



Российская академия наук

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт прикладной физики
Российской академии наук
(ИПФ РАН)

УДК 535.24


№ госрегистрации

Инв. №



УТВЕРЖДАЮ

Директор ИПФ РАН
академик РАН

 А.Г. Литвак

_____ Г.

ОТЧЕТ

О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ БИОФОТОНИКИ ДЛЯ БИОЛОГИИ,
ФАРМАКОЛОГИИ И МЕДИЦИНЫ
(промежуточный)

Руководитель работы
Зам. директора ИПФ РАН
член-корр. РАН



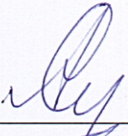
подпись, дата

А.М. Сергеев

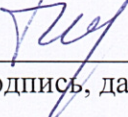
Нижний Новгород 2013

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

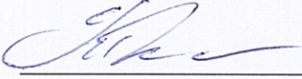
Научный руководитель,
зам. директора ИПФ РАН,
член-корр. РАН,
д-р физ.-мат. наук


_____ А. М. Сергеев
подпись, дата

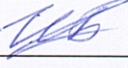
Зав. отд. ИПФ РАН,
канд. физ.-мат. наук


_____ И. В. Турчин
подпись, дата


Мл. науч. сотр. ИПФ РАН


_____ М. С. Клешнин
подпись, дата

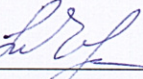
Зав. лаб. ННГУ,
канд. биол. наук


_____ И. В. Балалаева
подпись, дата

Вед. технолог ИПФ РАН


_____ В. И. Плеханов
подпись, дата

Науч. сотр. ИПФ РАН


_____ М. Д. Чернобровцева
подпись, дата

РЕФЕРАТ

Отчет 24 с., 2 рис., 11 табл., 1 прил.

БИОФОТОНИКА, ФЛУОРЕСЦЕНТНЫЙ ИМИДЖИНГ, СВЕТОАКТИВИРУЕМЫЕ БЕЛКИ, НЕЙРОНАЛЬНЫЕ СЕТИ, МУЛЬТИЭЛЕКТРОДНЫЕ ЧИПЫ, ФОТОДИНАМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ

Цель работы – развитие и использование новых методов и инструментов биофотоники для изучения и понимания процессов в биологических системах, для разработки новых фармацевтических препаратов, а также для создания новых подходов в клинической практике.

Развиваемые подходы к новым способам диагностики и лечения будут использованы при разработке перспективных образцов медицинской техники и биотехнологий.

В отчетном периоде создан инструментальный комплекс для равномерного облучения большой поверхности биологической среды интенсивным светом выбранной длины волны и изучения светового воздействия на биологические объекты с помощью спектрофотометрии. Комплекс позволяет проводить анализ световой, или фотодинамической, активности в системе клеточных культур *in vitro* для скрининга потенциальных фотосенсибилизаторов. Проведенное исследование показывает, что реализованный нами подход позволяет осуществлять эффективный и очень быстрый скрининг новых соединений с целью выявления наиболее перспективных для флуоресцентной диагностики и фотодинамической терапии.

СОДЕРЖАНИЕ

РЕФЕРАТ.....	3
СОДЕРЖАНИЕ.....	4
ОПРЕДЕЛЕНИЯ.....	5
СОКРАЩЕНИЯ.....	6
ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 Научно-исследовательские работы и развитие научно-исследовательского, образовательного, инновационного потенциала.....	9
1.1 План научно-исследовательского развития и результаты деятельности.....	9
1.2 Развитие научно-исследовательского, образовательного, инновационного потенциала.....	13
1.2.1 Развитие научно-исследовательского потенциала Сколтех в области поддержки научных исследований.....	13
1.2.2 Развитие научно-исследовательского, образовательного и инновационного потенциала Сколтех по работе со студентами, аспирантами, постдоками.....	14
1.2.3 Развитие научно-исследовательского, образовательного и инновационного потенциала Сколтех в области образования.....	15
1.2.4 Развитие научно-исследовательского, образовательного и инновационного потенциала в области кооперации с промышленностью.....	16
1.2.5 Развитие научно-исследовательского, образовательного и инновационного потенциала в предпринимательстве и инновациях.....	17
1.2.6 Развитие научно-исследовательского, образовательного и инновационного потенциала для бренда и репутации.....	18
1.2.7 Развитие научно-исследовательского, образовательного и инновационного потенциала для привлечения инвестиций.....	19
1.2.8 Прочее.....	20
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	21
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	22

ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящем отчете о НИР применяют следующие термины с соответствующими определениями:

Имиджинг – формирование изображения.

Функциональная диагностика – раздел диагностики, содержанием которого являются объективная оценка, обнаружение отклонений и установление степени нарушений функции различных органов и физиологических систем организма на основе измерения физических, химических или иных объективных показателей их деятельности с помощью инструментальных или лабораторных методов исследования.

Кальциевый имиджинг – построение изображения распределения свободного кальция в биоткани с использованием кальциево-зависимых флуоресцентных индикаторов.

Мультиэлектродный чип – стеклянная камера для размещения и регистрации активности электрически возбудимых препаратов (переживающие срезы, культуры нейронов или кардиомиоцитов) со встроенной матрицей микроэлектродов.

Фотодинамическая терапия (ФДТ) – метод лечения онкологических заболеваний, некоторых заболеваний кожи или инфекционных заболеваний, основанный на применении светочувствительных веществ – фотосенсибилизаторов (в том числе красителей).

Фотосенсибилизатор – природное или искусственно синтезированное вещество, способное к фотосенсибилизации биологических тканей, то есть увеличению их чувствительности к воздействию света.

Клеточная культура – популяция клеток определенного вида микроорганизмов, растений или животных, выращенная *in vitro* в питательной среде.

СОКРАЩЕНИЯ

НИР – научно-исследовательская работа

РАН – Российская академия наук

ИПФ РАН – Институт прикладной физики РАН

ИБХ РАН – Институт биоорганической химии РАН

ННГУ – Нижегородский государственный университет

НижГМА – Нижегородская государственная медицинская академия

НИИ БМТ – Научно-исследовательский институт биомедицинских технологий
(структурное подразделение НижГМА)

КМЗ им. Зверева – Красногорский завод им. С.А. Зверева

ТГц – Терагерц

См – сантиметр

нм – нанометр

мВт – милливатт

Дж – Джоуль

ВВЕДЕНИЕ

В данной научно-исследовательской работе *новые методы и инструменты биофотоники* будут использованы для глубокого изучения и понимания процессов в биологических системах, для разработки новых фармацевтических препаратов, а также для создания новых подходов в клинической практике. НИР базируется на совместных междисциплинарных исследованиях нескольких коллективов исследователей мирового уровня на стыке оптики, лазерной физики, биотехнологий, информационных технологий и медицины. Разрабатываемые в ходе выполнения работы технологии биофотоники будут способствовать решению широкого круга биомедицинских задач, прежде всего в области нейродегенеративных и онкологических заболеваний. Развиваемые подходы к новым способам диагностики и лечения будут использованы при разработке перспективных образцов медицинской техники и биотехнологий. Путем создания интегрированных научно-образовательных программ, мы поможем подготовить новое поколение ученых и инженеров, которые смогут активно работать в среде международных, междисциплинарных и предпринимательских отношений. Мы считаем, что данная работа поможет реализоваться университету Сколтех в качестве одной из ведущих организаций в области биоинженерных исследований в мире.

Российские участники проекта, включая Институт прикладной физики РАН, Институт биоорганической химии РАН, Нижегородский госуниверситет и компанией "Тералайф", будут выполнять три исследовательских проекта. *Проект 1*, выполняемый ННГУ и компанией "Тералайф", будет направлен на создание новых методов получения информации о биологических объектах с помощью излучения в ТГц диапазоне частот, включая ТГц спектроскопию и системы построения изображений в режиме реального времени. ИПФ РАН выполняют исследовательский проект 2 (совместно с ИБХ РАН) и исследовательский проект 3.

Проект 2 будет сосредоточен на разработке методов оптического контроля клеточного метаболизма при помощи светоактивируемых белков и включать следующие разделы:

– Создание инструментального комплекса для равномерного облучения большой поверхности биологической среды ($\sim 10 \text{ см}^2$) интенсивным светом выбранной длины волны и анализ светового воздействия на биологические объекты с помощью спектрофотометрии;

– Разработку методов светоиндуцированной генерации активных форм кислорода в целевых клеточных компартментах;

– Создание экспериментальной установки для флуоресцентного имиджинга лабораторных животных с определением времени релаксации флуорофора.

Проект 3 нацелен на разработку методов диагностики нейрональной сетевой активности при неврологических заболеваниях и расстройствах посредством нейротрансплантантов. Он состоит из двух подпроектов:

– Развитие методов диагностики активности тканей мозга с использованием мультиэлектродных чипов и высокоразрешающего кальциевого имиджинга;

– Разработку алгоритмов анализа и классификации паттернов нейрональной активности по электрофизиологическим и оптическим данным.

В первом отчетном периоде (ноябрь-декабрь 2013 г.) выполнялась работа по разделу проекта 2 "Создание инструментального комплекса для равномерного облучения большой поверхности биологической среды (~10 см²) интенсивным светом выбранной длины волны и анализ светового воздействия на биологические объекты с помощью спектрофотометрии". Результаты работы приведены в приложении.

1 Научно-исследовательские работы и развитие научно-исследовательского, образовательного, инновационного потенциала

1.1 План научно-исследовательского развития и результаты деятельности

План научно-исследовательского развития и результаты деятельности представлены в таблице 1.

Таблица 1 – План научно-исследовательского развития и результаты деятельности (Исследовательский проект 2)

<i>Деятельность</i>	<i>Выполнено</i>	<i>План (пожалуйста, укажите ориентировочный период, в течение которого задача будет выполнена, если применимо)</i>	<i>Примечания</i>	<i>Участники</i>
Инструментальная установка для равномерного облучения большой поверхности (~10 см ²) интенсивным светом выбранной длины волны. Анализ светового воздействия на биологические объекты с помощью спектрофотометрии	Подготовлен промежуточный отчет за период с 01.11.2013 по 31.01.2014 по (см. Приложение А)	01.11.2013 – 31.10.2014. Будет создана и использована в экспериментальных исследованиях с биологическими объектами инструментальная установка для равномерного облучения большой поверхности (~10 см ²) интенсивным светом выбранной длины волны.		Турчин И.В. Клешнин М.С. Балалаева И.В. Плеханов В.И.
Методы светоиндуцированной генерации активных форм кислорода в целевых	–	01.11.2013 – 31.10.2014. Будут разработаны методы светоиндуцированной генерации активных форм		Турчин И.В. Загайнова Е.В.

клеточных компартментах		кислорода в целевых клеточных компартментах		
Экспериментальная установка для флуоресцентного имиджинга лабораторных животных с определением времени релаксации флуорофора	–	01.11.2014 – 31.10.2015. Будет подготовлена экспериментальная установка для флуоресцентного имиджинга лабораторных животных с определением времени релаксации флуорофора		Турчин И.В. Субочев П.В. Фикс И.И. Клешнин М.С. Сергеев А.М.

Участники:

Сергеев А.М., научный руководитель, зам. директора ИПФ РАН;

Турчин И.В., зав. отделом ИПФ РАН;

Клешнин М.С., младший научный сотрудник ИПФ РАН;

Балалаева И.В., зав. лабораторией ННГУ;

Плеханов В.И., вед. технолог ИПФ РАН;

Субочев П.В., научный сотрудник;

Фикс И.И., научный сотрудник ИПФ РАН;

Загайнова Е.В., директор НИИ БМТ

Таблица 2 – План научно-исследовательского развития и результаты деятельности (Исследовательский проект 3)

<i>Деятельность</i>	<i>Выполнено</i>	<i>План (пожалуйста, укажите ориентировочный период, в течение которого задача будет выполнена, если применимо)</i>	<i>Примечания</i>	<i>Участники</i>
Развитие методов диагностики активности тканей мозга с использованием мультиэлектродных чипов и высокоразрешающего кальциевого имиджинга	–	01.11.2013 – 31.10.2014. Будут развиты методы диагностики активности тканей мозга с использованием мультиэлектродных чипов и высокоразрешающего кальциевого имиджинга		Казанцев В.Б. Митрошина Е.В. Мухина И.В. Пимашкин А.С. Стасенко С.В. Широкова О.В.
Разработка алгоритмов анализа и классификации паттернов нейрональной активности по электрофизиологическим и оптическим данным	–	01.11.2013 – 30.10.2015. Будет проведена разработка алгоритмов анализа и классификации паттернов нейрональной активности по электрофизиологическим и оптическим данным		Казанцев В.Б. Митрошина Е.В. Мухина И.В. Пимашкин А.С. Стасенко С.В. Широкова О.В.

Участники:

Казанцев В.Б., зав. лабораторией ИПФ РАН;

Митрошина Е.В., научный сотрудник ННГУ;

Мухина И.В., зав. кафедрой НижГМА
Пимашкин А.С., научный сотрудник ННГУ;
Стасенко С.В., аспирант ННГУ;
Широкова О.В., аспирант ННГУ;

Ключевые результаты за отчетный период приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Ключевые результаты

<i>Результат</i>	<i>2013</i>
Публикации	-
Рабочие совещания	-
Раскрытие информации	-
Раскрытие изобретения / Патентоспособные идеи	-
Другое	-

1.2 Развитие научно- исследовательского, образовательного, инновационного потенциала

1.2.1 Развитие научно-исследовательского потенциала Сколтех в области поддержки научных исследований

Таблица 4 – Развитие научно-исследовательского потенциала Сколтех в области поддержки научных исследований

<i>Деятельность</i>	<i>Выполнено</i>	<i>План (пожалуйста, укажите ориентировочный период, в течение которого задача будет выполнена, если применимо)</i>	<i>Примечания</i>	<i>Участники</i>

1.2.2 Развитие научно-исследовательского, образовательного и инновационного потенциала Сколтех по работе со студентами, аспирантами, постдоками

Таблица 5 – Развитие научно-исследовательского, образовательного и инновационного потенциала Сколтех по работе со студентами, аспирантами, постдоками

<i>Деятельность</i>	<i>Выполнено</i>	<i>План (пожалуйста, укажите ориентировочный период, в течение которого задача будет выполнена, если применимо)</i>	<i>Примечания</i>	<i>Участники</i>
Привлечение перспективных студентов в магистратуру Сколтех, аспирантов в аспирантуру Сколтех, научных сотрудников (постдоков)	–	<p>Предоставление площадки и сбор аудитории для проведения презентации сотрудниками Сколтех перед аспирантами и постдоками.</p> <p>Содействие в распространении информации на сайте и информационных стендах о возможностях Сколтеха.</p> <p>Срок – информирование в течение всего периода работы по мере получения результата и запросов о проведении презентации от Сколтеха.</p>		Сергеев А.М. Казанцев В.Б. Турчин И.В. Чернобровцева М.Д.

Участники:

Сергеев А.М., научный руководитель, зам. директора ИПФ РАН;

Казанцев В.Б., зав. лабораторией ИПФ РАН;

Турчин И.В., зав. отделом ИПФ РАН;

Чернобровцева М.Д., научный сотрудник ИПФ РАН

1.2.3 Развитие научно-исследовательского, образовательного и инновационного потенциала Сколтех в области образования

Таблица 6 – Развитие научно-исследовательского, образовательного и инновационного потенциала Сколтех в области образования

<i>Деятельность</i>	<i>Выполнено</i>	<i>План (пожалуйста, укажите ориентировочный период, в течение которого задача будет выполнена, если применимо)</i>	<i>Примечания</i>	<i>Участники</i>

1.2.4 Развитие научно-исследовательского, образовательного и инновационного потенциала в области кооперации с промышленностью

Таблица 7 – Развитие научно-исследовательского, образовательного и инновационного потенциала в области кооперации с промышленностью

<i>Деятельность</i>	<i>Выполнено</i>	<i>План (пожалуйста, укажите ориентировочный период, в течение которого задача будет выполнена, если применимо)</i>	<i>Примечания</i>	<i>Участники</i>
Поддержка контактов с партнерами из российского промышленного сектора для продвижения инновационных разработок, осуществляемых в рамках проекта	–	Проведение ежегодных совещаний с представителями российских предприятий, специализирующихся в области медицинского приборостроения и биотехнологий. Срок – весь период проекта		Сергеев А.М. Геликонов Г.В. Казанцев В.Б. Турчин И.В.

Участники:

Сергеев А.М., научный руководитель, зам. директора ИПФ РАН;

Геликонов Г.В., зав. лабораторией ИПФ РАН;

Казанцев В.Б., зав. лабораторией ИПФ РАН;

Турчин И.В., зав. отделом ИПФ РАН

1.2.5 Развитие научно-исследовательского, образовательного и инновационного потенциала в предпринимательстве и инновациях

Таблица 8 – Развитие научно-исследовательского, образовательного и инновационного потенциала в предпринимательстве и инновациях

<i>Деятельность</i>	<i>Выполнено</i>	<i>План (пожалуйста, укажите ориентировочный период, в течение которого задача будет выполнена, если применимо)</i>	<i>Примечания</i>	<i>Участники</i>
Участие в проведении инновационного семинара Сколтех	–	Согласование со СколТех списка кандидатов на позиции в профессорско-преподавательском составе СколТех. Срок – март 2014 г. – вводный семинар, август 2014 г. – семинар в формате Shortchallenge		Казанцев В.Б. Турчин И.В.

Участники:

Казанцев В.Б., зав. лабораторией ИПФ РАН;

Турчин И.В., зав. отделом ИПФ РАН

1.2.6 Развитие научно-исследовательского, образовательного и инновационного потенциала для бренда и репутации

Таблица 9 – Развитие научно-исследовательского, образовательного и инновационного потенциала для бренда и репутации

<i>Деятельность</i>	<i>Выполнено</i>	<i>План (пожалуйста, укажите ориентировочный период, в течение которого задача будет выполнена, если применимо)</i>	<i>Примечания</i>	<i>Участники</i>
<p>Ссылка при публикации статей, основанных на исследовании в рамках SDP гранта, на финансовую поддержку СколТех.</p> <p>Размещение информации о проведении совместных исследований в рамках SDP гранта на сайте ИПФ РАН</p>	–	Предоставление публикаций со ссылками в финальном отчете		<p>Сергеев А.М. Геликонов Г.В. Казанцев В.Б. Турчин И.В. Загайнова Е.В. Чернобровцева М.Д.</p>

Участники:

Сергеев А.М., научный руководитель, зам. директора ИПФ РАН;

Геликонов Г.В., зав. лабораторией ИПФ РАН;

Казанцев В.Б., зав. лабораторией ИПФ РАН;

Турчин И.В., зав. отделом ИПФ РАН

Загайнова Е.В., директор НИИ БМТ

Чернобровцева М.Д., научный сотрудник ИПФ РАН

1.2.7 Развитие научно-исследовательского, образовательного и инновационного потенциала для привлечения инвестиций

Таблица 10 – Развитие научно-исследовательского, образовательного и инновационного потенциала для привлечения инвестиций

<i>Деятельность</i>	<i>Выполнено</i>	<i>План (пожалуйста, укажите ориентировочный период, в течение которого задача будет выполнена, если применимо)</i>	<i>Примечания</i>	<i>Участники</i>
Подача заявок на гранты, в которых Сколтех выступает субподрядчиком	–	1 подача в год		Сергеев А.М. Геликонов Г.В. Казанцев В.Б. Турчин И.В. Загайнова Е.В.
Консультация по запросу Сколтех по подаче заявок на грант	–	Проведение консультаций по мере поступления запросов Сколтех		Сергеев А.М. Геликонов Г.В. Казанцев В.Б. Турчин И.В. Загайнова Е.В.

Участники:

Сергеев А.М., научный руководитель, зам. директора ИПФ РАН;

Геликонов Г.В., зав. лабораторией ИПФ РАН;

Казанцев В.Б., зав. лабораторией ИПФ РАН;

Турчин И.В., зав. отделом ИПФ РАН

Загайнова Е.В., директор НИИ БМТ

1.2.8 Прочее

Таблица 11 – Прочее

<i>Деятельность</i>	<i>Выполнено</i>	<i>План (пожалуйста, укажите ориентировочный период, в течение которого задача будет выполнена, если применимо)</i>	<i>Примечания</i>	<i>Участники</i>
Составление операционного плана работ на второй год работ по контракту	–	Предоставление операционного плана в ноябре 2014 г.		Сергеев А.М. Чернобровцева М.Д.

Участники:

Сергеев А.М., научный руководитель, зам. директора ИПФ РАН;

Чернобровцева М.Д., научный сотрудник ИПФ РАН

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном промежуточном отчете о ходе научно-исследовательской работы представлена общая структура решаемых задач, описано конкретное исследование по одному из разделов и приведен план научно-исследовательского развития и план развития научно-исследовательского, образовательного и инновационного потенциала Сколтех.

По исследовательскому проекту 2 нами был разработан и создан светодиодный излучатель для получения равномерного светового потока в луночных планшетах на длинах волн 590 нм и 625 нм с регулируемыми интенсивностями и с прецизионным контролем температурного режима во время проведения исследований. Он позволяет проводить анализ световой, или фотодинамической, активности в системе клеточных культур *in vitro* для скрининга потенциальных фотосенсибилизаторов, осуществлять подбор концентраций, а также оценивать дозу оптического излучения, необходимую для проявления фотодинамического эффекта. По результатам этой работы подготовлена публикация.

В части НИР, касающейся развития научно-исследовательского, образовательного, инновационного потенциала СколТех, на следующем этапе январь-февраль 2014 г. планируется совещание с представителями российских предприятий (в том числе, КМЗ им. Зверева), специализирующихся в области медицинского приборостроения, а также участие в марте 2014 г. в подготовительном мероприятии инновационного семинара СколТех. Будет проведено согласование по участию в других мероприятиях, организованных СколТех, а также по другой деятельности, связанной с этой частью НИР.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Инструментальная установка для равномерного облучения большой поверхности (~10 см²) интенсивным светом выбранной длины волны.

Анализ светового воздействия на биологические объекты с помощью спектрофотометрии

При разработке препаратов для фотодинамической терапии необходимым шагом является исследование их функциональных свойств на клеточных культурах. Анализ световой, или фотодинамической, активности в системе *in vitro* позволяет проводить скрининг потенциальных фотосенсибилизаторов, осуществлять подбор концентраций, а также оценивать дозу оптического излучения, необходимую для проявления фотодинамического эффекта. Нами был разработан и создан светодиодный излучатель для получения равномерного светового потока в 96-луночных планшетах на длинах волн 590 нм и 625 нм с регулируемыми интенсивностями 1.2–30 мВт/см² и 2.6–90 мВт/см² соответственно с прецизионным контролем температурного режима во время проведения исследований. Предусмотрено независимое включение/выключение кластеров светодиодов по 4 элемента, что обеспечивает возможность параллельного облучения нескольких групп лунок стандартного 96-луночного культурального планшета различными световыми дозами (Рисунок А.1).

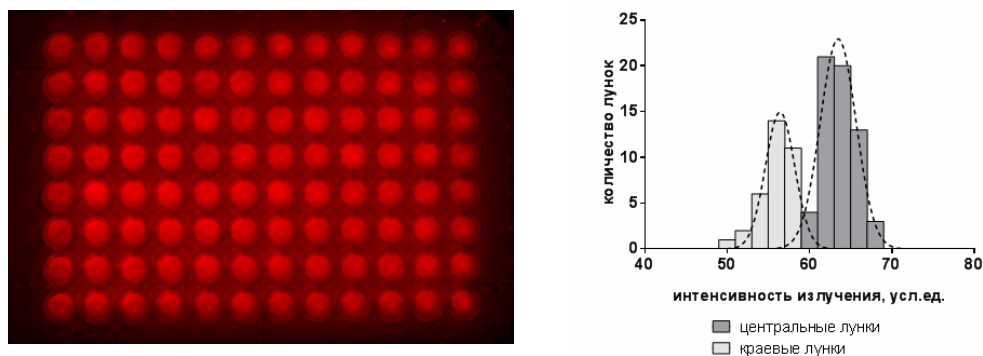


Рисунок А.1 – Распределение интенсивности излучения по площади планшета: слева – фотографическое изображение дна планшета, полученное через лист рассеивателя, закрепленный на дне планшета перед камерой; справа – гистограмма распределения интенсивности излучения, усредненной по площади лунки планшета. Пунктирные линии соответствуют аппроксимации нормальным распределением

Для апробации данной установки была исследована световая активность препаратов для фотодинамической терапии: получена зависимость фототоксичности препарата Фотосенс® от дозы света и показано наличие значительной световой активности для новосинтезированного флуорофора из класса порфиразинов.

Эффект светового воздействия на биологические объекты определяли с помощью МТТ-реагента (Alfa Aesar, Великобритания), вносимого в среду инкубации после облучения. В ходе своей жизнедеятельности клетки переводят данное соединение в окрашенный формазан (максимум поглощения при 570 нм), содержание которого определяли спектрофотометрически. Измерение оптической плотности содержимого каждой лунки проводили на планшетном спектрофотометре Synergy MX (BioTek, США). Жизнеспособность клеток в каждой лунке планшета оценивали по отношению величины оптической плотности раствора формазана в каждой пробе к контролю (без облучения), принимаемому за 100%. На рисунке 2 показана зависимость жизнеспособности клеток линии T24, предынкубированных с препаратом Фотосенс® (10^{-5} М), от дозы излучения. Показано, что гибель 50% клеток (показатель ИД50) наблюдается при облучении в дозе 5 Дж/см². Использование независимого коммутирования кластеров светодиодов позволило получить дозовую зависимость в эксперименте на одном планшете, при этом для каждого варианта облучения было получено 8 индивидуальных значений и проведен их статистический анализ.

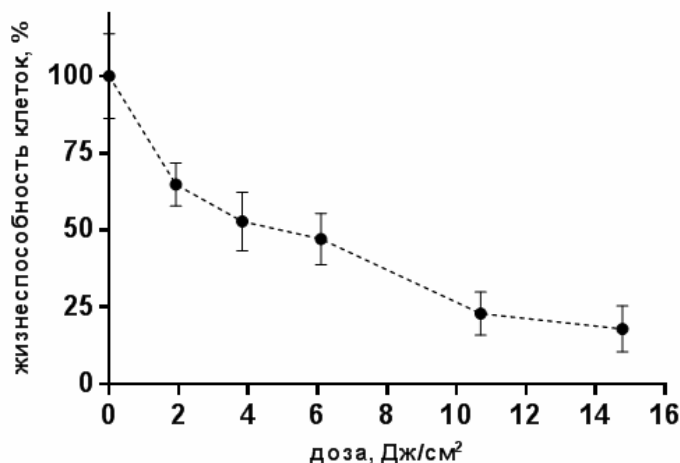


Рисунок А.2. – Фотоиндуцированная активность препарата Фотосенс®[®] в отношении культуры клеток T24 в зависимости от дозы света

Таким образом, реализованный нами подход позволяет осуществлять эффективный и очень быстрый скрининг новых соединений с целью выявления наиболее перспективных для флуоресцентной диагностики и фотодинамической терапии.

По результатам работы подготовлена статья Н.Ю. Шилягина, В.И. Плеханов, И.В. Шкунов, П.А. Шилягин, Л.В. Дубасова, А.А. Брилкина, Е.А. Соколова, И.В. Турчин, И.В. Балалаева, "Светодиодный излучатель для исследования *in vitro* световой активности препаратов для фотодинамической терапии" в журнал "Современные технологии в медицине".