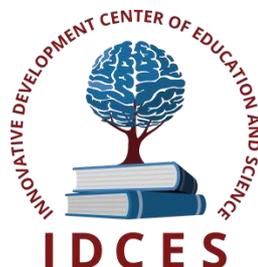


ИННОВАЦИОННЫЙ ЦЕНТР РАЗВИТИЯ ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
INNOVATIVE DEVELOPMENT CENTER OF EDUCATION AND SCIENCE



**Перспективы развития современных математических и
естественных наук**

Выпуск III

**Сборник научных трудов по итогам
международной научно-практической конференции
(11 декабря 2016г.)**

г. Воронеж

2016 г.

УДК 50(06)
ББК 2я43

Перспективы развития современных математических и естественных наук / Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. № 3. г. Воронеж, 2016г. 46 с.

Редакционная коллегия:

кандидат биологических наук Благодатнова Анастасия Геннадьевна (г. Новосибирск), кандидат биологических наук Войтка Дмитрий Владимирович (аг. Прилуки), кандидат физико-математических наук, доцент Казьмин Игорь Александрович (г. Ростов-на-Дону), кандидат физико-математических наук, доцент Кайракбаев Аят Крымович (г. Актобе), доктор физико-математических наук, профессор Каленский Александр Васильевич, кандидат биологических наук, доцент Корж Александр Павлович (г. Запорожье), кандидат физико-математических наук Лапушкин Георгий Иванович (г. Долгопрудный), доктор биологических наук Ларионов Максим Викторович (г. Балашов), доктор геолого-минералогических наук, профессор, академик РАН Лебедев Владимир Ильич (г. Кызыл), доктор биологических наук, профессор Лесовская Марина Игоревна (г. Красноярск), кандидат физико-математических наук, доцент Ловягин Юрий Никитич (г. Санкт-Петербург), кандидат физико-математических наук, член-корреспондент Американского института Аэронавтики и Астронавтики (АИАА) Лукин Александр Николаевич (г. Туапсе), кандидат биологических наук Малыгина Наталья Владимировна (г. Екатеринбург), кандидат физико-математических наук Матвеева Юлия Васильевна (г. Саратов), кандидат биологических наук Мошкина Светлана Владимировна (г. Орел), доктор химических наук, профессор Назарбекова Сауле Полатовна (г. Шымкент), доктор биологических наук, профессор Нурбаев Серик Долдашевич (г. Алматы), доктор биологических наук, профессор Околелова Алла Ароновна (г. Волгоград), кандидат физико-математических наук, доцент Седова Наталия Викторовна (г. Тамбов), кандидат биологических наук, профессор РАН Соловьева Анна Геннадьевна (г. Нижний Новгород), кандидат химических наук Туманов Владимир Евгеньевич (г. Черноголовка), кандидат физико-математических наук, доцент Чочиев Тимофей Захарович (г. Владикавказ), кандидат химических наук, профессор Шпейзер Григорий Моисеевич (г. Иркутск).

В сборнике научных трудов по итогам **III** Международной научно-практической конференции «**Перспективы развития современных математических и естественных наук**», г. **Воронеж** представлены научные статьи, тезисы, сообщения аспирантов, соискателей ученых степеней, научных сотрудников, докторантов, преподавателей ВУЗов, студентов, практикующих специалистов в области естественных и математических наук Российской Федерации, а также коллег из стран ближнего и дальнего зарубежья.

Авторы опубликованных материалов несут ответственность за подбор и точность приведенных фактов, цитат, статистических данных, не подлежащих открытой публикации. Мнение редакционной коллегии может не совпадать с мнением авторов. Материалы размещены в сборнике в авторской правке.

Сборник включен в национальную информационно-аналитическую систему "Российский индекс научного цитирования" (РИНЦ).

© ИЦРОН, 2016 г.
© Коллектив авторов

Оглавление

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.00.00)	9
МАТЕМАТИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.01.00)	9
СЕКЦИЯ №1. ВЕЩЕСТВЕННЫЙ, КОМПЛЕКСНЫЙ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.01.01)	9
СЕКЦИЯ №2. ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ, ДИНАМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.01.02)	9
СЕКЦИЯ №3. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.01.03)	9
ТЕПЛОПЕРЕНОС В ПОЛИДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМАХ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ*	
Кривенко И.В., Смирнова М.А.	9
СЕКЦИЯ №4. ГЕОМЕТРИЯ И ТОПОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.01.04)	12
СЕКЦИЯ №5. ТЕОРИЯ ВЕРОЯТНОСТЕЙ И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ СТАТИСТИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.01.05)	12
СЕКЦИЯ №6. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ЛОГИКА, АЛГЕБРА И ТЕОРИЯ ЧИСЕЛ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.01.06)	12
СЕКЦИЯ №7. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ МАТЕМАТИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.01.07)	13
СЕКЦИЯ №8. ДИСКРЕТНАЯ МАТЕМАТИКА И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ КИБЕРНЕТИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.01.09)	13
МЕХАНИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.02.00)	13
СЕКЦИЯ №9. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.02.01)	13
СЕКЦИЯ №10. МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.02.04)	13
СЕКЦИЯ №11. МЕХАНИКА ЖИДКОСТИ, ГАЗА И ПЛАЗМЫ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.02.05)	13
СЕКЦИЯ №12. ДИНАМИКА, ПРОЧНОСТЬ МАШИН, ПРИБОРОВ И АППАРАТУРЫ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.02.06)	13
ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ АКТИВНЫХ СИСТЕМ ВИБРОГАШЕНИЯ	
Платовских М.Ю.	13
СЕКЦИЯ №13. БИОМЕХАНИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.02.08)	17

АСТРОНОМИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.03.00)	17
СЕКЦИЯ №14.	
АСТРОМЕТРИЯ И НЕБЕСНАЯ МЕХАНИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.03.01)	18
СЕКЦИЯ №15.	
АСТРОФИЗИКА И ЗВЕЗДНАЯ АСТРОНОМИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.03.02)	18
СЕКЦИЯ №16.	
ФИЗИКА СОЛНЦА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.03.03)	18
СЕКЦИЯ №17.	
ПЛАНЕТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.03.04)	18
ФИЗИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.00)	18
СЕКЦИЯ №18.	
ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.01)	18
СЕКЦИЯ №19.	
ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.02)	18
СЕКЦИЯ №20.	
РАДИОФИЗИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.03)	18
СЕКЦИЯ №21.	
ФИЗИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.04)	18
СЕКЦИЯ №22.	
ОПТИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.05)	18
СЕКЦИЯ №23.	
АКУСТИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.06)	18
СЕКЦИЯ №24.	
ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.07)	18
КРИВАЯ НАМАГНИЧИВАНИЯ ДЛИННОГО ПЕРИОДИЧЕСКИ УПОРЯДОЧЕННОГО ДЖОЗЕФСОНОВСКОГО КОНТАКТА ПРИ БОЛЬШИХ ЗНАЧЕНИЯХ ПАРАМЕТРА ПИННИНГА Зеликман М.А.	19
ОСОБЕННОСТИ ХАРАКТЕРА МЕЖМОЛЕКУЛЯРНЫХ СИЛ В НЕЛИНЕЙНЫХ АЛКАНАХ* Неручев Ю.А., Радченко А.К.	22
СЕКЦИЯ №25.	
ФИЗИКА ПЛАЗМЫ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.08)	27
СЕКЦИЯ №26.	
ФИЗИКА НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.09)	27
СЕКЦИЯ №27.	
ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.10)	27
СЕКЦИЯ №28.	
ФИЗИКА МАГНИТНЫХ ЯВЛЕНИЙ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.11)	27
СЕКЦИЯ №29.	
ЭЛЕКТРОФИЗИКА, ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.13)	27

СЕКЦИЯ №30. ТЕПЛОФИЗИКА И ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.14)	27
СЕКЦИЯ №31. ФИЗИКА И ТЕХНОЛОГИЯ НАНОСТРУКТУР, АТОМНАЯ И МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.15)	27
СЕКЦИЯ №32. ФИЗИКА АТОМНОГО ЯДРА И ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.16)	27
СЕКЦИЯ №33. ХИМИЧЕСКАЯ ФИЗИКА, ГОРЕНИЕ И ВЗРЫВ, ФИЗИКА ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ ВЕЩЕСТВА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.17)	28
СЕКЦИЯ №34. КРИСТАЛЛОГРАФИЯ, ФИЗИКА КРИСТАЛЛОВ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.18)	28
СЕКЦИЯ №35. ФИЗИКА ПУЧКОВ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ И УСКОРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.20)	28
СЕКЦИЯ №36. ЛАЗЕРНАЯ ФИЗИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.21)	28
СЕКЦИЯ №37. ФИЗИКА ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.23)	28
ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.00)	28
СЕКЦИЯ №38. НЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.01)	28
СЕКЦИЯ №39. АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.02)	28
СЕКЦИЯ №40. ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.03)	28
СЕКЦИЯ №41. ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.04)	28
СЕКЦИЯ №42. ЭЛЕКТРОХИМИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.05)	28
СЕКЦИЯ №43. ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.06)	28
СЕКЦИЯ №44. ХИМИЯ ЭЛЕМЕНТООРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.08)	28
СЕКЦИЯ №45. ХИМИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.09)	29
СЕКЦИЯ №46. БИООРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.10)	29
СЕКЦИЯ №47. КОЛЛОИДНАЯ ХИМИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.11)	29

СЕКЦИЯ №48.	
БИОНЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.12)	29
СЕКЦИЯ №49.	
НЕФТЕХИМИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.13)	29
СЕКЦИЯ №50.	
РАДИОХИМИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.14)	29
СЕКЦИЯ №51.	
КИНЕТИКА И КАТАЛИЗ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.15)	29
СЕКЦИЯ №52.	
МЕДИЦИНСКАЯ ХИМИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.16)	29
СЕКЦИЯ №53.	
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ И КВАНТОВАЯ ХИМИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.17)	29
СЕКЦИЯ №54.	
ХИМИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.21)	29
БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.00.00)	29
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ БИОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.01.00)	29
СЕКЦИЯ №55.	
РАДИОБИОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.01.01)	29
СЕКЦИЯ №56.	
БИОФИЗИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.01.02)	29
СЕКЦИЯ №57.	
МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.01.03)	30
СЕКЦИЯ №58.	
БИОХИМИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.01.04)	30
МОЛЕКУЛЯРНЫЕ СВОЙСТВА ПЕРВОГО КИСЛОРОД-РЕДУКТАЗНОГО НАТРИЕВОГО НАСОСА *	
Мунтян М.С. ¹ , Морозов Д.А. ¹ , Овчинникова Т.В. ²	30
СЕКЦИЯ №59.	
ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ РАСТЕНИЙ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.01.05)	33
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ САХАРОВ И ИНВЕРТАЗНОЙ АКТИВНОСТИ В ФОРМИРУЮЩЕМСЯ КОРНЕПЛОДЕ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ	
Лунькова Н.Ф., Бурмистрова Н.А., Красавина М.С.....	33
СЕКЦИЯ №60.	
БИОТЕХНОЛОГИЯ (В ТОМ ЧИСЛЕ БИОНАНОТЕХНОЛОГИИ) (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.01.06)	36
СЕКЦИЯ №61.	
МОЛЕКУЛЯРНАЯ ГЕНЕТИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.01.07)	36
СЕКЦИЯ №62.	
БИОИНЖЕНЕРИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.01.08)	36
СЕКЦИЯ №63.	
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ БИОЛОГИЯ, БИОИНФОРМАТИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.01.09)	36

ОБЩАЯ БИОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.02.00)	36
СЕКЦИЯ №64.	
БОТАНИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.02.01)	36
СЕКЦИЯ №65.	
ВИРУСОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.02.02)	36
СЕКЦИЯ №66.	
МИКРОБИОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.02.03)	37
СЕКЦИЯ №67.	
ЗООЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.02.04)	37
СЕКЦИЯ №68.	
ЭНТОМОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.02.05)	37
СЕКЦИЯ №69.	
ИХТИОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.02.06)	37
СЕКЦИЯ №70.	
ГЕНЕТИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.02.07)	37
СЕКЦИЯ №71.	
ЭКОЛОГИЯ (ПО ОТРАСЛЯМ) (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.02.08)	37
СОДЕРЖАНИЕ СИНИЛЬНОЙ КИСЛОТЫ И ЕЕ ПРОИЗВОДНЫХ В НЕКОТОРЫХ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТАХ Лескова О.А., Лесков А.П.	37
СЕКЦИЯ №72.	
БИОГЕОХИМИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.02.09)	39
СЕКЦИЯ №73.	
ГИДРОБИОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.02.10)	39
СЕКЦИЯ №74.	
ПАРАЗИТОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.02.11)	39
СЕКЦИЯ №75.	
МИКОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.02.12)	39
СЕКЦИЯ №76.	
ПОЧВОВЕДЕНИЕ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.02.13)	39
СЕКЦИЯ №77.	
БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.02.14)	39
ФИЗИОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.03.00)	39
СЕКЦИЯ №78.	
ФИЗИОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.03.01)	40
СЕКЦИЯ №79.	
АНТРОПОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.03.02)	40
СЕКЦИЯ №80.	
ИММУНОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.03.03)	40
МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МАКРОФАГОВ РАЗЛИЧНЫХ ФРАКЦИЙ В КУЛЬТУРЕ Поздина В.А. ¹ , Ульянова А.Н. ² , Луговец Д.В. ^{2,3} , Улитко М.В. ^{2,3} , Данилова И.Г. ^{1,3}	40
СЕКЦИЯ №81.	
КЛЕТОЧНАЯ БИОЛОГИЯ, ЦИТОЛОГИЯ, ГИСТОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.03.04)	42

СЕКЦИЯ №82.	
БИОЛОГИЯ РАЗВИТИЯ, ЭМБРИОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.03.05)	42
СЕКЦИЯ №83.	
НЕЙРОБИОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.03.06)	42
ГЕОГРАФИЯ	42
СЕКЦИЯ №84.	
ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ И БИОГЕОГРАФИЯ, ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ И ГЕОХИМИЯ ЛАНДШАФТОВ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 25.00.23)	42
СЕКЦИЯ №85.	
ЭКОНОМИЧЕСКАЯ, СОЦИАЛЬНАЯ, ПОЛИТИЧЕСКАЯ И РЕКРЕАЦИОННАЯ ГЕОГРАФИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 25.00.24)	42
СЕКЦИЯ №86.	
ГЕОМОРФОЛОГИЯ И ЭВОЛЮЦИОННАЯ ГЕОГРАФИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 25.00.25)	42
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	43
СЕКЦИЯ №87.	
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ	43
ГЕОЛОГИЯ	43
СЕКЦИЯ №88.	
РАЗВИТИЕ ГЕОЛОГИИ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ	43
ПЛАН КОНФЕРЕНЦИЙ НА 2017 ГОД	44

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.00.00)

МАТЕМАТИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.01.00)

СЕКЦИЯ №1.

ВЕЩЕСТВЕННЫЙ, КОМПЛЕКСНЫЙ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.01.01)

СЕКЦИЯ №2.

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ, ДИНАМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.01.02)

СЕКЦИЯ №3.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.01.03)

ТЕПЛОПЕРЕНОС В ПОЛИДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМАХ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ*

Кривенко И.В., Смирнова М.А.

ФГБОУ ВО Тверской государственный технический университет, г. Тверь

При воздействии электромагнитного излучения на дисперсную систему частицы поглощают энергию, происходит их разогрев, сопровождающийся различными физико-химическими процессами (испарением, фотофоретическим движением и др.).

В рамках самой простой модели рассматриваются парные взаимодействия частиц. Поглощенная энергия, выделяющаяся при этом в виде тепла в единице объема частицы в единицу времени представляет собой тепловой источник, инициированный электромагнитным излучением. Плотность источников тепла в любой точке внутри частицы пропорциональна квадрату амплитуды электрического вектора. Распределение напряженности поглощенного электрического поля может быть найдено из решения электродинамических уравнений Максвелла. Постановка такой задачи ранее была рассмотрена в работе [5].

Для учета влияния соседней частицы, внешнее по отношению к первой частице поле \vec{E}_j представляется в виде

$$\vec{E}_j = \vec{E} + \vec{E}_k^s, \quad (1)$$

где \vec{E} - электрический вектор плоской монохроматической электромагнитной волны, \vec{E}_k^s - световой вектор волны, рассеянной на соседней частице. Используя теорию Ми взаимодействия электромагнитного поля с одиночной поглощающей сферической частицей, можно представить векторы электромагнитного поля \vec{E} и \vec{H} через электрический U и магнитный V потенциалы Дебая [1]. Далее полученные выражения представляются в виде разложений по собственным сферическим функциям j -ой сферы. Такое преобразование выполняется с использованием методов теории представления групп [2].

Совместное использование теорий Ми и представления групп позволяет определить напряженности электрического и магнитного полей в любой точке для указанной модели [3]. Радиусы и состав частиц могут быть различными.

На основе полученных выражений проведен расчет распределения температуры внутри системы сферических дисперсных частиц. Тепловой источник q_j определяется на основе решения электродинамической задачи [4].

Были проведены расчеты иницированного электромагнитным излучением распределения плотности источников тепла для различных ориентаций системы частиц по отношению к световому вектору падающего электромагнитного излучения. Были рассмотрены, в частности, системы водных капель и частицы углерода в воздухе.

Из расчетов следует, что среднее значение плотности источников тепла существенно зависит от расположения системы двух частиц относительно волнового вектора и вектора напряженности электрического поля иницирующего источника лазерного излучения.

В качестве примера приведем расчет распределения квадрата амплитуды светового вектора $|\vec{E}|^2$ по сечению одной из пары одинаковых частиц углерода от полярной координаты φ для различных радиусов в выбранном сечении частицы. Радиусы частиц 0,06 мкм, длина волны падающего электромагнитного излучения 0,6328 мкм, комплексный показатель преломления углерода $1.96 + i0.82$. На рисунке 1 представлены такие диаграммы для параллельного расположения линии, соединяющей центры частиц и волнового вектора падающего плоского монохроматического излучения \vec{k} . При этом световой вектор \vec{E} направлен по линии центров. Рассматриваемое сечение частицы проходит через центр сферы перпендикулярно \vec{E} .

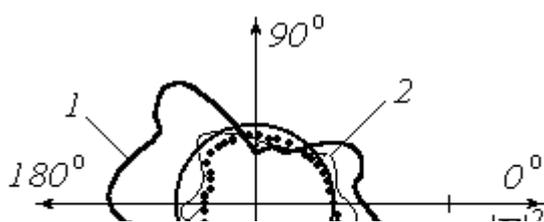


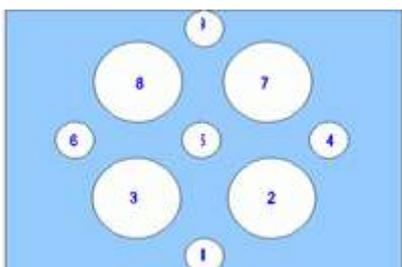
Рисунок 1. Диаграммы характеризующие распределение квадрата амплитуды светового вектора от полярной координаты φ .

Кривые (1), (2), (3), (4) построены соответственно для радиальных координат выбранного сечения $0.9R_1$, $0.8R_1$, $0.7R_1$, $0.1R_1$. Здесь R_1 – радиус частицы. Расстояние между центрами частиц 3,6 мкм.

Приведем описание вычислительных экспериментов, проведенных с помощью разработанной программы, основные результаты этих экспериментов и анализ полученных результатов. Методом конечных элементов исследовался процесс теплопереноса в дисперсных системах, различных по составу, конфигурации и размерам. Выбирались модельные схемы, размеры частиц в которых достаточно реальны для дисперсных систем (в частности, для аэрозолей).

Рассматривались частицы сферической формы, что позволило рассчитать коллективные эффекты, оценить зависимость температуры в системе от размера частицы и т.д., однако разработанная программа позволяет проводить расчеты для частиц произвольной формы.

Проводился расчет температуры в каждом узле системы, представляющей собой прямоугольную площадку (90 на 70 мкм) с размещенными на ней сферическими частицами радиуса 5 и 10 мкм, моделирующую полидисперсную систему.



Количество частиц варьировалось от одной до девяти, варьировалось также расположение частиц на площадке. Нумерация частиц для полидисперсной системы приведена на рис. 2.

Основные результаты исследования процесса теплопереноса в дисперсных системах с однородными по составу частицами опубликованы в работе [5]. Проводились расчеты температуры для систем, содержащих частицы различных веществ.

Расчеты проводились для конфигураций систем, содержащих 9 частиц. Конфигурации систем приведены в таблице 1, а характерные результаты расчетов для неоднородной полидисперсной системы приведены на рис. 4, 5.

Таблица 1. Конфигурации системы

Номер конфигурации системы	Номера частиц воды	Номера частиц железобетона	Номера частиц сажи
1	2,3,7,8	1,4,5,6,9	-
2	1,4,5,6,9	2,3,7,8	-
3	1,2,4,7	3,5,6,8,9	-
4	3,4,6,7	1,2,5,8,9	-
5	2,3,5,6,9	1,4,7,8	-
6	2,3,7,8	-	1,4,5,6,9
7	1,4,5,6,9	-	2,3,7,8
8	1,2,4,7	-	3,5,6,8,9
9	3,4,6,7	-	1,2,5,8,9
10	2,3,5,6,9	-	1,4,7,8
11	-	2,3,7,8	1,4,5,6,9
12	-	1,4,5,6,9	2,3,7,8
13	-	3,5,6,8,9	1,2,4,7
14	-	1,4,7,8	2,3,5,6,9
15	-	1,2,3,6,7,9	4,5,8

Из приведенных диаграмм следует, что присутствие частиц, различных по размерам и своим теплофизическим свойствам приводит к увеличению неоднородности температуры в системе, причем при линейной зависимости источника от температуры проявляются нелинейные эффекты, а при нелинейной зависимости – эти эффекты усиливаются.

В полидисперсной системе существенное влияние на температуру оказывает присутствие более крупных частиц. Для таких систем также была произведена оценка коллективных эффектов.

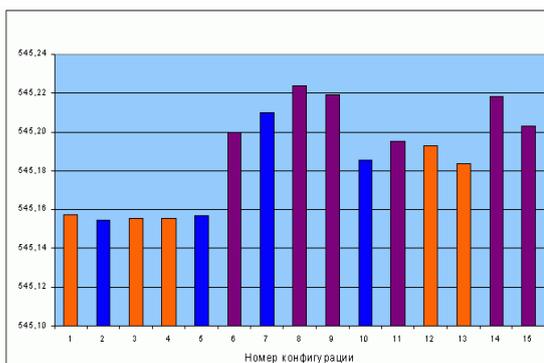


Рисунок 3. Температура в частице № 5 для различных конфигураций системы

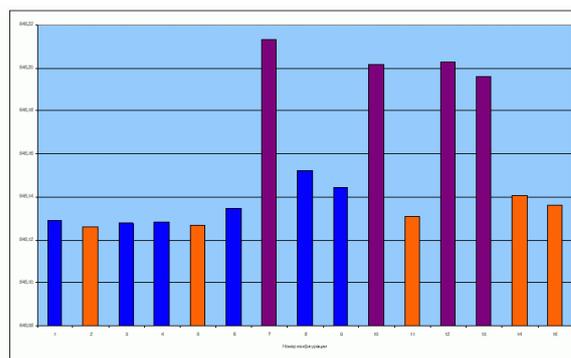


Рисунок 4. Температура в частице № 7 для различных конфигураций системы

При граничных условиях третьего рода на внешней границе системы (открытая система) влияние коллективных эффектов может изменять температуру в 1,5 и более раз. Оно тем больше, чем система более неоднородна (по размеру частиц и составу).

**Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 15-01-08073).*

Список литературы

1. Борн, М. Основы оптики/ М. Борн, Э. Вольф - М.: Наука, 1970. - 850 с.
2. Виленкин Н.Я. Специальные функции и теория представления групп - М.: Наука, 1956. - 588 с.
3. Гамаюнов, Н.И. Особенности распространения электромагнитного излучения и инициированного им теплопереноса в системе аэрозольные частицы-окружающая среда/ Н.И. Гамаюнов, И.В. Кривенко, Л.А. Уварова, Ю.З. Бондарев //ЖФХ.1997.Т.71. 1№ 2. С.2270-2274.
4. Пришивалко А.П. Оптические и тепловые поля внутри светорассеивающих частиц - Мн.: Наука и техника, 1983. -190 с.
5. Uvarova, L.A. Electromagnetic Waves Propagation and Heat Transfer in the Aerosol Containing Spherical and Cylindrical Particles Systems Modeling/ L.A. Uvarova, I.V. Krivenko, A.F. Ivannikov, M.A. Smirnova / in book: Mathematical Models of Non-linear Phenomena, Processes and Systems: From Molecular Scale to Planetary Atmosphere. - NY: Nova Science Publishers, Inc, 2013. С. 261-276.

СЕКЦИЯ №4.

ГЕОМЕТРИЯ И ТОПОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.01.04)

СЕКЦИЯ №5.

ТЕОРИЯ ВЕРОЯТНОСТЕЙ И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ СТАТИСТИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.01.05)

СЕКЦИЯ №6.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ЛОГИКА, АЛГЕБРА И ТЕОРИЯ ЧИСЕЛ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.01.06)

**СЕКЦИЯ №7.
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ МАТЕМАТИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.01.07)**

**СЕКЦИЯ №8.
ДИСКРЕТНАЯ МАТЕМАТИКА И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ КИБЕРНЕТИКА
(СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.01.09)**

МЕХАНИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.02.00)

**СЕКЦИЯ №9.
ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.02.01)**

**СЕКЦИЯ №10.
МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА
(СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.02.04)**

**СЕКЦИЯ №11.
МЕХАНИКА ЖИДКОСТИ, ГАЗА И ПЛАЗМЫ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.02.05)**

**СЕКЦИЯ №12.
ДИНАМИКА, ПРОЧНОСТЬ МАШИН, ПРИБОРОВ И АППАРАТУРЫ
(СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.02.06)**

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ АКТИВНЫХ СИСТЕМ ВИБРОГАШЕНИЯ

Платовских М.Ю.

Санкт-Петербургский горный университет

В данном докладе анализируются вредные последствия воздействия вибрации на человека. Отмечается, что применение пассивных средств борьбы с вибрацией в ряде случаев оказывается недостаточно эффективным. В последнее время получили широкое распространение активные виброзащитные системы. В докладе на примере достаточно простых моделей исследуется динамика и эффективность таких систем.

Ключевые слова: вибрационная болезнь, виброзащитная система (ВЗС), активная ВЗС, электродинамический вибратор.

Вибрация относится к вредным факторам, обладающим высокой биологической активностью, и оказывает вредное влияние на здоровье людей. Под действием вибрации происходит расстройство костно-суставного аппарата и деятельности некоторых органов человека, что проявляется в форме вибрационной болезни. Особенно вредное воздействие вибраций проявляется при резонировании внешних возмущающих воздействий с различными органами и системами организма человека. Воздействие вибрации на человека

столь широко и имеет такие негативные последствия, что это послужило основанием для выделения около 100 лет назад вибрационной болезни в качестве самостоятельного заболевания. Симптомы вибрационной болезни многообразны и проявляются в нарушении работы сердечно-сосудистой и нервной систем, поражении мышечных тканей и суставов, нарушении функций опорно-двигательного аппарата.

Наиболее эффективным способом борьбы с вибрацией является уменьшение переменных сил в источниках и цепях передачи энергии (двигателях внутреннего сгорания, зубчатых передачах, электродвигателях и т.п.). Но, естественно, при проектировании источников решающим является выполнение основной функциональной задачи - обеспечения передачи энергии от источника к приемнику с максимальным к.п.д. при обязательном выполнении требований к прочностным и ресурсным характеристикам. Виброактивность при этом часто отступает на второй план. Отсюда следует и ограниченность такого пути борьбы с вибрацией.

Для защиты технических и биологических объектов от вибрационного возбуждения в области низких частот в настоящее время разработано огромное количество виброзащитных систем (ВЗС), основанных на использовании широкого спектра амортизаторов. Такие ВЗС получили название пассивных. Однако их применение во многих случаях оказывается малоэффективным, например, при защите объектов от меняющихся во времени вибрационных спектров.

В последнее время нашли применение автоматизированные виброзащитные системы, получившие название активных (АВЗС) [1,2]. В общем случае управление такими системами может быть реализовано на принципе компенсации возмущения, компенсации отклонения регулируемой величины, либо на комбинации обоих этих методов.

Опыт создания активных систем виброгашения показал, что наиболее перспективными в смысле полноты воспроизведения переменных усилий, сравнительной простоты реализации и управления, отсутствия чувствительности к негативным факторам окружающей среды являются электродинамические ВЗС, в которых в качестве исполнительного устройства служит электродинамический вибратор [3].

В активных ВЗС для создания управляющего воздействия (управления) необходима информация о характере возмущений, его частотном и амплитудном составе. Роль источников этой информации выполняют электрические преобразователи вибраций, выступающие здесь как преобразователи параметров движения (силы, ускорения, перемещения) в электрические сигналы (напряжение, ток). Электрические сигналы как управляющие воздействия должны быть пропорциональны возмущающей силе $Q(t)$. При изменении частоты и амплитуды внешнего воздействия частота и амплитуда тока (напряжения) должны изменяться аналогичным образом.

активное сопротивление обмотки управления; U – напряжение на обмотке подвижной катушки. В соответствии с законом Ампера, $F(i) = Bli$. Применяя преобразование Лапласа у системе (1) ($x \Rightarrow \bar{x}$, $i \Rightarrow \bar{i}$, $\bar{q} = \frac{1}{m_1} \bar{Q}$), получим силу, передаваемую на фундамент (через упругий элемент c_1 и демпфер b_1):

$$\bar{R}_\phi = (b_1 p + c_1) \bar{x}_1.$$

Эту силу сравним с аналогичной силой, передаваемой на фундамент в пассивной системе (рисунок 3):

$$\bar{R}_{\phi 0} = (b_1 p + c_1) \bar{x}_1 = \left(\frac{b_1 p + c_1}{p^2 + p \beta_1 + \lambda_1^2 + \lambda_{12}^2} \right) \bar{q}.$$

Показатель, определяющий эффективность применения активной системы по отношению к пассивной – коэффициент активной виброизоляции γ :

$$\gamma = \frac{\bar{R}_\phi(p)}{\bar{R}_{\phi 0}(p)}.$$

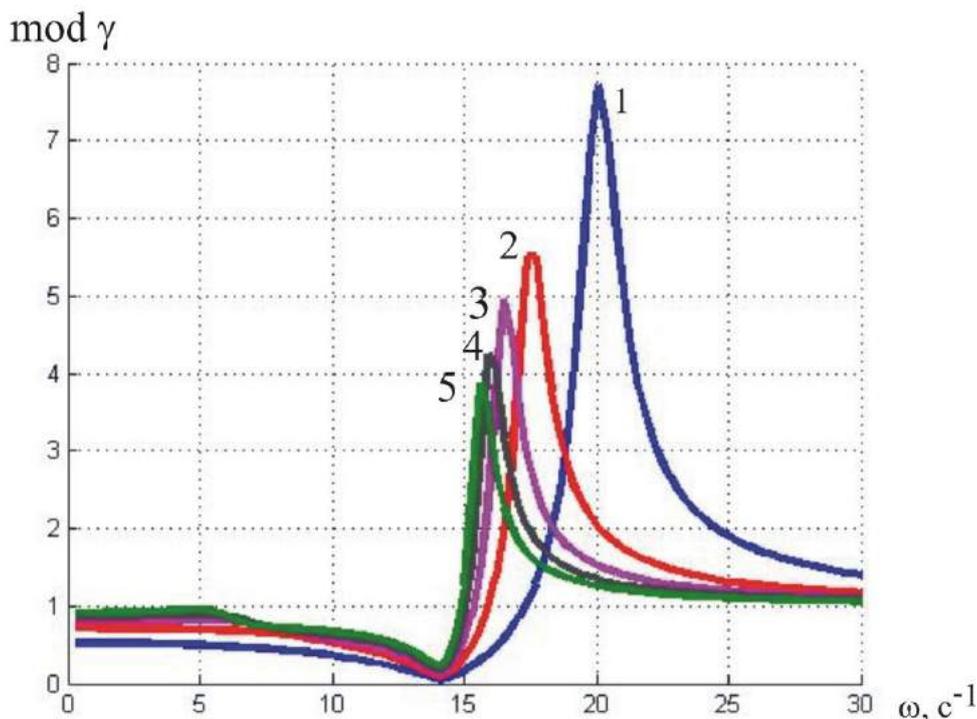


Рисунок 3. Кривые зависимости коэффициента γ от частоты ω , построенные для различных значений массы m_2 : кривая 1 – $m_2=10$ кг, 2 – 20 кг, 3 – 30 кг, 4 – 40 кг, 5 – 50 кг.

Подставляя теперь $p = i \cdot \omega$ ($i = \sqrt{-1}$), (ω – частота колебаний), получим частотную зависимость для коэффициента виброизоляции. На рисунке 3 построены зависимости $\text{mod}(\gamma(\omega))$ в зависимости от частоты.

Исследование устойчивости данной системы проведено с помощью критерия Гурвица. Численно построенные области устойчивости, приведены на рисунке 4.

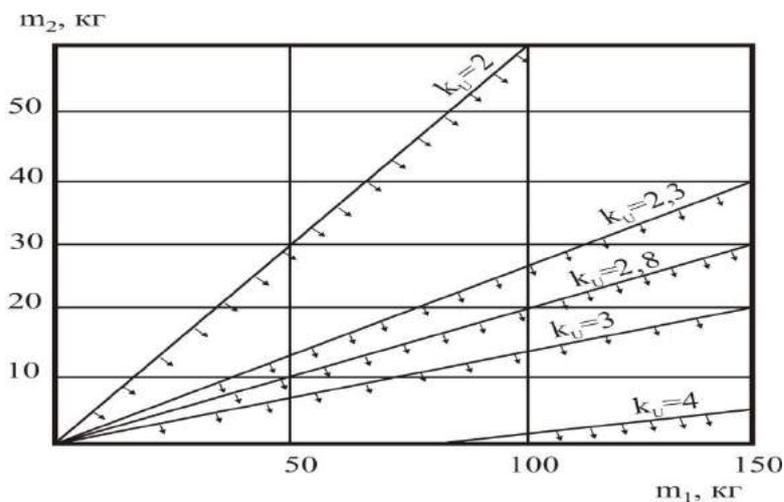


Рисунок 4. Области устойчивости системы (расположены между осью абсцисс и соответствующей верхней границей) при различных значениях коэффициента усиления k_U . Значения остальных параметров те же, что и на рисунке 3. При $k_U > 4,2$ система неустойчива.

Из проведенных расчетов видно, что АВЗС, соответствующая рассматриваемой модели, в значительной мере эффективна (до $\gamma \approx 8$) и устойчива в диапазоне частот $15 \div 25 \text{ с}^{-1}$.

Полученные результаты могут быть использованы при проектировании систем виброзащиты в условиях воздействия широкополосной нестационарной вибрации: сидений водителей автотранспорта, рабочих мест операторов горно-добывающих комбайнов и пилотов самолетов.

Список литературы

1. Коловский М.З. Автоматическое управление виброзащитными системами. М.: Наука. 1976.
2. Генкин М.Д., Русаков А.И., Яблонский В.В. Электродинамические вибраторы. М.: Машиностроение. 1975.
3. Генкин М.Д., Елезов В.Г., Яблонский В.В., Фридман Э.Л. Развитие методов виброгашения. Сб. "Методы виброизоляции машин и присоединенных конструкций". М. Наука. 1975.
4. Генкин М.Д., Елезов В.Г., Яблонский В.В. Методы активного гашения вибраций механизмов. Сб. "Динамика и акустика машин". М. Наука. 1971.
5. Фролов К.В., Фурман Ф.А. Прикладная теория виброзащитных систем. М. Машиностроение. 1980.

СЕКЦИЯ №13.

БИОМЕХАНИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.02.08)

АСТРОНОМИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.03.00)

**СЕКЦИЯ №14.
АСТРОМЕТРИЯ И НЕБЕСНАЯ МЕХАНИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.03.01)**

**СЕКЦИЯ №15.
АСТРОФИЗИКА И ЗВЕЗДНАЯ АСТРОНОМИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.03.02)**

**СЕКЦИЯ №16.
ФИЗИКА СОЛНЦА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.03.03)**

**СЕКЦИЯ №17.
ПЛАНЕТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.03.04)**

ФИЗИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.00)

**СЕКЦИЯ №18.
ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ
(СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.01)**

**СЕКЦИЯ №19.
ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.02)**

**СЕКЦИЯ №20.
РАДИОФИЗИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.03)**

**СЕКЦИЯ №21.
ФИЗИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.04)**

**СЕКЦИЯ №22.
ОПТИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.05)**

**СЕКЦИЯ №23.
АКУСТИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.06)**

**СЕКЦИЯ №24.
ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.07)**

КРИВАЯ НАМАГНИЧИВАНИЯ ДЛИННОГО ПЕРИОДИЧЕСКИ УПОРЯДОЧЕННОГО ДЖОЗЕФСОНОВСКОГО КОНТАКТА ПРИ БОЛЬШИХ ЗНАЧЕНИЯХ ПАРАМЕТРА ПИННИНГА

Зеликман М.А.

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет Петра Великого
г. Санкт-Петербург

В последние годы внимание теоретиков и экспериментаторов привлекает проблема проникновения магнитного поля в длинный периодически модулированный джозефсоновский контакт. С одной стороны, это связано с интересом к искусственным структурам такого типа [1], на которых могут быть проверены теоретические предсказания. С другой стороны, эта задача представляет собой модель, которой свойственны все процессы, имеющие место в сверхпроводящих образцах: выталкивание магнитного поля, возникновение вихрей, их пиннинг и все связанные с этим феномены, в частности, проникновение в контакт внешнего магнитного поля. Математически же эта задача существенно проще аналогичной задачи для трехмерного сверхпроводника.

В работах [2,3] рассчитаны распределения фаз, токов и магнитного поля в таком контакте при адиабатическом включении внешнего магнитного поля H_e . При достаточно малых значениях H_e у границы контакта возникает мейсснеровская конфигурация. При этом магнитное поле, созданное приграничными токами, полностью компенсирует внешнее поле в глубине контакта. В работе [2] показано, что такая ситуация имеет место до тех пор, пока внешнее поле не достигнет некоторого максимально возможного значения H_S , причем вплоть до этого значения поля мейсснеровское состояние является устойчивым. При полях, больших H_S , в контакт начинают проникать вихри.

В работах [3-6] показано, что характер вихревой картины зависит от величины так называемого параметра пиннинга I . При малых значениях I ситуация такая же, как при нулевом пиннинге, т.е. при превышении внешним полем некоторого значения $H_{max} > H_S$ вихри заполняют сразу весь контакт от его границы до бесконечности. При больших же значениях I вихри с ростом поля постепенно продвигаются от границы внутрь контакта, а магнитное поле в глубине контакта остается равным нулю. В работе [4] на базе подхода, развитого в нелинейной физике [5], показано, что существует критическое значение параметра пиннинга $I_C = 0.9716$, разделяющее эти два режима. При $I > I_C$ при любом внешнем поле может существовать приграничная токовая конфигурация конечной длины, обеспечивающая полную компенсацию поля внутри контакта вдали от границы.

В работах [3,6] профиль магнитного поля внутри контакта рассчитан на базе подхода, основанного на анализе непрерывного видоизменения конфигурации, протекающего в направлении уменьшения потенциала Гиббса. При изменении внешнего магнитного поля происходит непрерывная трансформация устанавливающегося распределения токов. При этом в каких-то участках конфигурации токи убывают, в каких-то возрастают, т.е. вихри не ведут себя как заталкиваемые полем внутрь жесткие частицы, а как бы "втекают" внутрь контакта. Предложенный алгоритм позволяет найти ту конфигурацию, в которую

переходит мейсснеровское состояние при малом превышении внешним полем значения H_S , и проследить ее развитие при дальнейшем увеличении поля. Компьютерный численный расчет [3] показал, что существует критическое значение параметра пиннинга I_C в интервале 0.95-1.00, разделяющее два возможных режима проникновения в контакт магнитного поля. Этот результат находится в полном согласии с предсказаниями [4].

При $I > I_C$ [3] при любом значении внешнего поля H_e возникает приграничная токовая структура конечной длины, полностью компенсирующая внешнее поле в глубине контакта. Если же $I < I_C$, то такая приграничная структура может существовать лишь до значения внешнего поля $H_{\max}(I)$. При $H_e > H_{\max}$ поле проникает в среду на бесконечную глубину. Этот случай подробно исследован в работе [6]. В частности, детально анализируется полученная при монотонном увеличении внешнего магнитного поля основная кривая намагничивания длинного контакта. Однако использованный метод дает возможность анализа ситуации и при дальнейшем уменьшении магнитного поля, а также при его циклическом изменении

Сначала увеличиваем внешнее магнитное поле H_e . До значения поля H_S реализуется мейсснеровское решение. Далее, при $H_S < H_e < H_{\max}$, возникает приграничная последовательность вихрей, полностью компенсирующая внешнее поле в глубине контакта. При $H_e > H_{\max}$ вихри проникают в контакт на всю его глубину. Дойдя до некоторого значения поля H_a , начнем отслеживать развитие ситуации при его уменьшении. Далее, дойдя до значения $(-H_a)$, начнем увеличивать поле. Таким способом будет исследован весь цикл.

В [7] рассчитана петля гистерезиса для намагниченности такого контакта при циклическом изменении внешнего магнитного поля для случая $I = 0.9 < I_C$. Целью настоящей работы является расчет кривой намагничивания и исследование гистерезиса в длинном контакте при циклическом изменении магнитного поля для случая $I > I_C$. Введем обозначение $h = H / H_0$, где $H_0 = \Phi_0 / \mu_0 S$ напряженность внешнего поля, при котором через каждую ячейку площадью S проходит один квант магнитного потока Φ_0 .

Теперь рассмотрим значения $I > I_C$, а именно $I = 1.2$ ($h_S = 0,377$).

Компьютерные расчеты полностью подтвердили возможность использования предложенного алгоритма для расчета проникновения поля в контакт. Расчет при любом значении внешнего поля h (которое является постоянным параметром на каждом этапе расчета) приводит к приграничной конфигурации конечной длины. Глубина проникновения увеличивается с ростом параметра h .

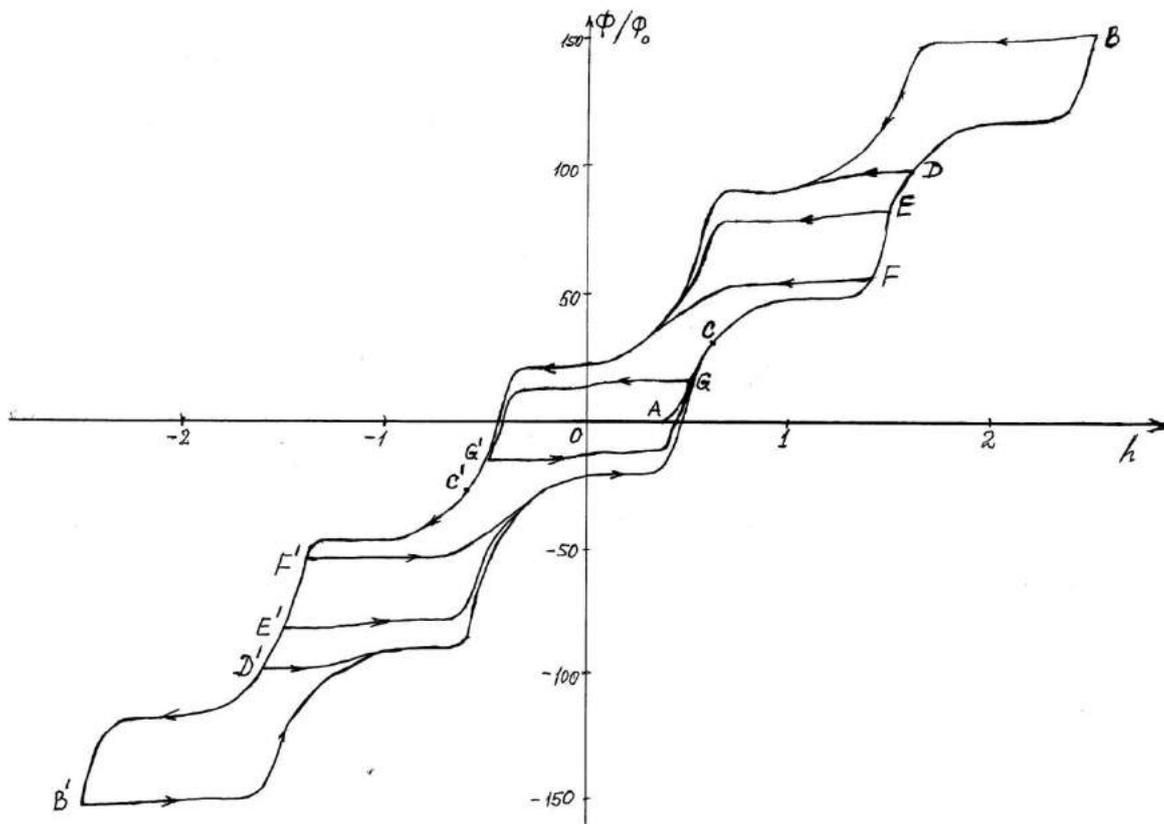


Рис.1. Зависимость нормированного магнитного потока через контакт от внешнего поля.

На рис.1 приведена полученная зависимость величины нормированного на Φ_0 магнитного потока через контакт от внешнего поля h . При монотонном увеличении внешнего поля от нуля получаем “основную” кривую, совпадающую с осью абсцисс до точки A. Для построения петли гистерезиса сделаем разворот в точке B ($h = 2.5$) и начнем уменьшать напряженность внешнего поля. В точке C' ($h = -0.6$) распределение скачков фазы в точности совпадает с распределением в точке C ($h = 0.6$), отличаясь лишь знаком. Это значит, что дальнейший ход кривой от C' будет повторять ее форму от C до C' и завершится в точке C. Полученная петля $C-B-C'-B'-C$ повторяется при периодическом изменении h с амплитудой 2.5. Будем называть ее универсальной.

Если разворот производить в точке D ($h = 1.6$), то выход на универсальную петлю происходит при $h \approx 1$, а далее движение происходит уже по ней. Аналогично ведут себя кривые при развороте в точках E и F. Отметим, что точное совпадение этих кривых с универсальной петлей происходит только при значениях $h \approx 0.20-0.25$.

Особо отметим кривую, начинающуюся в точке G. Она везде проходит ниже универсальной петли, не сливаясь с ней. Однако в ее крайней левой точке ($h = -0.5$) распределение скачков фазы в точности совпадает с их распределением в правой точке ($h = 0.5$), что позволяет достроить петлю симметричным образом.

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы.

1) Универсальная кривая обладает периодичностью по обеим осям: по внешнему полю период равен 1, а по магнитному потоку период зависит от размеров контакта.

2) Участки обратного хода универсальной петли представляют собой перевернутые и направленные в противоположную сторону участки прямого хода. Иными словами, верхняя часть петли симметрична нижней относительно начала координат.

3) При любых значениях h_a части петель, соответствующие увеличению h в первом квадранте (и симметричные им), лежат на универсальной кривой (за исключением петель с амплитудой h_a меньше или примерно равной h_s).

4) Части петель, соответствующие убыванию h в первом и втором квадрантах (и симметричные им), проходят ниже универсальной петли, причем степень отклонения растет с ростом параметра пиннинга I .

5) Вершины петель лежат на основной кривой. Главное отличие от случая малых значений параметра пиннинга ($I < I_C$), рассмотренного в [7], заключается в пункте 4. При величинах I , незначительно превышающих I_C , все петли, за исключением коротких участков на их концах, лежат на универсальной кривой, аналогично тому, как это происходит при $I < I_C$ [7]. Но с ростом I отклонения от нее заметно растут.

Список литературы

- [1] Golubov A.A., Serpuchenko I.L., Ustinov A.V. // Sov. Phys. JETP. 1988. Vol. 67. P. 1256.
- [2] Зеликман М.А. // ЖТФ. 2007. Т. 77. Вып. 10. С. 68–74.
- [3] Зеликман М.А. // ЖТФ. 2009. Т. 79. Вып. 2. С. 36–42.
- [4] Dorogovtzev S.N., Samuhin A.N. // Europhys. Lett. 1994. Vol. 25. P. 693–698.
- [5] Заславский Г.М., Сагдеев Р.З. Введение в нелинейную физику. М.: Наука, 1988.
- [6] Зеликман М.А. // ЖТФ. 2009. Т. 79. Вып. 12. С. 19–25.
- [7] Зеликман М.А. // ЖТФ. 2015. Т. 85. Вып. 9. С. 39–44.

ОСОБЕННОСТИ ХАРАКТЕРА МЕЖМОЛЕКУЛЯРНЫХ СИЛ В НЕЛИНЕЙНЫХ АЛКАНАХ*

Неручев Ю.А., Радченко А.К.

ФГБОУ ВО «Курский государственный университет» Россия, г. Курск

В данной работе представлены результаты исследований особенностей характера межмолекулярных сил и структуры жидкого 2-метилпентана. Это один из изомеров гексана, жидкая фаза которого занимает широкий температурный интервал, значительно превосходящий интервал такого же по химическому составу линейного n -гексана [1].

Существующие проблемы физики жидкости привлекают внимание многих исследователей. Это связано с тем, что понимание механизмов взаимодействия частиц и особенностей структуры жидкости может служить основой как для оптимизации физико-химических процессов, связанных с производством синтетических материалов, так и для лучшего понимания условий существования и нормального функционирования биологических систем.

Для анализа характера межмолекулярных сил и особенностей структуры данного углеводорода нами использованы имеющиеся в научной литературе экспериментальные данные о плотности, теплоемкости,

давлении насыщенных паров и собственные экспериментальные данные о скорости звука для широкой области температур, включающей критическую область.

Уравнение (1), полученное ранее для «идеальной» конденсированной системы [2, 3]

$$T \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_V = \frac{|E_p|}{V} + \frac{NkT}{V}, \quad (1)$$

связывает полное давление в конденсированной системе с плотностью энергии межмолекулярных сил и плотностью потока импульсов частиц. Оно не содержит эмпирические константы и в силу этого позволяет изучать особенности межмолекулярных сил и характер структуры конденсированных сред с атом-атомным механизмом взаимодействия [4] по данным об их теплофизических свойствах.

Многолетние исследования жидких углеводородов и их галогенозамещенных на кривой равновесия жидкость-пар в широкой области параметров состояния, включающей критическую область, выполненные в лаборатории молекулярной акустики КГУ [5-9], приводят к выводу о том, что в жидкой фазе углеводородов доминируют дисперсионные силы притяжения, энергия которых пропорциональна квадрату плотности. Кроме того, для описания наблюдаемой в них ассоциации частиц принята во внимание необходимость существования дополнительных дальнедействующих сил связи кулоновского вида. При этом условии возможно количественное описание теплофизических свойств жидкой и паровой фаз углеводородов на всей кривой равновесия. Константы B и b , характеризующие энергию дисперсионных сил и сил связи, определяются по данным о критических параметрах углеводородов с помощью формул

$$T_{кр} \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_V^{кр} = B \rho_{кр}^3 + \frac{RT_{кр}}{M} \rho_{кр} \quad b = \frac{RT_{кр}}{2M \rho_{кр}^{1/3}} \quad (2)$$

Эти формулы непосредственно следуют из уравнения (1) и условия распада димерных комплексов ($\varepsilon = kT_{кр}$), интенсивный распад которых определяет характерные особенности критического перехода жидкость-пар.

В предположении о том, что характер межмолекулярных сил в разветвленных и нормальных алканах одинаков, по формулам (2) были рассчитаны константы B и b для 2-метилпентана. Для расчетов использованы данные о его критических параметрах [10]. Эти константы позволяют получить кроссоверное соотношение, описывающее свойства жидкой и паровой фаз в критической области

$$T \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_V = B \rho^3 + \delta b \rho^{4/3} + \frac{1 + \delta}{2} \frac{RT}{M} \rho \quad (3)$$

Величина степени диссоциации частиц δ жидкой и паровой фаз тесно связанная с параметром порядка η

$$\eta = 1 - 2\delta = \pm A(T_k - T)^{1/3}$$

определялась соотношениями

$$\delta_l = 0,5 - 0,32 \cdot (T_k - T)^{0,33} \quad \delta_v = 0,5 + 0,32 \cdot (T_k - T)^{0,33}.$$

Рассчитанные значения термического коэффициента давления обеих фаз для критической области 2-метилпентана приведены на рис 1. Там же представлены его термодинамические значения. Полное согласие

приведенных на графике величин $\left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_V$ указывает на физическую реалистичность принятых

представлений, в соответствие с которыми ассоциация частиц жидкости и пара связана с дальнодействующими силами связи.

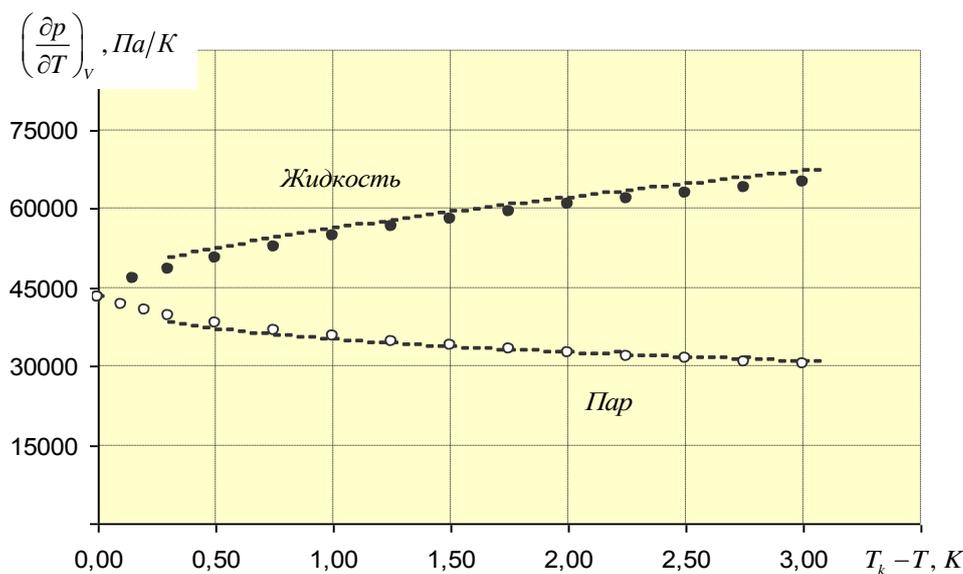


Рис. 1. Температурная зависимость термического коэффициента давления жидкой и паровой фаз 2-метилпентана вблизи критической точки.

Анализ зависимости теплофизических свойств жидкой и паровой фаз 2-метилпентана от параметров состояния приводят к выводу о том, что как в других углеводородах, в жидкой фазе доминирующий вклад в энергию межмолекулярных сил вносят дисперсионные силы притяжения, энергия которых пропорциональна квадрату плотности. Энергия же дальнодействующих сил связи практически полностью компенсируется энергией сил отталкивания. Существующие в них димерные комплексы как самостоятельные центры масс в предкритической области, где мала плотность жидкости. В узкой критической области, шириной 2-3 градуса димеры интенсивно распадаются. С этим, как мы полагаем, связаны известные особенности свойств вещества в критической точке – стремление к бесконечности изотермической сжимаемости и изохорной теплоемкости. В паровой фазе, где расстояния между частицами значительны, доминируют дальнодействующие силы связи кулоновского вида. Связанная с ними энергия взаимодействия пропорциональна $\rho^{1/3}$.

Присутствие в углеводородах указанных выше сил – дисперсионных сил притяжения, дальнодействующих сил связи кулоновского вида и короткодействующих сил отталкивания дает возможность получить простое и достаточно точное соотношение, определяющее величину энергии межмолекулярных сил жидкой, и паровой фаз органических веществ [9]. Для жидкой фазы это соотношение имеет вид

$$|E_p| = B\rho^2 + b\rho^{1/3} \cdot [1 - (\rho/\rho_b)^v]. \quad (5)$$

Величина степени v зависит от степени n в потенциале сил отталкивания $v = (n-1)/3$. Для $n = 12$ $v = 11/3$. Для 2-метилпентана величины $B=0,789$, $b=3896$. Для н-гексана $B=0,810$, $b=3980,3$. Величина ρ_b представляет собой плотность, превышение которой приводит к необходимости учета энергии сил

отталкивания. Как показывают расчеты, в качестве ρ_b можно принять плотность жидкости при нормальной температуре кипения.

Таблица 1

T, K	$ E_p ,$ $\frac{\kappaДж}{кг}$	ΔE [10]	T, K	$ E_p ,$ $\frac{\kappaДж}{кг}$	ΔE [10]
120	451,7	460,1	230,0	372,5	367,9
130	444,0	449,9	240,0	365,6	360,7
140	436,4	440,3	250,0	358,7	353,6
150	429,0	431,2	260,0	351,7	346,5
160	421,7	422,4	270,0	344,7	339,3
170	414,5	414,0	280,0	337,6	332,2
180	407,4	405,8	290,0	330,5	325,0
190	400,3	397,9	300,0	323,3	317,8
200	393,4	390,2	310,0	316,0	310,4
210	386,4	382,6	320,0	308,6	302,9
220	379,5	375,2	330,0	301,1	295,2

Высокую степень реалистичности принятых представлений демонстрирует табл. 1 и табл. 2, в которых приведены значения энергии межмолекулярных сил для жидкой фазы 2-метилпентана и н-гексана, $|E_p|$, рассчитанные по формуле (5), и величины разности внутренних энергий ΔE жидкой и паровой фаз, представленные в [10] для широкой области параметров состояния. Во всей исследованной области от точек кристаллизации и до нормальных температур кипения наблюдается полное согласие представленных в таблице величин.

Таблица 2

T, K	$ E_p ,$ $\frac{\kappaДж}{кг}$	ΔE [10]	T, K	$ E_p ,$ $\frac{\kappaДж}{кг}$	ΔE [10]
183,15	402,0	420,9	273,15	367,8	355,3
193,15	410,8	413,4	283,15	359,8	348,1
203,15	408,0	405,9	293,15	351,4	340,9
213,15	404,3	398,6	303,15	342,5	333,5
223,15	399,8	391,3	313,15	333,3	326,0
233,15	394,6	384,0	323,15	323,7	318,4
243,15	388,8	376,8	333,15	313,9	310,7
253,15	382,3	369,7	343,15	303,8	302,7
263,15	375,3	362,5			

Необходимо заметить, что к аналогичным выводам при исследовании особенностей структуры и условий существования и функционирования ДНК пришли авторы работы [11], в которой обращено внимание на первостепенную роль дальнедействующих сил связи кулоновского вида, обеспечивающих существование двойной спирали ДНК. Физическую природу «кулоновских» сил связи в углеводородах

авторы [11] связывают с существованием особого вида межмолекулярных «несобственных» водородных сил связи. Это «водородные» С-Н...С-Н связи, обусловленные «переносом заряда» [11]. Они, в частности, обеспечивают димерную структуру бензола и других углеводородов. Присутствие дисперсионных сил также является необходимым условием для нормального функционирования механизма хранения и передачи генетической информации.

Как видим, гипотеза Менделеева о существовании «слабых» «химических» сил связи, принимается многими авторами [2, 3, 12, 13, 14, 15] как физически обоснованное утверждение.

Как известно [1, 10], разветвленные парафины в отличие от линейных имеют существенно более низкую температуру кристаллизации. Этот факт может служить дополнительным подтверждением существования взаимодействия между С-Н...С-Н связями, которые более эффективны для симметричных молекул.

Выводы

1. В жидкой фазе 2-метилпентана как и в других углеводородах, доминируют дисперсионные силы притяжения, энергия которых пропорциональна квадрату плотности жидкости. Одновременно с этим проявляют себя дальнедействующие силы связи кулоновского вида и силы отталкивания, аппроксимируемые $n = 12$.

2. Существенно более низкие температуры кристаллизации у нелинейных алканов могут быть связаны с дальнедействующими силами, обусловленными взаимодействием С-Н...С-Н связей, которое эффективнее для симметричных молекул.

**Данная работа поддержана грантом РФФИ № 16-08-01203А.*

Список литературы

1. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. - М.: ГИФМЛ, 1972. – 720 с.
2. Неручев Ю.А., Болотников М.Ф. Кроссоверные соотношения для «простых» систем в критической области. Теплофизика высоких температур, 2008. – Т. 46. – № 1. – С. 45–58.
3. Неручев Ю.А., Коротковский В.И., Жданова Е.С. // Мониторинг. Наука и Технологии. – № 1 (10). – 2012. – С. 74–85.
4. Китайгородский А.И. Молекулярные кристаллы. – М.: Наука, 1971.– 424 с.
5. Неручев Ю.А. Дискретно-континуальная модель для прогнозирования равновесных свойств органических жидкостей.– Курск: КГПУ, 2001, 139 с.
6. Неручев Ю.А. Ультразвуковые исследования равновесных свойств органических жидкостей // дисс...д-ра физ.-мат. наук. – Воронеж: ВГУ. - 2005. – 239 с.
7. Рышкова О.С. Исследование равновесных свойств жидких 1-бромалканов на основе акустических измерений // дисс...канд. физ.-мат. наук. – Курск: КГУ, 2010. 155 с.
8. Коротковский В.И. Теплофизические свойства жидких высокомолекулярных углеводородов и их галогенозамещенных // дисс...канд. физ.-мат. наук. – Курск: КГУ, 2013. 177 с.
9. Неручев Ю.А., Болотников М.Ф., Коротковский В.И. Особенности межмолекулярных сил в жидких углеводородах. – Казань: КНИТУ, 2014 С. 87-89.
10. <http://nist.gov>

11. Hobza Pavel., Muller-Dethlefs Klaus. Non-covalent Interactions Theory and Experiment. // RSC Theoretical and Computational Chemistry Series. No. 2, - 2010, P. 228.
12. Шахпаронов М.И. Введение в современную теорию растворов. М.: Высш. шк., 1976. – 296 с.
13. Сперкач В.С., Шахпаронов М.И. Теория вязкости жидкостей. Объемная и сдвиговая вязкости жидких аргона, криптона, ксенона, азота, кислорода // ЖФХ, 1986. – Т. 64. – № 8. – С. 2216.
14. Рышкова О.С., Болотников М.Ф., Коротковский В.И., Неручев Ю. А. Особенности температурной зависимости вязкости жидких 1-хлоралканов. Теплофизика высоких температур, 2016, т. 54, № 6, с. 872–875.
15. D.J.R. Duarte, G.L. Sosa, N.M. Peruchena, I. Alkorta. Halogen bonding. The role of the polarizability of the electron-pair donor. The Journal Phys. Chem. Chem. Phys., 2016, v.18, pp 7300 -7309.

**СЕКЦИЯ №25.
ФИЗИКА ПЛАЗМЫ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.08)**

**СЕКЦИЯ №26.
ФИЗИКА НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.09)**

**СЕКЦИЯ №27.
ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.10)**

**СЕКЦИЯ №28.
ФИЗИКА МАГНИТНЫХ ЯВЛЕНИЙ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.11)**

**СЕКЦИЯ №29.
ЭЛЕКТРОФИЗИКА, ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ
(СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.13)**

**СЕКЦИЯ №30.
ТЕПЛОФИЗИКА И ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА
(СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.14)**

**СЕКЦИЯ №31.
ФИЗИКА И ТЕХНОЛОГИЯ НАНОСТРУКТУР,
АТОМНАЯ И МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.15)**

**СЕКЦИЯ №32.
ФИЗИКА АТОМНОГО ЯДРА И ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ
(СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.16)**

**СЕКЦИЯ №33.
ХИМИЧЕСКАЯ ФИЗИКА, ГОРЕНИЕ И ВЗРЫВ, ФИЗИКА ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ
СОСТОЯНИЙ ВЕЩЕСТВА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.17)**

**СЕКЦИЯ №34.
КРИСТАЛЛОГРАФИЯ, ФИЗИКА КРИСТАЛЛОВ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.18)**

**СЕКЦИЯ №35.
ФИЗИКА ПУЧКОВ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ И УСКОРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА
(СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.20)**

**СЕКЦИЯ №36.
ЛАЗЕРНАЯ ФИЗИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.21)**

**СЕКЦИЯ №37.
ФИЗИКА ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.04.23)**

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.00)

**СЕКЦИЯ №38.
НЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.01)**

**СЕКЦИЯ №39.
АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.02)**

**СЕКЦИЯ №40.
ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.03)**

**СЕКЦИЯ №41.
ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.04)**

**СЕКЦИЯ №42.
ЭЛЕКТРОХИМИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.05)**

**СЕКЦИЯ №43.
ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.06)**

**СЕКЦИЯ №44.
ХИМИЯ ЭЛЕМЕНТООРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ
(СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.08)**

**СЕКЦИЯ №45.
ХИМИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.09)**

**СЕКЦИЯ №46.
БИООРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.10)**

**СЕКЦИЯ №47.
КОЛЛОИДНАЯ ХИМИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.11)**

**СЕКЦИЯ №48.
БИОНЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.12)**

**СЕКЦИЯ №49.
НЕФТЕХИМИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.13)**

**СЕКЦИЯ №50.
РАДИОХИМИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.14)**

**СЕКЦИЯ №51.
КИНЕТИКА И КАТАЛИЗ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.15)**

**СЕКЦИЯ №52.
МЕДИЦИНСКАЯ ХИМИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.16)**

**СЕКЦИЯ №53.
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ И КВАНТОВАЯ ХИМИЯ
(СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.17)**

**СЕКЦИЯ №54.
ХИМИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 02.00.21)**

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.00.00)

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ БИОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.01.00)

**СЕКЦИЯ №55.
РАДИОБИОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.01.01)**

**СЕКЦИЯ №56.
БИОФИЗИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.01.02)**

СЕКЦИЯ №57.

МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.01.03)

СЕКЦИЯ №58.

БИОХИМИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.01.04)

МОЛЕКУЛЯРНЫЕ СВОЙСТВА ПЕРВОГО КИСЛОРОД-РЕДУКТАЗНОГО НАТРИЕВОГО НАСОСА *

Мунтян М.С.¹, Морозов Д.А.¹, Овчинникова Т.В.²

¹НИИ физико-химической биологии имени А.Н.Белозерского, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва;

²НИИ биоорганической химии имени М.М.Шемякина и Ю.А.Очинникова Российской академии наук, г. Москва

У живых организмов биологически доступная энергия запасается в процессе дыхания в виде трансмембранного градиента протонов на внутренней мембране клеточных органелл митохондрий (у эукариот) или на цитоплазматической мембране (у прокариот). Молекулярные механизмы, которые генерируют градиент протонов на мембранах путем перекачки протонов через мембраны, представлены кислородредуктазными электронтранспортными цепями (КР-ЭТЦ). В общем случае КР-ЭТЦ образованы комплексами I, II, III и IV. Три десятилетия назад у морских алкалифильных бактерий был обнаружен первый натрий (Na^+)-перекачивающий механизм на уровне комплекса I в аэробной дыхательной цепи, а именно, Na^+ -специфичная НАДН-хинон-оксидоредуктаза (NQR) [6]. Высказывалось предположение и о существовании Na^+ -перекачивающего комплекса IV у алкалифильных бактерий [5]. Однако, в течение последних 30 лет из всех энергопреобразующих комплексов аэробных дыхательных цепей NQR оставался единственным компонентом, для которого была доказана способность запастись энергией в форме трансмембранного градиента Na^+ . Недавно нашей группой было получено доказательство функционирования в аэробной дыхательной цепи экстремально алкалифильных бактерий первого кислородредуктазного Na^+ -насоса, а именно, комплекса IV, представленного цитохром-с оксидазой (ЦО) *ccb₃*-типа [3].

Исследованные до настоящего времени ЦО входят в суперсемейство оксидаз с гем-медным биядерным каталитическим центром и представлены протон-перекачивающими ферментами, принадлежащими к подсемействам трех типов: А, В и С. Оксидазы С-типа (цитохромы *ccb₃*), широко распространенные среди патогенных бактерий, изучены в наименьшей степени. В частности, несмотря на доступность рентгеновской структуры [1] у фермента до настоящего времени механизм перекачки протона малоизучен. В настоящей статье мы представляем молекулярные свойства первой Na^+ -перекачивающей ЦО - цитохрома *ccb₃* из экстремально алкалифильной бактерии *Thioalkalivibrio versutus*. Это исследование дает ключ к пониманию прежде неизвестной структуры Na^+ -перекачивающей ЦО С-типа и позволит в дальнейшем выяснить функциональные свойства этого фермента.

Объект исследований, *Tv. versutus*, является экстремально гало- и алкалифильной серуоокисляющей бактерией из подразделения *Gammaproteobacteria*. Микроорганизм населяет уникальную экологическую

нишу (рН 10-11, соленость до 2 М по натрию) - высокощелочные содовые озера Тувы (Сибирь), из которых объект исследований и был выделен. Мембранные ферменты таких экстремофильных видов зачастую нестабильны и с трудом поддаются выделению. В настоящей работе получены поликлональные кроличьи антитела на 17-членный С-концевой фрагмент главной субъединицы *cbb₃*-оксидазы *Tv. versutus*. С помощью полученных антител идентифицирован весь комплекс и установлен его субъединичный состав. Также прочитан весь оперон, кодирующий фермент. К настоящему времени не описано ни одного комплекса *cbb₃*-оксидаз из экстремально гало- и алкалифильных бактерий.

Краткая характеристика цитохрома *cbb₃* из бактерии *T. versutus*.

Разностные спектры поглощения изолированных клеточных мембран (восстановление дитионитом натрия-минус-окисление воздухом, и СО восстановление дитионитом натрия-минус-восстановление дитионитом натрия) [3] в совокупности с HPLC анализом гемов клеточных мембран [3] показали, что цитохром *cbb₃* является основной ЦО у бактерии *T. versutus*, выращенной в колбочной культуре.

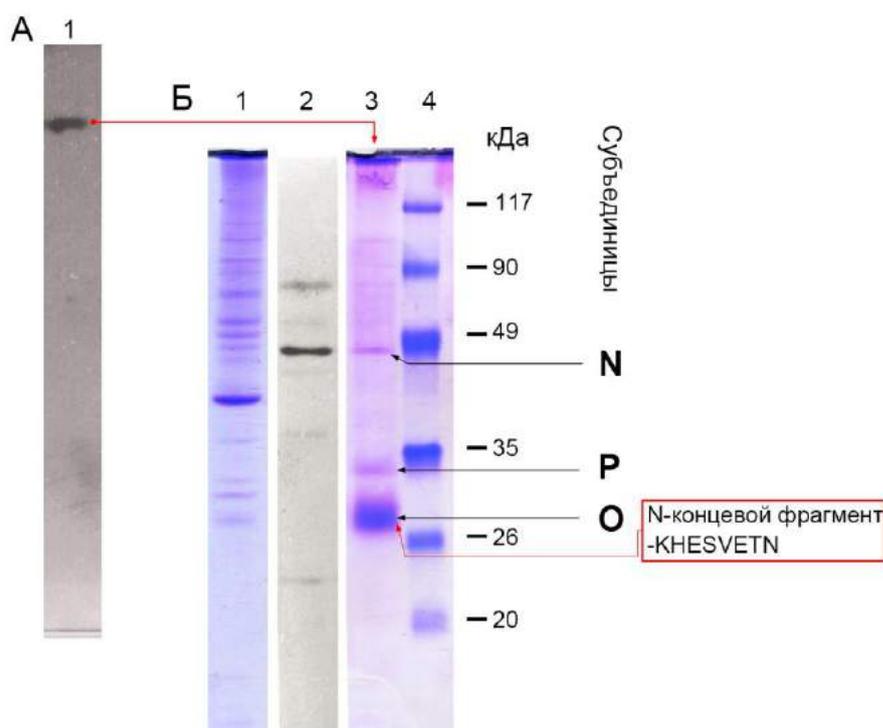


Рис. 2. Определение субъединичного состава Na^+ -перекачивающей ЦО *cbb₃*-типа *Tv. versutus*. (А) Вестерн блот после переноса белков, разделенных неденатурирующим электрофорезом в 6% полиакриламидном геле (ПААГ); ECL-иммунодетекция комплекса *cbb₃* при помощи поликлональных антител специфичных к С-концу каталитической субъединицы (ccoN). (Б) Электрофореграмма после денатурирующего электрофореза в 12% ПААГ. На дорожках: 1 - экстракт мембранных белков *Tv. versutus*; 2 - иммунодетекция субъединицы ccoN после денатурирующего электрофореза мембранных белков и блоттинга; 3 - комплекс *cbb₃*, элюированный из зоны на 6% ПААГ, соответствующей иммунодетектируемой зоне на блоте (верхняя красная стрелка на иммуноблоте (А)); 4 - белки-маркеры. Дорожки: 1, 3 и 4 - окраска Кумасси R-250; 2 - ECL-иммунодетекция антителами к С-концу ccoN. На врезке в красной рамке - N-концевая последовательность белка (отмечен нижней красной стрелкой, дорожка 3). Последовательность идентична N-концевому фрагменту субъединицы ccoO в комплексе *cbb₃* из *Tv. versutus*, предсказанному по нуклеотидной последовательности соответствующего гена (EMBL accession no. HE575403.1).

Поликлональные кроличьи антитела, выработанные против 17-членного полипептида, соответствующего С-концу предсказанной каталитической субъединицы (ccoN) *cbb₃* ЦО, образовывали комплекс только с одним полипептидом в ПААГ после неденатурирующего электрофореза (Рис. 1А).

Электрофорез элюата из этой полосы во втором направлении выявил три субъединицы (такой субъединичный состав наиболее часто встречается у *cbb₃* ЦО) с кажущимися молекулярными массами 48, 34 и 29 кДа (Рис. 1Б, дорожка 3). Применение антител специфичных к С-концу предсказанной субъединицы *ccoN* позволило идентифицировать полипептид с молекулярной массой 48-кДа, как каталитическую субъединицу (Рис. 1Б, дорожки 2 и 3). Полипептид с молекулярной массой 29-кДа на основании данных расшифровки N-концевой аминокислотной последовательности был идентифицирован как субъединица *ccoO* (Рис. 1Б, дорожка 3 и врезка в красной рамке). Окраска гелей на геммы с использованием пероксидазной реакции показала, что полипептиды с молекулярными массами 34- и 29-кДа содержат ковалентно-связанные геммы *c*, как и у ранее описанных *cbb₃* ЦО. Субъединицы *ccoN*, *ccoO* и *ccoP* - обязательные компоненты комплекса *cbb₃* у изученных представителей [2]. Таким образом, в нашем исследовании установлено, что Na^+ -перекачивающая ЦО *cbb₃*-типа из экстремальноалкалифильной бактерии *Tv. versutus* обладает общей структурой с представителями ЦО С-кластера [4]. Первичная аминокислотная последовательность субъединиц комплекса (предсказана по расшифрованным нами данным нуклеотидной последовательности оперона, EMBL accession no. HE575403.1) имеет высокую гомологию с субъединицами комплекса *cbb₃* из бактерии *P. stutzeri* (более 60 %) и содержит все консервативные аминокислотные остатки, которые служат лигандами ключевых протетических групп у ЦО кластера С-типа: двух гемов *b*, меди Cu_v , иона кальция и трех гемов *c*.

Заключение

Получены антитела на каталитическую субъединицу оксидазы *cbb₃*-типа из экстремально гало- и алкалифильной бактерии *Tv. versutus*. С помощью полученных антител доказано, что в бактерии экспрессируется оксидаза *cbb₃*-типа, а также показано, что субъединица с массой 48 кДа является каталитической (*ccoN*). Расшифрована нуклеотидная последовательность оперона *cbb₃*-оксидазы, которая может быть использована для клонирования этого фермента в другом организме.

**Работа поддержана грантами РФФИ № 14-04-01577 (биохимические анализы) и РФФИ № 14-50-00029 (анализ баз данных).*

Список литературы

1. Buschmann S, Warkentin E, Xie H, Langer JD, Ermler U et al.: The structure of *cbb₃* cytochrome oxidase provides insights into proton pumping // *Science*, 2010. - V. 329(5989). - P. 327–330.
2. Gribaldo S, Talla E, Brochier-Armanet C: Evolution of the haem copper oxidases superfamily: a rooting tale // *Trends Biochem Sci*, 2009. - V. 34(8). - P. 375–381.
3. Muntyan MS, Cherepanov DA, Malinen AM, Bloch DA, Sorokin DY, et al.: Cytochrome *cbb₃* of *Thioalkalivibrio* is a Na^+ -pumping cytochrome oxidase // *Proc Nat Acad Sci USA*, 2015. - V. 112(25). - P. 7695–7700.
4. Myllykallio H, Liebl U: Dual role for cytochrome oxidase in clinically relevant proteobacteria? // *Trends Microbiol*, 2000. - V. 8(12). - P. 542–543.
5. Skulachev VP: Sodium bioenergetics // *TiBS*, 1984. - V. 9(11). - P. 483-485.
6. Tokuda H, Unemoto T: Na^+ is translocated at NADH: quinone oxidoreductase segment in the respiratory chain of *Vibrio alginolyticus* // *J Biol Chem*, 1984. - V. 259(12). - P. 7785-7790.

СЕКЦИЯ №59.
ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ РАСТЕНИЙ
(СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.01.05)

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ САХАРОВ И ИНВЕРТАЗНОЙ АКТИВНОСТИ
В ФОРМИРУЮЩЕМСЯ КОРНЕПЛОДЕ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ**

Лунькова Н.Ф., Бурмистрова Н.А., Красавина М.С.

Институт физиологии растений им. К.А.Тимирязева РАН, г. Москва

Аннотация.

В разных тканях молодого, формирующегося корнеплода сахарной свеклы активны разные изоформы инвертазы: в меристематических клетках камбия и флоэмной паренхимы – вакуолярная инвертаза, обеспечивающая их рост, в крупных клетках коры и межпучковой паренхимы – инвертаза клеточных стенок, обеспечивающая апопластный транспорт поступающей по флоэме сахарозы.

Summary.

In different tissues of young, growing sugar beet taproot different isoforms of invertase are active. The vacuolar invertase is active in meristematic cells in the cambium and phloem parenchyma. This enzyme is required for growth of these cells. The cell wall invertase is active in large cells of cortex and intervascular parenchyma. This enzyme provides apoplast transport for sucrose incoming from the phloem.

Известно, что по мере развития в запасающем корнеплоде сахарной свеклы происходит перестройка сахарозного метаболизма: активная в молодом проростке инвертаза постепенно теряет свою активность и сменяется сахарозсинтазой. Такая перестройка сопровождается рядом анатомических изменений. В это время происходит так называемая «линька»– утрачивается кора, защитная функция переходит к перидерме. Корнеплод интенсивно растет вширь, образуя все новые меристематические кольца, дающие начало новому камбию и новым кольцам проводящей ткани. Линька коррелирует с началом сахаронакопления, при этом осмотический потенциал поддерживается путем снижения содержания калия (Павлинова, Прасолова 1973; Godt, Roitsch 2006; Krasavina, Burmistrova 2012).

В литературе очень мало сведений о том, какие изоформы инвертазы работают на ранних этапах развития корнеплода. В данной работе предпринята попытка прояснить участие изоформ этого фермента путем изучения его компартментации в тканях корнеплода.

Методика

Проростки сахарной свеклы (*Beta vulgaris* L.) выращивали в оранжерее в почвенной культуре. Через 24 и 31 день после появления всходов (период, предшествующий линьке) формирующиеся корнеплоды отмывали от почвы и разделяли на центральный цилиндр и кору. В этих тканях определяли содержание растворимых сахаров и активность инвертазы. Сахара определяли в спиртовых экстрактах: глюкозу – глюкозооксидазным методом, используя коммерческий набор реактивов (№ 005.012, Ольвекс диагностикум), сахарозу и фруктозу по Рое (Туркина, Соколова, 1971). Активность инвертазы регистрировали гистохимически на поперечных срезах, приготовленных с помощью ручного микротомы по методике Sergeeva, Vreugdenhil (2002).

Результаты и обсуждение

Концентрация гексоз в коре и центральном цилиндре различалась слабо (сравни рис. 1а и 1б). Концентрация сахарозы повышалась по мере формирования корнеплода не только в клетках центрального цилиндра (рис 1а), но и в клетках коры (рис 1б). По-видимому, перед линькой кора еще активна и нуждается в поступлении сахарозы из проводящих тканей.

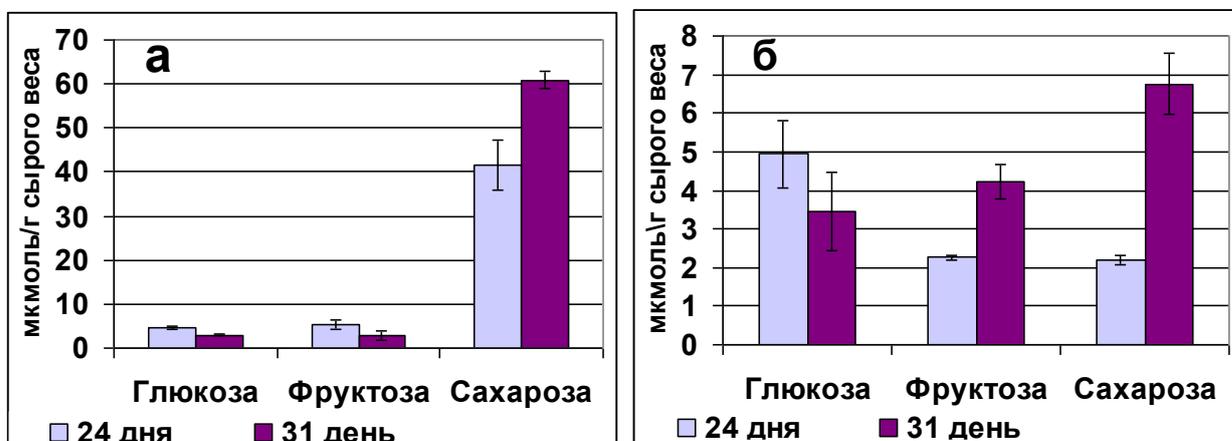


Рис. 1. Содержание растворимых сахаров в тканях центрального цилиндра (1а) и коры (1б) в формирующихся корнеплодах сахарной свеклы. Возраст проростков – 24 и 31 день

Для включения в метаболизм сахароза должна гидролизоваться с помощью инвертазы, поскольку второй поставляющий гексозы фермент – сахарозосинтаза – в этот период практически неактивен (Павлинова, Прасолова1973).

На рис 2 представлены срезы молодого корнеплода, находящегося в начале вторичного роста, перед началом линьки. Такой корнеплод обладал одним сформированным кольцом вторичного камбия с вторичными флоэмой и ксилемой и двумя недифференцированными кольцами, состоящими только из добавочного камбия. После проведения гистохимической реакции по определению активности инвертазы камбиальные клетки выделялись интенсивной синей окраской. Центральная часть клеток более интенсивно окрашена, что характеризует активность внутриклеточной вакуолярной инвертазы (рис. 2). Вакуолярная инвертаза была активна также в клетках флоэмы и в мелких клетках, окружающих сосуды ксилемы. С активностью вакуолярной инвертазы связывают аккумуляцию гексоз, регуляцию тургора и рост клеток растяжением (Rosenkranz et al., 2001; Godt, Roitsch., 2006). В то же время инвертаза крупных клеток межпучковой паренхимы располагалась преимущественно по периферии клеток. Тонкие очертания окрашенного ободка клеток предполагают скорее локализацию в клеточной стенке.

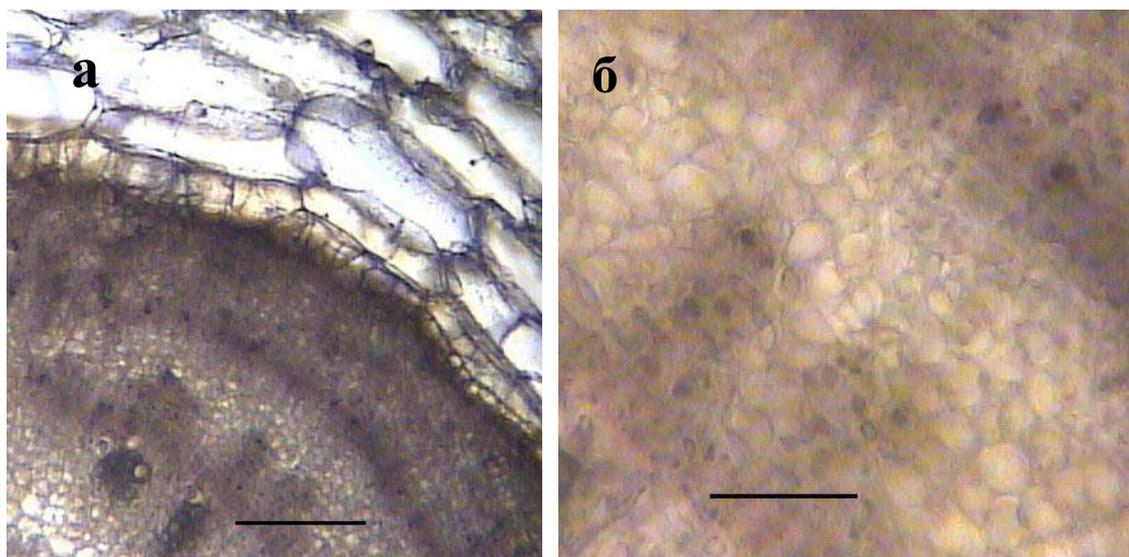


Рис. 2. Локализация активности инвертазы в поперечных срезах формирующегося корнеплода сахарной свеклы. Бары: А - 100 мкм, Б – 50 мкм

На высокую активность инвертазы клеточной стенки в корнеплоде сахарной свеклы, превышающую активность остальных изоформ инвертаз, указывали Godt и Roitsch (2006). По сведениям этих авторов, основная функция этой инвертазы – контроль над потоком сахарозы из проводящих тканей в молодые растущие клетки-акцепторы. Авторы полагают, что разгрузка флоэмы у сахарной свеклы, скорее всего, апопластная. Сахароза поступает в апопласт, гидролизуется инвертазой клеточных стенок, а образовавшиеся гексозы поступают в соседние клетки с помощью гексозных транспортеров (сахарозные транспортеры не экспрессируются). Таким образом, инвертаза клеточных стенок является ключевым ферментом, регулирующим распределение сахарозы на ранних стадиях развития запасующих тканей (Chandra et al., 2012). При этом, по-видимому, может функционировать также цитоплазматическая инвертаза (Silvius, Snyder, 1979), хотя ее активность, как правило, низка. Инвертаза клеточных стенок (Godt, Roitsch, 2006) и цитоплазматическая инвертаза (Silvius, Snyder, 1979) может дольше сохранять активность во время дифференциации запасующей паренхимы и проводящей ткани, когда кислая вакуолярная инвертаза уже начинает деактивироваться.

О другой функции инвертазы клеточных стенок можно судить по ее локализации в периферических тканях формирующегося корнеплода – в клетках коры (рис 2 А). В этом корнеплоде кора еще функционировала. Трудно сказать, принадлежит окраска только клеточным стенкам или окрашен также цитоплазматический слой. По-видимому, образующиеся в клетках коры в результате активности инвертазы гексозы могут выделяться из клеток и стимулировать развитие микроорганизмов, необходимых для нормального питания корня. Кроме того, глюкоза служит сигналом деления клеток, ее образование может стимулировать деление клеток эндодермы и перидермы и усиление роста в толщину.

Список литературы

1. Павлинова О.А., Прасолова М.Ф., 1973. Физиологическая роль сахарозосинтазы в корне сахарной свеклы // Физиология растений, вып. 19, с. 780-785.
2. Туркина М.В., Соколова С.В. 1971. Методы определения моносахаридов и олигосахаридов // Биохимические методы в физиологии растений. Под ред. Павлиновой О.А. М.: Наука. С. 7–34.

3. Chandra A., Jain R., Solomon S., 2012. Complexities of invertases controlling sucrose accumulation and retention in sugarcane // *Current Sci*, vol. 102, No. 6.
4. Godt D, Roitsch T., 2006. The developmental and organ specific expression of sucrose cleaving enzymes in sugar beet suggests a transition between apoplasmic and symplasmic phloem unloading in the tap roots // *Plant Physiol. Biochem.* vol. 44, 656–665.
5. Krasavina M.S., Burmistrova N.A., 2011. Potassium and sugar accumulation in plant cells // In: *Soil Nutrients*, Miransari M, ed. Oxford: Nova Science Publishers, Inc. ISBN: 978-1-61324-799-0. E-Book: p. 21-76.
6. Rosenkranz, R. Vogel, S. Greiner, T., 2001. In wounded sugar beet (*Beta vulgaris* L.) tap-root, hexose accumulation correlates with the induction of a vacuolar invertase isoform // *J. Exp. Bot.* vol. 52, 2381–2385.
7. Sergeeva L.I., Vreugdenhil D., 2002. *In situ* staining of activities of enzymes involved in carbohydrate metabolism in plant tissues. // *J. Exp. Bot.*, vol. 53, 361-370.
8. Silvius J.E., Snyder F.W. 1979. Comparative enzymic studies of sucrose metabolism in the taproots and fibrous roots of *Beta vulgaris* L. // *Plant Physiol.* vol. 64, 1070-1073.

СЕКЦИЯ №60.

**БИОТЕХНОЛОГИЯ (В ТОМ ЧИСЛЕ БИОНАНОТЕХНОЛОГИИ)
(СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.01.06)**

СЕКЦИЯ №61.

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ГЕНЕТИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.01.07)

СЕКЦИЯ №62.

БИОИНЖЕНЕРИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.01.08)

СЕКЦИЯ №63.

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ БИОЛОГИЯ, БИОИНФОРМАТИКА
(СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.01.09)**

ОБЩАЯ БИОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.02.00)

СЕКЦИЯ №64.

БОТАНИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.02.01)

СЕКЦИЯ № 64

БОТАНИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.02.01)

СЕКЦИЯ №65.

ВИРУСОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.02.02)

**СЕКЦИЯ №66.
МИКРОБИОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.02.03)**

**СЕКЦИЯ №67.
ЗООЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.02.04)**

**СЕКЦИЯ №68.
ЭНТОМОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.02.05)**

**СЕКЦИЯ №69.
ИХТИОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.02.06)**

**СЕКЦИЯ №70.
ГЕНЕТИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.02.07)**

**СЕКЦИЯ №71.
ЭКОЛОГИЯ (ПО ОТРАСЛЯМ) (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.02.08)**

СОДЕРЖАНИЕ СИНЬНОЙ КИСЛОТЫ И ЕЕ ПРОИЗВОДНЫХ В НЕКОТОРЫХ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТАХ

Лескова О.А., Лесков А.П.

ФГБОУ ВО Забайкальский государственный университет, г. Чита, Забайкальский край

Синильная (цианистая) кислота – (HCN, цианистый водород, циановодород, нитрил муравьиной кислоты) – неорганическое соединение, представляющее собой бесцветную, очень летучую жидкость, кипящую при 26,7⁰С и обладающую характерным запахом горького миндаля [3]. Синильная кислота — сильнейший яд нейротоксического действия, блокирует клеточную цитохромоксидазу, в результате чего возникает выраженная тканевая гипоксия. Отравление сможет наступить при вдыхании паров синильной кислоты, при попадании ее на кожу или же в желудок. Всасывается очень быстро. Смертельная доза синильной кислоты - 50-100 мг, цианида калия - 200 мг [1;2].

При ферментативном или кислотном гидролизе цианогликозидов синильная кислота может отщепляться и оставаться в свободном состоянии [7]. Такое образование синильной кислоты может дать, например, гликозид амигдалин, гликозид линамарин, гликозид дуррин (образующийся в сорговых растениях), гликозид вицианин (находящийся в некоторых видах вики), гликозид пруляурозин (лавровишня). Для этого необходимо, чтобы под действием сопутствующих гликозидам и находящихся в тех же растениях ферментов (цианогенных гликозидаз) произошло их расщепление.

Гликозид и его расщепляющий фермент находятся в растениях в разобленном состоянии. Например, амигдалин миндаля отлагается в семядолях, а фермент – в сосудисто-волокнистых пучках. В результате этого возможность их взаимного действия и образования свободной синильной кислоты в нормально развивающемся растении обычно не происходит. Тесное соприкосновение гликозида и фермента

наблюдается при хорошем пережевывании растения. В случае лежания свежесобранных растений в кучках или даже при стоянии растений на корню нормальный ход их жизненных процессов нарушается. Процесс расщепления гликозидов происходит с поглощением воды. Поэтому в практических условиях образование синильной кислоты возможно только там, где имеются достаточные условия влажности. Процесс идет интенсивнее при определенной температуре; оптимальной является температура 35-50°C.

Цель исследования - изучить содержание синильной кислоты и ее производных в некоторых видах растений.

Исследования проводятся на территории г. Чита (Забайкальский край) в 2016 г.

Для качественного определения производных синильной кислоты использовались пробы с бензидиновыми и пикратными индикаторными бумажками [5]. Перед проведением эксперимента нами были приготовлены бензидиновые и пикратные бумажки.

Объектами исследования служили: косточки вишни войлочной (*Prunus tomentosa*), черемухи уединенной (*Padus avium* Miller), абрикоса сибирского (*Armeniaca sibirica* L.(Lam.)). Следует отметить, что нами исследовались отдельно семя и эндокарпий данных растений.

Измельченную и хорошо растертую в ступке пробу растительного материала, в количестве 10-15 г смочили водой и поместили в коническую колбу на 50 мл. Слегка подкислили 1%-ым раствором соляной кислоты (HCl). Колбу плотно закрыли пробкой с прикрепленной к её нижнему концу полоской реактивной бумаги, с таким расчетом, чтобы конец её не касался внесенного в сосуд материала. Сосуд оставили стоять при температуре 30-35° на ночь в термостат. Согласно литературным данным, в присутствии синильной кислоты бензидиновая бумажка синее, пикратная бумажка приобретает красновато-оранжевую окраску. По интенсивности окрашивания, особенно пикратной бумажки, можно судить о количестве синильной кислоты, содержащейся в пробе.

Через 48 часов нами получены были результаты, приведенные в таблице 1

Таблица 1

Результаты определения цианид-иона в растительных объектах

Объект исследования	Бензидиновая бумажка	Пикратная бумажка
Черемуха (семя)	Синяя	Красная
Черемуха (эндокарпий)	Белая*	Желтая**
Вишня (семя)	Синяя	Красная
Вишня (эндокарпий)	Белая	Желтая
Абрикос (семя)	Синяя	Красная
Абрикос (эндокарпий)	Белая	Желтая

*цвет бензидиновой бумажки; **цвет пикратной бумажки

Как видно из таблицы в результате работы цианиды были зафиксированы в семенах всех исследуемых растений. Следует отметить, что цианиды содержатся только в семени косточковых культур и не содержатся в эндокарпии.

При поступлении семян исследуемых объектов с пищей возможно серьезное отравление. В литературе известны случаи отравления семенами абрикоса (10-12 косточек) [4;6;9]. Исследуемые объекты широко используются местным населением как в сыром виде, так и для приготовления компотов, муки и т.д. В высушенном состоянии семена также содержат значительное количество синильной кислоты, это касается семян вишен, абрикосов.

Таким образом, синильная кислота и ее производные были обнаружены во всех исследованных объектах, что необходимо учитывать при употреблении их в пищу.

Список литературы

1. Арбузов С. Я. Пробуждающее и антинаркотическое действие стимуляторов нервной системы – Ленинград: Медгиз. Ленингр. отд-ние, 1960. - 270 с.
2. Бобков С. С. Синильная кислота – М., 1970. – 174 с.
3. Глинка Н. Л. Общая химия – М.: Юрайт, 2011. – 886 с.
4. Голиков С. Н. Неотложная помощь при острых отравлениях (справочник по токсикологии) – М.: Медицина, 1978. – 312 с.
5. Лескова О. А. Цианиды и их влияние на живые системы // «Научная дискуссия: вопросы физики, химии, биологии»: материалы 6 международной заочной научно-практической конференции. – М.: Издание «Международный центр науки и образования», 2013. – С. 34 – 39.
6. Рогозкин В. Д. Радиозащитное действие цианистых соединений (амигдалин) – М.: Медгиз, 1963. – 132 с.
7. Сингур Н. А. Клиническая картина, вопросы терапии и профилактика отравлений ядрами абрикосовых косточек – М.: Медгиз, 1954, с. 133–148.
8. Слесарев В.И. Химия: основы химии живого – СПб: Химиздат, 2000. – 768 с.
9. Стрельникова Е. Кое-что о цианистом калии // Химия и жизнь. – 2011. – № 3. – С.43 – 46.

СЕКЦИЯ №72.

БИОГЕОХИМИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.02.09)

СЕКЦИЯ №73.

ГИДРОБИОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.02.10)

СЕКЦИЯ №74.

ПАРАЗИТОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.02.11)

СЕКЦИЯ №75.

МИКОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.02.12)

СЕКЦИЯ №76.

ПОЧВОВЕДЕНИЕ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.02.13)

СЕКЦИЯ №77.

БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.02.14)

ФИЗИОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.03.00)

**СЕКЦИЯ №78.
ФИЗИОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.03.01)**

**СЕКЦИЯ №79.
АНТРОПОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.03.02)**

**СЕКЦИЯ №80.
ИММУНОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 03.03.03)**

**МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МАКРОФАГОВ РАЗЛИЧНЫХ ФРАКЦИЙ
В КУЛЬТУРЕ**

Поздина В.А.¹, Ульянова А.Н.², Луговец Д.В.^{2,3}, Улитко М.В.^{2,3}, Данилова И.Г.^{1,3}

¹ Институт иммунологии и физиологии УрО РАН, ² Уральский федеральный университет, ³ ГАУЗ СО
Институт медицинских клеточных технологий,
г. Екатеринбург

Аннотация

Макрофаги — это клетки иммунной системы, способные выполнять широкий спектр функций и представляющие собой центральное звено врождённого иммунного ответа. Популяция макрофагов отличается гетерогенностью, благодаря наличию в ее составе органо- и тканеспецифичных макрофагов, а также фагоцитов различной степени зрелости. При изучении первичных культур макрофагов выделенных из различных органов здоровых крыс, были продемонстрированы значительные морфологические и функциональные различия макрофагов разных органов. Эти результаты являются основой для дальнейшего изучения поляризации и функциональных характеристик макрофагов при патологии.

Ключевые слова: макрофаги, морфофункциональная гетерогенность, жизнеспособность, пролиферативная активность.

Макрофаги являются неотъемлемой частью врожденного иммунитета и играют центральную роль в воспалении и защите организма [4]. Они обладают сильным фагоцитарным и бактерицидным потенциалом, регулируют секреторную и пролиферативную активность других клеточных элементов, контролируют объем внеклеточного матрикса, инициируют и модулируют иммунные реакции [3]. Нарушение их функций приводит к развитию инфекций, хронических воспалений, аутоиммунных заболеваний, а также к инициации и прогрессии опухолей. В связи с этим актуальной является проблема медикаментозной коррекции и репрограммирования функций макрофагальной системы [2].

Макрофаги характеризуются структурной и функциональной гетерогенностью — в зависимости от степени зрелости, от области локализации, а также от их активации антигенами или лимфоцитами. Морфологическая и функциональная неоднородность макрофагов требует тщательного предварительного исследования их реакции на экспериментальные воздействия с целью прогнозирования системного ответа макрофагальной системы при терапевтической коррекции.

В качестве объекта исследования использовали первичные культуры тканевых макрофагов, выделенных из различных органов крыс линии Wistar: альвеолярные и перитонеальные макрофаги, а также макрофаги печени и селезенки. Исследовали морфометрические показатели, показатели жизнеспособности и функциональной активности.

Дифференцировку макрофагов в культуре проводили иммуногистохимическим методом с использованием моноклональных антител CD68, которые являются маркерами моноцитов и макрофагов.

В качестве морфологической характеристики использовали размер клеток и ядер, ядерно-цитоплазматическое отношение и количество многоядерных клеток.

Жизнеспособность клеток оценивали путем прямого подсчета клеток в камере Горяева с использованием красителя 0, 4%-ного трипанового синего для выявления клеточной гибели в результате нарушения проницаемости плазматических мембран.

Оценку пролиферативной активности макрофагов осуществляли, используя иммуноцитохимический метод окраски на клеточный маркер пролиферации белок Ki-67 [5]. Секреторную активность макрофагов оценивали гистохимическим методом на выявление неспецифической эстеразы и методом иммуноферментного анализа на продукцию двух цитокинов противоположного действия – IL-10 и TNF- α [1].

Статистическую обработку данных производили, используя компьютерные программы «MS Excel» и «Statistica 10». Вычислялась средняя арифметическая величина, ошибка средней арифметической величины. Для оценки значимости различий между группами использовали t-критерий Стьюдента и непараметрический критерий Манна-Уитни. При $p \leq 0,05$ различия между средними величинами считались достоверными.

Установлено достаточно высокое содержание CD68-позитивных клеток в изучаемых культурах. Среди альвеолярных макрофагов CD68-положительные клетки составили $83,4 \pm 2,78\%$, среди перитонеальных – $83,8 \pm 7,31\%$ – 67%, в культурах макрофагов печени и селезенки – $84,2 \pm 2,82\%$ и $88,8 \pm 1,97\%$ соответственно.

Оценка уровня жизнеспособности клеток показала, что макрофаги всех исследуемых органов после выделения характеризуются высокой жизнеспособностью. Индекс жизнеспособности клеток для альвеолярных макрофагов составил $96,79 \pm 2,13\%$, для перитонеальных макрофагов $93,43 \pm 5,38\%$, для макрофагов печени 100%, для макрофагов селезенки $96,71 \pm 2,9\%$.

Наибольшее количество полинуклеаров наблюдалось среди альвеолярных макрофагов: 18% составили двуядерные и 2% - трехядерные клетки. Процентное содержание двуядерных макрофагов печени и селезенке составило 4% и 1% соответственно. Среди перитонеальных макрофагов многоядерных клеток не выявлено. Наибольший показатель ядерно-цитоплазматического отношения был отмечен у макрофагов печени и селезенки, составляющих группу фиксированных резидентных макрофагов.

Максимальная пролиферативная активность отмечалась у альвеолярных макрофагов ($82,29 \pm 6,61\%$) и макрофагов печени ($83,33 \pm 16,64\%$). При оценке секреторной активности макрофагов было установлено, что наибольшую ферментативную активность проявили макрофаги мигрирующих фракций – альвеолярные и перитонеальные макрофаги. Наибольшая выработка фактора TNF- α наблюдалась у альвеолярных макрофагов. Высокая продукция IL-10 была отмечена у группы фиксированных резидентных макрофагов печени и селезенки, что, вероятно, связано с функцией регуляции гомеостаза макрофагами этих органов.

Таким образом, произведенная оценка жизнеспособности, пролиферативной и секреторной активности макрофагов, выделенных из различных тканей здоровых крыс, свидетельствует о значительной

морфологической и функциональной гетерогенности макрофагов различных органов в культуре. Полученный результат является основой дальнейшего исследования морфофункциональных особенностей резидентных макрофагов при патологии.

Список литературы

1. Барышева С. В., Брюхин Г. В. Морфофункциональные особенности перитонеальных макрофагов у животных с экспериментальным гепатитом // Вестник Челябинского государственного университета. – 2008. – № 4. – С. 60-64.
2. Лямина С.В., Малышев И.Ю. Поляризация макрофагов в современной концепции формирования иммунного ответа // Медицинские науки. Фундаментальные исследования №10, 2014, 930-935.
3. Филоненко Т. Г., Бисюк Ю. А. Функциональная активность макрофагов при фиброзно-кавернозном туберкулезе легких // Таврический медико-биологический вестник. – 2012. – С. 252-257.
4. Murray P. J., Wynn T. A. Protective and pathogenic functions of macrophage subsets // Nature reviews immunology. – 2011. – V. 11, №. 11. – P. 723-737.
5. Scholzen T., Gerdes J. The Ki-67 protein: from the known and the unknown // Journal of cellular physiology. – 2000. – V. 182, № 3. – P. 311-322.

СЕКЦИЯ №81.

**КЛЕТочная биология, цитология, гистология
(специальность 03.03.04)**

СЕКЦИЯ №82.

биология развития, эмбриология (специальность 03.03.05)

СЕКЦИЯ №83.

нейробиология (специальность 03.03.06)

ГЕОГРАФИЯ

СЕКЦИЯ №84.

**физическая география и биогеография, география почв
и геохимия ландшафтов (специальность 25.00.23)**

СЕКЦИЯ №85.

**экономическая, социальная, политическая
и рекреационная география (специальность 25.00.24)**

СЕКЦИЯ №86.

**геоморфология и эволюционная география
(специальность 25.00.25)**

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

СЕКЦИЯ №87.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ

ГЕОЛОГИЯ

СЕКЦИЯ №88.

РАЗВИТИЕ ГЕОЛОГИИ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ

ПЛАН КОНФЕРЕНЦИЙ НА 2017 ГОД

Январь 2017г.

IV Международная научно-практическая конференция **«Актуальные вопросы естественных и математических наук в современных условиях развития страны»**, г. Санкт-Петербург

Прием статей для публикации: до 1 января 2017г.

Дата издания и рассылки сборника об итогах конференции: до 1 февраля 2017г.

Февраль 2017г.

IV Международная научно-практическая конференция **«Актуальные проблемы естественных и математических наук в России и за рубежом»**, г. Новосибирск

Прием статей для публикации: до 1 февраля 2017г.

Дата издания и рассылки сборника об итогах конференции: до 1 марта 2017г.

Март 2017г.

IV Международная научно-практическая конференция **«Актуальные вопросы современных математических и естественных наук»**, г. Екатеринбург

Прием статей для публикации: до 1 марта 2017г.

Дата издания и рассылки сборника об итогах конференции: до 1 апреля 2017г.

Апрель 2017г.

IV Международная научно-практическая конференция **«Актуальные проблемы и достижения в естественных и математических науках»**, г. Самара

Прием статей для публикации: до 1 апреля 2017г.

Дата издания и рассылки сборника об итогах конференции: до 1 мая 2017г.

Май 2017г.

IV Международная научно-практическая конференция **«Актуальные вопросы и перспективы развития математических и естественных наук»**, г. Омск

Прием статей для публикации: до 1 мая 2017г.

Дата издания и рассылки сборника об итогах конференции: до 1 июня 2017г.

Июнь 2017г.

IV Международная научно-практическая конференция **«Современные проблемы математических и естественных наук в мире»**, г. Казань

Прием статей для публикации: до 1 июня 2017г.

Дата издания и рассылки сборника об итогах конференции: до 1 июля 2017г.

Июль 2017г.

IV Международная научно-практическая конференция **«О вопросах и проблемах современных математических и естественных наук»**, г. Челябинск

Прием статей для публикации: до 1 июля 2017г.

Дата издания и рассылки сборника об итогах конференции: до 1 августа 2017г.

Август 2017г.

IV Международная научно-практическая конференция **«Информационные технологии естественных и математических наук»**, г. Ростов-на-Дону

Прием статей для публикации: до 1 августа 2017г.

Дата издания и рассылки сборника об итогах конференции: до 1 сентября 2017г.

Сентябрь 2017г.

IV Международная научно-практическая конференция **«Естественные и математические науки в современном мире»**, г. Уфа

Прием статей для публикации: до 1 сентября 2017г.

Дата издания и рассылки сборника об итогах конференции: до 1 октября 2017г.

Октябрь 2017г.

IV Международная научно-практическая конференция **«Основные проблемы естественных и математических наук»**, г. Волгоград

Прием статей для публикации: до 1 октября 2017г.

Дата издания и рассылки сборника об итогах конференции: до 1 ноября 2017г.

Ноябрь 2017г.

IV Международная научно-практическая конференция **«Естественные и математические науки: вопросы и тенденции развития»**, г. Красноярск

Прием статей для публикации: до 1 ноября 2017г.

Дата издания и рассылки сборника об итогах конференции: до 1 декабря 2017г.

Декабрь 2017г.

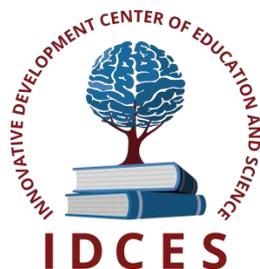
IV Международная научно-практическая конференция **«Перспективы развития современных математических и естественных наук»**, г. Воронеж

Прием статей для публикации: до 1 декабря 2017г.

Дата издания и рассылки сборника об итогах конференции: до 1 января 2018г.

С более подробной информацией о международных научно-практических конференциях можно ознакомиться на официальном сайте Инновационного центра развития образования и науки www.izron.ru (раздел «Естественные и математические науки»).

ИННОВАЦИОННЫЙ ЦЕНТР РАЗВИТИЯ ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
INNOVATIVE DEVELOPMENT CENTER OF EDUCATION AND SCIENCE



**Перспективы развития современных математических и
естественных наук**

Выпуск III

**Сборник научных трудов по итогам
международной научно-практической конференции
(11 декабря 2016г.)**

**г. Воронеж
2016 г.**

Печатается в авторской редакции
Компьютерная верстка авторская

Подписано в печать 10.12.2016.
Формат 60×90/16. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 4,4.
Тираж 250 экз. Заказ № 127.

Отпечатано по заказу ИЦРОН в ООО «Ареал»
603000, г. Нижний Новгород, ул. Студеная, д. 58