисульфата графита $C_{24}^+\text{HSO}_4^-\cdot 2\text{H}_2\text{SO}_4$? Если

эта формула корректна, то она может быть катион-радикалом коронена, поскольку графит можно представить в виде поликоронена **XIV**. Она же удовлетворяет структуре радикала **XV**, вариант структуры **I**. Как отмечалось в [1], формула $C_{24}^+\text{HSO}_4^-\cdot 2\text{H}_2\text{SO}_4$ примерная. С учетом неточностей определения брутто-формулы интеркалирования, ее можно записать как $C_{26}^+\text{HSO}_4^-\cdot 2\text{H}_2\text{SO}_4$, то структура сможет выглядеть как **VIII**. Получение структуры C_{26}^+ (**VIII**) зафиксировано при применении трифторсульфокислоты для интеркаляции графита [14].



На основании вышеприведенных рассуждений мы предполагаем, что при интеркаляции графита азотной кислотой формула $C_{4,3}^+\text{NO}_3^-$ ближе к истинной структуре, чем $C_{5,3}^+\text{NO}_3^-$ и должна быть записана как $C_8(\text{NO}_3)_2$ в соответствии со структурой **I** с небольшим включением неинтеркалированных доменов.

Полученные формулы выведены для идеального случая, когда использовался окислитель, недостаточный для окисления бензольного кольца, например пероксодисульфат, и при равномерном окислении каждого слоя графита.

Заключение

Предложено молекулярное строение графита, интеркалированного кислотами в равновесном состоянии. Молекулярная структура определяется разным соотношением между углеродом и кислотой при сохранении ароматичности составляющих ее доменов. Эти ароматические домены разделены между собой sp^3 -гибридизованными атомами углерода. В предельном состоянии (теоретически максимальная степень интеркаляции) интеркалят, способный к обратимости интеркалирования, состоит из бензольных колец, разделенных sp^3 -гибридизованными атомами углерода.

*Работа выполнена по теме Госзадания
№ 0082-2019-0003.*

Список литературы

1. Rudorff W., Hofmann U. Über Graphitsalze. Zeitschrift für Anorganische Allgemeine Chemie, 1938. Vol. 238. P. 1–50.
2. Ziatdinov A.M., Mischenko N.M., Nikolenko Yu.M. Phase transitions and incommensurate states in GIC C₅NHNO₃. Synthetic Materials. 1993. Vol. 59. No. 2. P. 253–258.
3. Touzain P. Orientation of nitric acid molecules in graphite nitrate. Synthetic Materials. 1979. Vol. 1. No. 1. P. 3–11.
4. Fischer J.E., Thompson T.E., Foley G.M.T. Optical and Electrical Properties of Graphite Intercalated with HNO₃. Phys. Rev. Lett. 1976. Vol. 37. No. 12. P. 769–772.
5. Avdeev V.V., Tverezovskaya O.A., Sorokina N.E. et al. Electrochemical study of the graphite – HNO₃ system. Inorganic Materials. 2000. Vol. 36. No. 3. P. 214–218.
6. Clinard C., Tchoubar D., Tchoubar C. et al. Structure par diffraction des electrons et des rayons X, de la phase β de l'acide nitrique insere dans HOPG (2ème STADE). Synthetic Materials. 1983. Vol. 7. No. 3–4. P. 333–336.
7. Fuzellier H., Lelaurain M., Mareche J.F. The graphite nitrate compounds: Graphite-N₂O₅ system. Synthetic Materials. 1989. Vol. 34. No. 1–3. P. 115–120.
8. Никольская И.В., Фадеева (Сорокина) Н.Е., Семенов К.Н., Авдеев В.В., Монакина Л.А. К вопросу об образовании бисульфата графита в системах, содержащих графит, H₂SO₄ и окислитель // Журнал общей химии. 1989. Т. 59. № 12. С. 2653–2659.
9. Юрковский И.М., Малей Л.С., Кучинская Т.К., Сичева В.А. Изменение кристаллической структуры природных графитов при взаимодействии с серной кислотой // Химия твердого топлива. 1985. № 6. С. 141–144.
10. Зиятдинов А.М., Зеленский Ю.В., Уминский А.А., Ипполитов Е.Г. Синтез и исследование интеркалированных кислородосодержащих соединений графита // Журнал неорганической химии. 1985. Т. 30. № 7. С. 1658.
11. Kagan H.B. Graphite Intercalation. CHEMTECH. 1976. Vol. 6. No. 8. P. 510–515.
12. Kosynkin D.V., Higginbotham A.M., Sinitskii A., Lomeda J.R. et al. Longitudinal unzipping of carbon nanotubes to form graphene nanoribbons. Nature. 2009. Vol. 458. No. 7240. P. 872–876.
13. Цветников А.К., Назаренко Т.Ю., Матвеев Л.А., Мищенко Н.М. Влияние стадии интеркалирования на состав и свойства оксидов графита. ЖНХ. 1997. Т. 42. № 5. С. 705–710.
14. Horn D., Boehm H.P. Graphite trifluoromethanesulfonate, C₂₆+CF₃SO₃–1.63 CF₃SO₃H. Mat. Sci. Eng. 1977. Vol. 31. P. 87–89.

КИНЕТИКА ИЗМЕНЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ПРОДУКТОВ РАДИОЛИЗА БЫТОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД В ПРИСУТСТВИИ НАНО- γ - Al_2O_3 ПОД ДЕЙСТВИЕМ γ -ИЗЛУЧЕНИЯ

Курбанов М.А., Мамедова Н.Т., Кулиева У.А.

Институт радиационных проблем НАНА, Баку, e-mail: m_gurbanov@mail.ru

В данной работе исследована кинетика изменения концентрации токсичных компонентов радиолитических бытовых сточных вод нефтеперерабатывающего завода имени Г. Алиева в присутствии нано- γ - Al_2O_3 . Следили за образованием фенолов, синтетических поверхностно-активных веществ (СПАВ), химическим потреблением кислорода (ХПК) и общим содержанием нефтепродуктов. В изученном интервале поглощенной дозы степени превращения параметров находятся в пределах 73–95%, причем более сильному изменению подвергаются фенолы и синтетические поверхностно-активные вещества. Кроме того, более сильное уменьшение параметров наблюдается в области ~7,8 кГр дозы. Для получения дополнительной информации проводилось также УФ-спектрометрическое исследование облученных образцов в диапазоне 200–400 нм. УФ-спектрометрические исследования показали, что повышение поглощенной дозы приводит к уменьшению УФ-поглощения (Abs) в области 200–210 нм. Обсужден механизм наблюдаемых закономерностей, включающий радиационно-химические процессы, протекающие в жидкой фазе, и участие электронно-донорных центров в разложении адсорбированных молекул и адсорбции продуктов радиолитического разложения на поверхности нано- γ - Al_2O_3 . Роль нано- γ - Al_2O_3 при радиолитическом разложении бытовых сточных вод заключается в участии электронно-донорных центров и адсорбции продуктов превращения компонентов сточных вод под действием γ -излучения.

Ключевые слова: бытовая сточная вода, радиолитическое разложение, нано- γ - Al_2O_3 , СПАВ, фенолы, нефть и нефтепродукты

KINETICS OF CHANGES IN THE CONCENTRATION OF RADIOLYSIS PRODUCTS OF DOMESTIC WASTEWATER IN THE PRESENCE OF NANO- γ - Al_2O_3 BY THE γ -RADIATION

Kurbanov M.A., Mamedova N.T., Gulieva U.A.

Institute of Radiation Problems of ANAS, Baku, e-mail: m_gurbanov@mail.ru

The kinetics of the concentration changes of toxic components of the domestic wastewater radiolysis from an oil refinery named after H. Aliyev in the presence of nano- γ - Al_2O_3 was studied in this work. Followed the formation of phenols, surfactants, COD and the total content of oil products. In the studied range of the absorbed dose, the transformation degree of the parameters is in the range of 73–95%, and phenols and surfactants undergo a stronger change. In addition, a stronger decrease in parameters is observed in the ~7.8 kGy dose region. To obtain additional information, UV-spectrometric studies of irradiated samples were also carried out in the range of 200–400 nm. UV spectrometric studies have shown that increasing the absorbed dose leads to a decrease in UV absorption (Abs) in the region of 200–210 nm. The mechanism of the observed patterns, including radiation-chemical processes occurring in the liquid phase, the participation of electron-donor centers in the decay of adsorbed molecules and adsorption of radiolysis products on the surface of nano- γ - Al_2O_3 was discussed. The role of nano- γ - Al_2O_3 in the radiolysis of domestic wastewater is the participation of electron-donor centers and the adsorption of transformation products of wastewater components under the γ -irradiation.

Keywords: domestic wastewater, radiolysis, nano- γ - Al_2O_3 , surfactants, phenols, oil and oil products

Состав бытовых сточных вод очень сложен, так как они содержат в себе ~99% воды вместе с органическими и неорганическими веществами. Эти вещества или примеси включают в себя взвешенные, коллоидные и растворенные компоненты.

Радиационная очистка и биодеструкция, как методы «зеленой химии», использовались для очистки воды от нефти и нефтепродуктов. Для полной очистки воды от нефтепродуктов с исходной концентрацией 150 мг/л необходимая доза составляет ≥ 25 кГр [1].

Поиск новых эффективных способов очистки промышленных сточных вод от химических загрязнителей является актуальной задачей. Преимущество радиационного метода для очистки воды по сравнению с другими методами заключается, прежде

всего, в комплексном воздействии излучения. Одновременно с разложением основного загрязнения происходит радиолитическое разложение всех сопутствующих соединений, ускоряются коагуляция и седиментация, устраняются цветность и запах, снижаются величины химического потребления кислорода (ХПК) и биологического потребления кислорода (БПК), происходит дезинфекция воды [2–4].

Повышение выходов разложения адсорбированных молекул на наноокислы и селективной адсорбции процессов в отношении продуктов радиационного разложения изучено во многих работах [5–7]. Было установлено, что гетерогенный радиолитический разложение воды в присутствии нано- γ - Al_2O_3 приводит к значительному выходу водорода, причем эффект зависит от размеров наночастиц и отношения воды и нано- γ - Al_2O_3 [5].

Наблюдаемые закономерности объяснены каталитическим эффектом с участием неравновесных носителей (электронов и дырок) и селективной адсорбцией продуктов превращения, например, фенола, как двухатомных фенолов – пирокатехин, гидрохинон и резорцин. Эксперименты проводились с модельными системами, представляющими собой гетерогенную систему $\text{нано-}\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3\text{+фенол}$ [7].

В работе [7] установлено, что двухатомные фенолы хорошо адсорбируются на поверхности как нано-TiO_2 , так и $\text{нано-Al}_2\text{O}_3$. Установлено, что адсорбция гидрохинона на TiO_2 составляет 14 %, пирокатехина 61 %, гидроксигидрохинона 95 %. Аналогичные величины наблюдаются также для $\text{-Al}_2\text{O}_3$, которые составляют 12, 41, 94 % соответственно для гидрохинона, пирокатехина и гидроксигидрохинона.

Представляет интерес излучение радиолиза реальных многокомпонентных систем, таких как бытовые сточные воды, в присутствии $\text{нано-}\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$.

В данной работе исследованы закономерности расходования исходных компонентов путем изучения кинетики изменения концентрации продуктов радиолиза бытовых сточных вод в присутствии $\text{нано-}\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ и УФ-спектров образцов облученных при разных поглощенных дозах.

Целью данной работы является изучение кинетики изменения концентрации продуктов радиолиза бытовых сточных вод в присутствии $\text{нано-}\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ при разных поглощенных дозах.

Материалы и методы исследования

В опытах использованы $\text{нано-}\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ с размером наночастиц 50 нм с удельной поверхности $S = 262,09 \text{ м}^2/\text{г}$, производства фирмы «USA Skyspring Nanomaterials». Используются образцы бытовых сточных вод НПЗ имени Г. Алиева. В 70 мл бытовых сточных вод добавили 0,1 г $\text{нано-}\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$. Подготовленные образцы облучали на γ установке Co^{60} мощностью дозы 0,1–0,2 Гр/с, в интервале поглощенной дозы 0,3–55 кГр в статических условиях в стеклянных ампулах объемом 110 мл.

Образцы жидкой фазы анализировали в УФ-спектрофотометре VARIAN SCAN-50 (UV-Visible Spectrophotometer) в кювете объемом 4 мл, толщиной 1 см.

Концентрации органических компонентов (СПАВ [8], фенолы [9], общее содержание нефти [10] и нефтяных продуктов [11], общая концентрация органических веществ) анализировали по стандартным методикам.

Результаты исследования и их обсуждение

Продукты радиолиза гетерогенных систем «бытовая сточная вода + $\text{нано-}\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ » анализировали по стандартным методикам и следили за изменением концентрации СПАВ, фенолов, общего содержания органических продуктов (ХПК) и фенолов. Состав компонентов в исходных образцах приведен в табл. 1.

Таблица 1

Концентрация органических компонентов в исходных образцах бытовых вод

Компоненты	Концентрация
СПАВ	0,254 мг/л
Фенолы	0,123 мг/л
Общее содержание нефти и нефтепродуктов	15,2 мг/л
ХПК	3,14 мг/О л

В дальнейшем образцы гетерогенных систем «бытовая вода + $\text{нано-}\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ » подвергались воздействию γ -излучения при разных поглощенных дозах (0,3–55 кГр). На рис. 1 представлены кинетики изменения вышеуказанных параметров в зависимости от поглощенной дозы.

Как видно, с ростом поглощенной дозы ХПК уменьшается от 3,14 до 0,86 мг/л, общее содержание нефтепродуктов от 15,2 до 2,05 мг/л, концентрация СПАВ от 0,254 до 0,012 мг/л, фенолов от 0,123 до 0,009 мг/л. Степени уменьшения составляли соответственно 73, 86, 95, 92 % для ХПК, общего содержания нефтепродуктов, СПАВ и фенолов.

Как видно, в изученном интервале поглощенной дозы степени превращения параметров находятся в пределах 73–95 %, причем более сильному изменению подвергаются фенолы и СПАВ. Кроме того, более сильное уменьшение параметров наблюдается в области ~7,8 кГр дозы.

Для получения дополнительной информации проводилось, также УФ-спектрометрическое исследование облученных образцов в диапазоне 200–400 нм. На рис. 2 представлены изменения Abs поглощения при разных поглощенных дозах 0,3–55 кГр.

Как видно из рис. 2, в спектрах наблюдаются изменения Abs с ростом поглощенной дозы. С ростом дозы до ~55,4 кГр Abs уменьшается от ~3,1 до ~2,15.

Как видно из рис. 2, только в исходном образце бытовой сточной воды наблюдаются мелкие пики в области 200–230 нм.

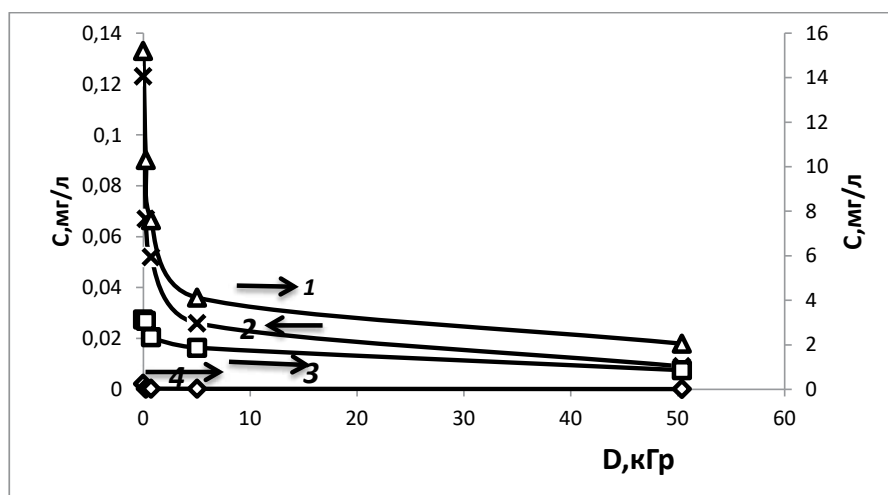


Рис. 1. Изменения концентрации нефти и нефтепродуктов, фенолов и СПАВ и ХПК в зависимости от поглощенной дозы ($P = 0,1-0,2$ Гр/с)
1 – нефть и нефтепродукты Δ ; 2 – фенолы $\times$; 3 – ХПК $\square$; 4 – СПАВ $\diamond$

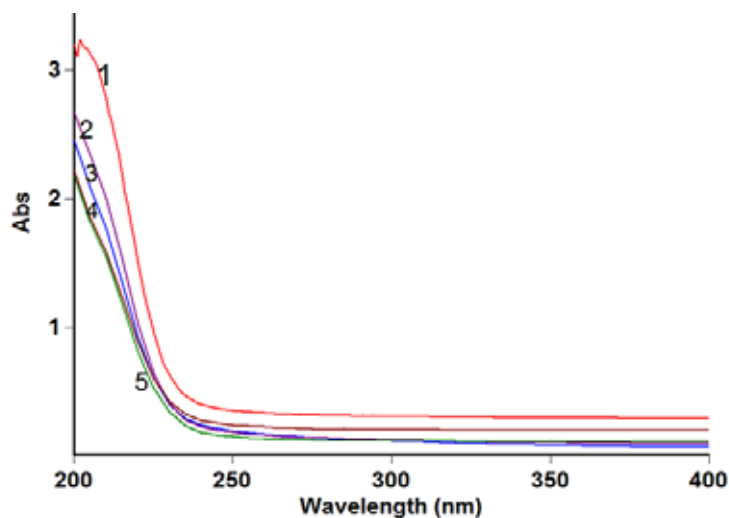
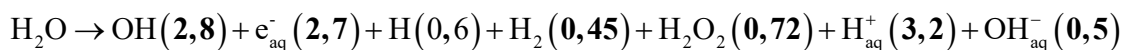


Рис. 2. Изменения Abs поглощения образцов бытовых сточных вод при разных поглощенных дозах: 1 – исходный, 2 – 0,3 кГр, 3 – 0,8 кГр, 4 – 5,5 кГр, 5 – 55,4 кГр ($P = 0,1-0,2$ Гр/с)

Кроме того, при облучении исходных образцов при $\lambda = 200-210$ нм наблюдаются пики, связанные с поглощением присутствующих органических компонентов в среде. С ростом дозы они исчезают в этой области длин волн. Это объясняется тем, что бытовые сточные воды поддаются полному разрушению, так как все примеси, содержащиеся в воде, имеют органическую природу [12]. Из спектров видно также смещение начала поглощения в область коротких волн (от ~ 240 нм до ~ 220 нм).

Бытовые сточные воды представляют собой сложную смесь органических и неорганических примесей, но из-за преобладающей концентрации воды γ -излучение поглощается в основном ее молекулами, что приводит к образованию таких активных частиц, как атомы водорода, гидроксильные радикалы и гидратированные электроны [3, 4]. Кроме того, в качестве молекулярного продукта образуются перекись водорода и молекулярный кислород.



В скобках указаны значения радиационно-химических выходов молекул/100 эВ.

Таблица 2

Концентрация неорганических ионов
в исходном образце бытовых вод

Неорганические ионы	Концентрация
Карбонат-ион, CO_3^{2-}	0 мг/л
Ион гидрокарбоната HCO_3^-	307,44 мг/л
Гидроксильный ион, OH^-	0 мг/л
Ион хлора, Cl^-	248,826 мг/л
Шероховатость, $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$	7,7368 мг экв/л
Ион кальция, Ca^{2+}	79 мг/л
Ион магния, Mg^{2+}	46,048 мг/л
Сульфат-ион, SO_4^{2-}	208,7192 мг/л
K^++Na^+ ионы	199,134 мг/л

Образующиеся активные частицы реагируют с молекулами органических примесей и неорганическими ионами, такими как CO_3^{2-} , HCO_3^- , OH^- , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$, SO_4^{2-} и ионы K^++Na^+ , концентрация которых в исходном образце представлена в табл. 2.

Некоторые возможные реакции вышеуказанных активных частиц с органическими молекулами представлены в табл. 3.

Как видно, активные частицы радиолиза воды эффективно реагируют с молекулами фенолов и СПАВ [13, 14]. Кроме того, следует учесть также реакции растворенного кислорода с электронами и атомами водорода:

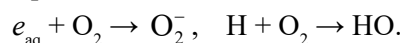


Таблица 3

Реакции активных частиц с возможными органическими молекулами

Реакции	Константы скорости, $\text{л} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$	Литература
$\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}+\text{OH} = \text{o-НОС}_6\text{H}_5\text{OH}$	$1,6 \times 10^{10}$	[13]
$\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}+\text{OH} = \text{p-НОС}_6\text{H}_5\text{OH}$	$6,6 \times 10^9$	[13]
$\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}+e = \text{C}_6\text{H}_5\text{OH}^-$	2×10^7	[13]
$\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}+\text{H} = \text{C}_6\text{H}_6\text{OH}$	$1,7 \times 10^9$	[13]
$\text{СПАВ}+e_{\text{aq}} = \text{продукт}$	$3,1 \pm 0,4 \times 10^8$	[14]
$\text{C}_6\text{H}_{14}+\text{H} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{13}+\text{H}_2$	$1,5 \times 10^8$	[14]
$\text{C}_6\text{H}_{12}+\text{H} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{13}^\cdot$	6×10^7	[15]
$\text{C}_6\text{H}_6+\text{H} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_7^\cdot$	$1,8 \times 10^8$	[15]
$\text{ОН}+\text{Гидрохинон} = \text{Гидрохинон}-\text{ОН}$	$1,1 \times 10^{10}$	[16]
$\text{ОН}+\text{Пирокатехин} = \text{Гидрохинон}-\text{ОН}$	$5,2 \times 10^{10}$	[16]
$\text{Гидрохинон}-\text{ОН}+\text{H} = \text{Гидрохинон}+\text{H}_2\text{O}$	7×10^9	[16]
$\text{Пирокатехин}-\text{ОН}+\text{H} = \text{Пирокатехин}+\text{H}_2\text{O}$	7×10^9	[16]
$\text{Гидрохинон}+\text{H} = \text{Гидрохинон}-\text{H}$	$1,3 \times 10^9$	[16]
$\text{Пирокатехин}+\text{H} = \text{Пирокатехин}-\text{H}$	$1,3 \times 10^8$	[16]
$\text{Гидрохинон}-\text{H}+\text{ОН} = \text{Гидрохинон}+\text{H}_2\text{O}$	5×10^9	[16]
$\text{Пирокатехин}-\text{H}+\text{ОН} = \text{Пирокатехин}+\text{H}_2\text{O}$	5×10^{10}	[16]
$2\text{Гидрохинон}-\text{H} = \text{Дигидроксифенил}+2\text{H}_2\text{O}$	1×10^4	[16]
$\text{Пирокатехин}-\text{H} = \text{Дигидроксифенил}+2\text{H}_2\text{O}$	1×10^4	[16]
$\text{Гидрохинон}-\text{ОН}+\text{ОН} = \text{o-хинон}+2\text{H}_2\text{O}$	$1,3 \times 10^9$	[16]
$\text{Пирокатехин}-\text{ОН}+\text{ОН} = \text{o-хинон}+2\text{H}_2\text{O}$	$1,3 \times 10^9$	[16]
$\text{o-хинон}+\text{ОН} = \text{ОНОС}_6\text{H}_4\text{O}$	$1,2 \times 10^9$	[17]
$\text{o-хинон}+\text{H} = \text{НОС}_6\text{H}_4\text{O}$	$8,3 \times 10^9$	[17]
$\text{o-хинон}+e = \text{OC}_6\text{H}_4\text{O}^-$	$2,3 \times 10^{10}$	[17]
$\text{п-хинон}+\text{ОН} = \text{ОНОС}_6\text{H}_4\text{O}$	$1,2 \times 10^9$	[17]
$\text{п-хинон}+\text{H} = \text{НОС}_6\text{H}_4\text{O}$	$8,3 \times 10^9$	[17]
$\text{п-хинон}+e = \text{OC}_6\text{H}_4\text{O}^-$	$2,3 \times 10^{10}$	[17]
$\text{Гидрохинон}+\text{ОН} = \text{Гидрохинон}-\text{ОН}$	$1,1 \times 10^{10}$	[18]
$e+\text{НСООН} = \text{H}+\text{НСОО}^-$	$1,4 \times 10^8$	[18]
$\text{H}+\text{НСООН} = \text{H}_2+\text{СООН}$	$4,4 \times 10^5$	[18]
$\text{H}+\text{НООССООН} = (\text{НО})_2\text{ССООН}$	$3,3 \times 10^5$	[13, 19]
$e+\text{НООССООН} = (\text{НО})_2\text{ССООН}+\text{ОН}^-$	$2,5 \times 10^{10}$	[13, 19]

Дальнейшие реакции образующихся ионов кислорода и перекисного радикала с радикальными продуктами радиолитического разложения молекул органических примесей [15–17] приводят к окислению органических молекул [18, 19].

Добавка нано- γ - Al_2O_3 в сточные воды приводит к образованию суспензии в объеме и накоплению части окисла на дне ампулы. Поэтому система «бытовая сточная вода + нано- γ - Al_2O_3 » представляет собой гетерогенную систему, где верхняя часть содержит суспензии окисла в водной среде, а также часть нано- γ - Al_2O_3 , содержащая также компонентов сточных вод.

Облучение такой сложной системы приводит к прямому радиолитическому разложению неравновесных поверхностных центров на поверхности γ - Al_2O_3 и радиационно-стимулированной адсорбции продуктов.

Таким образом, роль нано- γ - Al_2O_3 при радиолитическом разложении бытовых сточных вод заключается в участии электронно-донорных центров и адсорбцией продуктов превращения компонентов сточных вод под действием γ -излучения. Но оценка вклада в радиационно-химических процессов при облучении сточных вод в присутствии нано- γ - Al_2O_3 требует дополнительных исследований.

Выводы

1. Установлено, что степени уменьшения составляли соответственно 73, 86, 95, 92 % для ХПК, общего содержания нефтепродуктов, СПАВ и фенола, причем более сильному изменению подвергаются изменения общего содержания нефтепродуктов и СПАВ.

2. Из полученных результатов с методом УФ-спектроскопии установили, что в сравнении с исходным образцом в облученных образцах с ростом дозы пики исчезают. Это объясняется тем, что бытовые воды поддаются полному разрушению, так как все примеси, содержащиеся в воде, имеют органическую природу.

3. Обсужден механизм протекающих радиационно-химических процессов с участием продуктов радиолитического разложения воды и молекул токсичных компонентов. Анализированы также возможные участие неравновесных зарядов разложения и адсорбции молекул токсичных компонентов.

Список литературы

1. Сафонов А.В., Трегубова В.Е., Подзорова Е.А. Разработка комплексного радиационно-микробиологического метода очистки воды от нефтепродуктов // Химия высоких энергий. 2015. Т. 49. № 2. С. 99–102.
2. Руководство по обеспечению качества питьевой воды (четвертое издание). Всемирная организация здравоохранения, 2017. 628 с.
3. Сидорова Л.П., Снигирева А.Н. Очистка сточных и промышленных вод. Екатеринбург, 2017. 127 с.
4. Карманов А.П., Полина И.Н. Технология очистки сточных вод: учебное пособие. Сыктывкар, 2015. 2017 с.
5. Mahmudov H.M., Kuliyeva U.A. and oth. Water radiolysis on the surface of Al_2O_3 nano-catalyst. European Journal of Analytical and Applied Chemistry. 2015. No. 2. P. 58–62.
6. Jafarov Y.D., Bashirova S.M., Aliyev S.M. The impact of mass and size effects on the water Radiolysis process in $\text{Si}+\text{H}_2\text{O}$ system. Journal of Radiation Research. 2015. Vol. 2. No. 2. P. 21–26.
7. Seino S., Yamamoto T., Hashimoto K. et al. Gamma-ray irradiation effect on aqueous phenol solution dispersing TiO_2 or Al_2O_3 nanoparticles. Rev. Adv. Mater. Sci. 2003. No. 4. P. 70–74.
8. СТБ ISO 8467-2009. Качество воды. Определение перманганатной окисляемости. М., 2011. 9 с.
9. СТБ ISO 7875-1:1996. Качество воды. Определение содержания поверхностно-активных веществ. М.: Стандартинформ, 2012. 20 с.
10. ГОСТ 51211-98. Методы определения содержания поверхностно-активных веществ. М., 2016. 8 с.
11. ISO 6439-1990. Water quality – Determination of phenol index – 4-Aminoantipyrine spectrometric methods after distillation. G., 1990. 9 p.
12. Доливо-Добровольский Л.Б. Микробиологические процессы очистки воды: учебное пособие. М.: Издательство Коммунального хозяйства РСФСР, 1958. 174 с.
13. Жесткова Т.П., Жукова Т.Н. Ингибирующий эффект кислорода при радиолитическом разложении щавелевой кислоты в водном растворе // Доклады Академии Наук. 2001. Т. 379. № 5. С. 635–637.
14. Chaychian M. Dissertation on chemistry. 2007-05-02. URL: <http://hdl.handle.net/1903/6916> (дата обращения: 14.10.2022).
15. Medvedev A.D., Ryabinskaya A.A. and oth. Characterization of electron donor sites on Al_2O_3 surface. Phys. Chem. Chem. Phys. 2012. No. 14. P. 2587–2598.
16. Гордеев А.В., Кабакчи С.А. и др. Математическая модель накопления и разложения молекулярных продуктов при радиолитическом разложении воды // Докл. АН СССР. 1987. № 6. С. 1388–1392.
17. Ибрагимова Л.Б., Шаталов О.П. Константы скорости реакций для исследования горения кислородно-водородных смесей с участием возбужденных атомов $\text{O}(1\text{D})$, $\text{O}(1\text{S})$ и молекул $\text{O}_2(\text{b}1\Sigma)$, $\text{O}_2(\text{a}1\Delta)$, $\text{OH}(\text{A}2\Sigma)$ // Физико-химическая кинетика в газовой динамике. 2013. Т. 14. Вып. 1. С. 1–13.
18. Петров Л.В., Соляников В.М. Каталитическое поглощение кислорода тройной системой эпоксид стирола – гидрохинон – хлорид меди (II) в водном трет-бутаноле // Химическая физика. 2020. Т. 39. № 1. С. 19–22.
19. Искендерова З.И., Курбанов М.А. Экспериментальное исследование и кинетическое моделирование разложения хлороформа в воде // Журнал физической химии. 2019. Т. 93. № 1. С. 95–98.