

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(СПбНЦ РАН)

УДК 001

Рег. № НИОКТР АААА-А17-117041850232-4

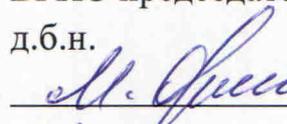
Рег. № НИОКТР АААА-А17-117041850231-7

Рег. № ИКРБС

УТВЕРЖДАЮ

ВРИО председателя СПбНЦ РАН

д.б.н.

 М.И. Орлова

«27» января 2021 г.



ОТЧЕТ

о научно-исследовательской работе

«Разработка теории трансформации научно-инновационного пространства Санкт-Петербурга в контексте инновационного развития российской экономики с учетом теоретико-методологических основ устойчивого технологического развития региона на основе инновационно-инвестиционной деятельности и воспроизводства и формирования научно-образовательного потенциала Санкт-Петербурга»

(тема 0240-2019-0001 Государственного задания)

(промежуточный, этап 2)

Зам. научного руководителя темы
Зам. председателя
СПбНЦ РАН по научной работе,
к.т.н., профессор



В.П. Говорухин

Санкт-Петербург
2020

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Заместитель руководителя темы
Заместитель председателя
СПБНЦ РАН по научной работе,
к.т.н., проф.

В.П. Говорухин (введение, заключение)

27.01.2021г.

Исполнители темы (все разделы):

в.р.и.о. председателя
СПБНЦ РАН
д.б.н.

М.И. Орлова (раздел 9)

27.01.2021г.

главный ученый
секретарь СПБНЦ РАН,
д.и.н., проф.

В.А. Попов (реферат)

27.01.2021г.

начальник НИО,
д.э.н., проф.

А.Г. Безудная (все разделы)

27.01.21г.

в.н.с., к.т.н.

Л.Д. Баринаева (раздел 8)

27.01.2021г.

в.н.с., к.ф.-м.н.

Л.Э. Забалканская (раздел 8)

28.01

в.н.с., д.г.-м.н.

В.М. Анохин (раздел 10)

26.01

в.н.с., д.ф.-м.н.

И.А. Митропольский (раздел 4)

с.н.с., д.б.н.

В.Е. Цыганов (раздел 6)

25.01.21г.

с.н.с., к.б.н.

Ю.Н. Бубличенко (раздел 9)

27.01.2021

с.н.с., к.б.н.

Л.А. Джапаридзе (раздел 5)

27.01.21г.

с.н.с., к.и.н.

Е.А. Иванова (раздел 1)

26.01.2021

с.н.с., к.х.н.

Т.Ф. Пименова (раздел 2, 3)

27.01

с.н.с., к.х.н.

Т.А. Цыганова (раздел 7)

27.01.21

н.с., к.б.н.

О.М. Землянко (раздел 5)

26.01

н.с.

Н.Ю. Быстрова (раздел 9)

26.01.2021

н.с.

А.А. Воронова (раздел 1)

27.01.21

н.с.

Л.Г. Николаева (раздел 1)

27.01.21

н.с.

И.Д. Сибаров (раздел 3)

25.01.21

м.н.с.

О.А. Солдатова (все разделы)

25.01.2021

Нормоконтролер

М.И. Калинов

27.01.2021г.

РЕФЕРАТ

Отчет 495 с., 1 кн., 27 табл., 207 рис., 236 ист., 2 прил.

НАЦИОНАЛЬНЫЕ ЦЕЛИ РАЗВИТИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ЦЕЛЕВЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ, ПРОГРАММА НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ, НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

Объект исследования – научно-образовательный потенциал Санкт-Петербурга как элемент инновационного развития российской экономики.

Цель НИР (в 2020 году) – выполнение Раздела 2 Государственного задания СПбНЦ РАН на 2020 год и Программы фундаментальных научно-исследовательских работ Санкт-Петербурга по направления ОНС СПбНЦ РАН с учетом требований Указа Президента Российской Федерации от 21 июля 2020 г. N 474 "О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года".

Методология проведения работы – совместное применение методов функционального анализа, научного прогнозирования и формирования приоритетов развития.

Результаты работы:

- научно обоснованные рекомендации по адаптации отдельных мероприятий Программы к национальным целям развития Российской Федерации на период до 2030 года;
- апробация в объеме, превышающем показатели, установленные Государственным заданием на 2020 год.

Область применения результатов и рекомендации по их внедрению – результаты могут быть использованы при оценке текущих и научно прогнозируемых среднесрочных целевых показателей в рамках:

- а) национальной цели «Сохранение населения, здоровье и благополучие людей»;
- б) национальной цели «Возможности для самореализации и развития талантов»;
- в) национальной цели «Комфортная и безопасная среда для жизни»;
- г) национальной цели «Достойный, эффективный труд и успешное предпринимательство»;
- д) национальной цели «Цифровая трансформация».

Экономическая значимость работы заключается в том, что откорректированная в рамках НИР 2020 года Программа позволяет максимально эффективно использовать ограниченные бюджетные ресурсы для достижения целевых показателей, характеризующих достижение национальных целей развития Российской Федерации и развития научно-образовательного потенциала Санкт-Петербурга.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ФОРМИРОВАНИЕ И РАЗВИТИЕ НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПОТЕНЦИАЛА САНКТ-ПЕТЕРБУРГА КАК ОСНОВНОГО ФАКТОРА ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ РЕГИОНА ...	10
1 Исследование публикационной активности российских ученых с целью обеспечения присутствия Российской Федерации в числе десяти ведущих стран мира по объему научных исследований и разработок к 2030 году.....	10
2 Общая характеристика научно-образовательного потенциала Санкт-Петербурга.....	101
3 Исследования в междисциплинарной области материаловедения, механики, прочности	106
4 Исследования по направлению физико-математических наук.....	155
5 Исследования в области биологии и медицины.....	190
6 Исследования по проблемам развития аграрно-промышленного комплекса региона	270
7 Исследования в области химических наук	283
8 Исследования в области междисциплинарных проблем транспортных систем	297
9 Исследования по направлениям экология и природные ресурсы	318
10 Исследования по направлениям наук о Земле.....	419
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	490
ПРИЛОЖЕНИЕ А	491
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	495

ВВЕДЕНИЕ

Указом Президента Российской Федерации от 21 июля 2020 г. N 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года» определены пять национальных целей развития Российской Федерации на период до 2030 года и установлены целевые показатели, характеризующие достижение национальных целей к 2030 году.

В рамках национальной цели «Возможности для самореализации и развития талантов» одним из основных целевых показателей является «обеспечение присутствия Российской Федерации в числе десяти ведущих стран мира по объему научных исследований и разработок».

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки (далее – ФГБУН) Санкт-Петербургский научный центр Российской академии наук (далее – СПбНЦ РАН), действующий на основании Устава ФГБУН СПбНЦ РАН (далее – Устав), утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (далее – МИНОБРНАУКИ РОССИИ) от 06 июля 2018 года №260, является научной организацией. СПбНЦ РАН является унитарной некоммерческой организацией, созданной в форме федерального государственного бюджетного учреждения.

Учредителем и собственником имущества СПбНЦ РАН является Российская Федерация. Функции и полномочия учредителя СПбНЦ РАН от имени Российской Федерации осуществляет МИНОБРНАУКИ РОССИИ. Функции и полномочия собственника имущества, переданного СПбНЦ РАН, осуществляют МИНОБРНАУКИ РОССИИ и Федеральное агентство по управлению государственным имуществом в порядке, установленном законодательством Российской Федерации, и в соответствии с Уставом СПбНЦ РАН.

СПбНЦ РАН осуществляет свою деятельность во взаимодействии с МИНОБРНАУКИ РОССИИ, иными федеральными органами исполнительной власти, органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации и органами местного самоуправления, Федеральным государственным бюджетным учреждением «Российская академия наук» (далее – РАН), государственными и общественными объединениями, профессиональными организациями, иными юридическими и физическими лицами.

РАН осуществляет научно-методическое руководство деятельностью СПбНЦ РАН, которое заключается:

- в участии в формировании государственного задания СПбНЦ РАН на оказание государственных услуг (выполнение работ) на проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований;
- в осуществлении оценки результатов деятельности СПбНЦ РАН;
- в проведении экспертизы научных и (или) научно-технических результатов, полученных СПбНЦ РАН;
- в согласовании кандидатур на должность Председателя СПбНЦ РАН.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ Государственным заданием № 075-01336-20-02 на 2020 год и на плановый период 2021 и 2022 годов от 21 июля 2020 года СПбНЦ РАН определены фундаментальные исследования «Разработка теории трансформации научно-инновационного пространства Санкт-Петербурга в контексте инновационного развития российской экономики с учетом теоретико-методологических основ устойчивого технологического развития региона на основе инновационно-инвестиционной деятельности и воспроизводства и формирования научно-образовательного потенциала Санкт-Петербурга 0240-2019-0001».

Срок реализации научной темы:

- год начала - 2020 год;
- год окончания – 2022 год.

Вид научной деятельности – фундаментальные исследования.

Актуальность проводимых научных исследований в рамках научной темы обусловлена:

- необходимостью координации по поручению МИНОБРНАУКИ РОССИИ деятельности организаций, подведомственных МИНОБРНАУКИ РОССИИ;
- необходимостью организации и проведения фундаментальных, поисковых и прикладных научных исследований, имеющих важное значение для хозяйственного и культурного развития города Санкт-Петербурга и Ленинградской области (далее - Регион).

Научная новизна научной темы, значение для развития направлений фундаментальных, поисковых и прикладных исследований заключается в:

- комплексном характере научных исследований, учитывающем трансформационные процессы развития общества, экономики, территорий и роли научно-образовательного потенциала Санкт-Петербурга в этих процессах;
- междисциплинарном характере научных исследований процессов формирования, развития и использования научного потенциала в территориальных социально-экономических системах Региона;

– нацеленности на решение проблем формирования, функционирования и развития среды обитания человека в Регионе и в Российской Федерации.

ФГБУН Санкт-Петербургский научный центр РАН с 2014 года выполняет фундаментальные междисциплинарные исследования по указанной теме. В ходе выполненных в предшествующие годы исследований получены следующие основные результаты:

В 2014 году:

– выявлены наиболее перспективные направления развития мировой фундаментальной науки;

– впервые исследован научный потенциал научных организаций Санкт-Петербурга на предмет возможностей осуществления ими фундаментальных исследований по наиболее перспективным направлениям развития мировой фундаментальной науки;

– сформирован перечень направлений фундаментальных исследований, соответствующих наиболее перспективным направлениям развития мировой фундаментальной науки и возможностям осуществления научными организациями Санкт-Петербурга фундаментальных исследований;

– выработаны предложения по формированию стратегии научно-инновационного развития Санкт-Петербурга;

в 2015 году:

– разработан укрупненный состав НИР по каждому перспективному направлению фундаментальных исследований;

– сформированы экспертно-координирующие органы, обеспечивающие разработку и реализацию программы трансформации научно-инновационного пространства Санкт-Петербурга – Президиум СПбНЦ РАН и объединенные научные советы (ОНС) СПбНЦ РАН (по физико-математическим наукам, по общественным и гуманитарным наукам, по материаловедению, механике, прочности, по химическим наукам, по наукам о Земле, по биологии и медицине, по экологии и природным ресурсам, по энергетике, по нанотехнологиям, по развитию агропромышленного комплекса, по междисциплинарным проблемам транспортных систем);

– проведена апробация разработанных предложений по перспективным направлениям фундаментальных исследований, составу НИР по отдельным перспективным направлениям и по формированию стратегии научно-инновационного развития Санкт-Петербурга;

в 2016 году:

разработан проект программы фундаментальных НИР на период до 2030 года (далее – Программа), предполагаемой к осуществлению в рамках реализации теории трансформации научно-инновационного пространства Санкт-Петербурга в контексте инновационного развития российской экономики с учетом теоретико-методологических основ устойчивого технологического развития региона на основе инновационно-инвестиционной деятельности и воспроизводства и формирования научно-образовательного потенциала Санкт-Петербурга;

продолжена апробация разработанных предложений по перспективным направлениям фундаментальных исследований, составу НИР и по формированию стратегии научно-инновационного развития Санкт-Петербурга – посредством их рассмотрения на заседаниях ОНС, представления на российских и международных научных и научно-практических конференциях и семинарах, а также опубликования в ведущих научных журналах;

в 2017 году:

- выполнена актуализация мероприятий Программы и ее переформатирование в соответствии со Стратегией научно-технологического развития Российской Федерации (далее – Стратегия), утвержденной Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 года № 642

- осуществлено расширение направлений и мероприятий Программы за счет включения в нее исследований, которые могут максимально полно и рационально использовать научный потенциал научных и образовательных организаций Санкт-Петербурга;

в 2018 году:

- составлен аннотированный перечень основных стратегических документов (стратегий, государственных и региональных программ), успешной реализации которых могут способствовать исследования, предлагаемые в рамках Программы;

- произведена адаптация отдельных мероприятий Программы к основным стратегическим документам, принятым федеральными органами государственной власти и разработаны предложения по корректировке мероприятий Программы и/или основных стратегических документов;

- осуществлена апробация предложений по исследовательским проектам, составляющим основу мероприятий Программы;

в 2019 году:

- адаптация Программы в целях повышения эффективности реализации национальных проектов;

– актуализация Программы с целью конкретизации мероприятий Программы, осмысления и обоснования новых перспективных направлений фундаментальных исследований;

– продолжена апробация предложений по исследовательским проектам, составляющим основу мероприятий Программы.

Исследования, выполненные по теме НИР в 2020 году, были скорректированы с учетом требований Указа Президента Российской Федерации от 21 июля 2020 г. N 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года».

Выполнены:

– исследование публикационной активности российских для получения новых знаний с целью обеспечения присутствия Российской Федерации в числе десяти ведущих стран мира по объему научных исследований и разработок к 2030 году;

– исследование перспектив воспроизводства и развития научно-образовательного потенциала Санкт-Петербурга в различных предметных областях науки;

– исследования по направлениям наук о Земле, физико-математических наук, общественных и гуманитарных наук, химических наук, биологии и медицины, экологии и природных ресурсов, материаловедения, механики, прочности;

– исследование перспектив создания высокоэффективных растительно-микробных систем для обеспечения устойчивого развития аграрно-промышленного комплекса Региона;

– исследование общесистемных вопросов устойчивого развития общественного транспорта современного мегаполиса с целью повышения качества жизни при обеспечении устойчивой мобильности.

Научные руководители выполненных исследований: академик РАН Румянцев Владислав Александрович, академик РАН Казанский Николай Николаевич, академик РАН Сурис Роберт Арнольдович, академик РАН Морозов Никита Федорович, академик РАН Шевченко Владимир Ярославович, академик РАН Наточин Юрий Викторович, академик РАН Инге-Вечтомов Сергей Георгиевич, академик РАН Попов Владимир Дмитриевич, д.т.н., профессор Белый Олег Викторович.

ФОРМИРОВАНИЕ И РАЗВИТИЕ НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПОТЕНЦИАЛА САНКТ-ПЕТЕРБУРГА КАК ОСНОВНОГО ФАКТОРА ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ РЕГИОНА

1 Исследование публикационной активности российских ученых с целью обеспечения присутствия Российской Федерации в числе десяти ведущих стран мира по объему научных исследований и разработок к 2030 году

В 2020 году в рамках государственного задания по теме «Разработка теории трансформации научно-инновационного пространства Санкт-Петербурга в контексте инновационного развития российской экономики с учетом теоретико-методологических основ устойчивого технологического развития региона на основе инновационно-инвестиционной деятельности и воспроизводства и формирования научно-образовательного потенциала Санкт-Петербурга» были продолжены работы по разделу 9 «Гуманитарные и общественные науки» Программы перспективных направлений развития в Санкт-Петербурге фундаментальных научно-исследовательских работ на период до 2030 года, разработанной СПбНЦ РАН. Одним из проектов раздела является проект 9.1.1 «Трехвековая история становления и развития науки в Санкт-Петербурге: когнитивные, социально-культурные, институциональные и биографические аспекты». Среди задач исследования – изучение публикационной активности российских ученых. Исследование осуществляется в рамках Плана НИР СПбНЦ РАН на 2019–2023 гг.

Одна из целей Национального проекта «Наука» – вхождение России к 2024 г. в число пяти ведущих стран мира, осуществляющих научные исследования и разработки в областях, определяемых приоритетами научно-технологического развития. По числу публикаций, включенных в международную информационную базу Scopus в 2019 году, Россия занимала восьмое место, а по общему количеству публикаций в базе – двенадцатое. Чтобы выдержать этот темп и занять в 2024 г. пятое место, российским ученым необходимо приложить большие усилия. Новым указом от 21.07.2020 г. № 474 Президент РФ внес корректировку сроков реализации национальных проектов – до 2030 года, изменился и один из целевых показателей – обеспечение присутствия Российской Федерации в числе не пяти, а десяти ведущих стран мира по объему научных исследований и разработок.

Для изучения проблемы рассмотрены некоторые аспекты, связанные с оценкой публикаций российских ученых, индексируемых в базе Scopus за 1996–2019 гг.: были выявлены страны-лидеры по количеству публикаций; определены публикации России и других стран по 27 предметным областям, по десяти из которых проведены более подробные исследования; выделены публикации российских ученых в соавторстве с зарубежными партнерами. Основные результаты, полученные в ходе проведенных

исследований, содержатся в монографии, одной статье, еще одна статья подготовлена к публикации. Эти результаты были представлены в докладах на двух научных конференциях, тезисы выступления на одной из них опубликованы. Задачи, поставленные в рамках исследования по разделу НИР на этапе 2020 года, выполнены в полном объеме.

1.1 Состояние проблемы, ее актуальность

В последнее десятилетие в России появилось большое количество статей, посвященных публикационной активности российских ученых, ее показателям в международных информационно-аналитических базах WoS и Scopus. Связано это с тем, что в число наукометрических показателей, по которым оценивается эффективность работы научных организаций, входит количество публикаций в изданиях, индексируемых в этих базах.

Вопрос о необходимости создания системы оценки начал активно подниматься в середине 2000-х годов. За последующие годы было предпринято несколько попыток проведения оценок результативности, которые касались, прежде всего, научно-исследовательских институтов в составе государственных академий. Этот процесс проходил на фоне реформ в организации российской науки и вызвал, в свою очередь, рост интереса к наукометрии, в частности, к ее показателям.

В 2004 году коллегия Министерства образования и науки РФ одобрила Концепцию участия Российской Федерации в управлении имущественными комплексами государственных организаций, осуществляющих деятельность в сфере науки. В ней содержались основные цели, задачи и принципы государственной политики в сфере оптимизации размера и структуры государственного сектора науки (Концепция не была утверждена в установленном порядке). Очередная попытка реформирования государственного сектора науки была предпринята при подготовке проекта доклада на заседании Правительства Российской Федерации 26 мая 2005 года по вопросу «О повышении эффективности деятельности государственного сектора науки» и проекта Плана мероприятий по повышению эффективности деятельности государственного сектора науки на 2005–2006 годы [57]. В нем для оценки эффективности и результативности государственного сектора науки выделялись две категории индикаторов: экономические, связанные с обеспечением поступлений в бюджет, привлечением и освоением внебюджетных средств, ростом рыночной стоимости организаций науки и др.; функциональные, связанные с исполнением государственных функций, реализацией стратегических приоритетов государства, обеспечением позитивных структурных сдвигов в экономике, производством общественных благ. Одним из функциональных индикаторов значился показатель количества публикаций (индексы цитирования ведущих исследователей) в реферируемых отечественных и зарубежных научных журналах.

Поиск и апробация различных методов и инструментов оценивания научных организаций с учетом требований, предъявляемых к их деятельности со стороны государства, продолжались. В 2009 году Министерство образования и науки РФ утвердило

«Типовое положение о комиссии по оценке результативности деятельности научных организаций, выполняющих научно-исследовательские, опытно-конструкторские и технологические работы гражданского назначения», и «Типовую методику оценки результативности деятельности научных организаций, выполняющих научно-исследовательские, опытно-конструкторские и технологические работы гражданского назначения», в основе которой лежали наукометрические показатели [64]. Оценка результативности деятельности научных организаций позволяла ранжировать их и выделять лучшим из них специальную государственную поддержку. За десять лет методика претерпела существенные изменения, однако ежегодное количество публикаций ученых в изданиях, индексируемых в международных информационно-аналитических системах научного цитирования Web of Science и Scopus, является одним из наиболее важных отчетных показателей научного учреждения.

В 2012 году вышел Указ Президента Российской Федерации, цель которого – дальнейшее совершенствование государственной политики в области образования и науки. В соответствии с ним Правительство Российской Федерации должно было обеспечить увеличение к 2015 году доли публикаций российских исследователей в общем количестве публикаций в мировых научных журналах, индексируемых в базе данных «Сеть науки» (Web of Science), до 2,44 процента [76].

«Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации», утвержденная Указом Президента РФ в декабре 2016 года, определила приоритеты научно-технологического развития Российской Федерации на ближайшие 10–15 лет и конкретизировала результаты, ожидаемые вследствие изменения роли науки и технологий в развитии общества, экономики и государства [75]. В ней среди проблем, препятствующих научно-технологическому развитию страны, отмечалась низкая результативность научно-технических разработок, в частности, малый объем публикаций в высокорейтинговых журналах. Подчеркивалась необходимость их решения.

В соответствии с Указом Президента РФ о национальных целях развития страны [77] к 2024 году необходимо обеспечить присутствие Российской Федерации в числе пяти ведущих стран мира, осуществляющих научные исследования и разработки в областях, определяемых приоритетами научно-технологического развития, которые были обозначены в «Стратегии научно-технологического развития».

Меры по увеличению публикационной активности принимаются также в рамках национального проекта «Наука», паспорт которого был утвержден на заседании Президиума Совета при Президенте РФ по стратегическому развитию и национальным проектам 3 сентября 2018 года. Проект ставит цель, в соответствии с которой к 2024 году

Россия должна войти в первую пятерку стран по количеству научных статей в приоритетных областях. Чтобы достичь этого, российским ученым необходимо удвоить рост числа публикаций.

В 2019 году была утверждена разработанная с учетом целевых показателей национальных проектов «Наука», «Образование» и «Цифровая экономика» Государственная программа Российской Федерации «Научно-технологическое развитие Российской Федерации» [62]. Один из ожидаемых результатов от реализации Программы – то, что «к 2030 году Российская Федерация войдет в пятерку ведущих стран мира по удельному весу в общем числе статей в областях, определяемых приоритетами научно-технологического развития, в изданиях, индексируемых в международных базах данных».

После того, как в мае 2020 года Счетная палата заявила о срыве сроков исполнения нацпроектов, Президент Российской Федерации Владимир Путин подписал новый указ о национальных целях развития страны, в который внес корректировку сроков реализации национальных проектов – до 2030 года. Кроме того, изменились некоторые целевые показатели, один из которых – обеспечение присутствия Российской Федерации в числе не пяти, а десяти ведущих стран мира по объему научных исследований и разработок [78].

Данные из международных информационно-аналитических баз WoS и Scopus были признаны в качестве критериев системы оценки эффективности деятельности научных организаций и в других странах. Однако и в нашей стране, и за рубежом в последние годы публиковались материалы, целью которых являлось совершенствование этой оценки. Многие ученые и практики с мировым именем подчеркивали, что для оценки эффективности деятельности научных организаций наукометрические показатели должны использоваться лишь в качестве вспомогательного средства к оценке независимыми экспертами-специалистами в конкретных областях знания. На приоритете содержательных экспертиз настаивал и «Лейденский манифест для наукометрии» [27]. Подобное мнение содержится в открытом обращении Совета по этике научных публикаций АНРИ «Библиометрия во благо российской науки» [4], Заявлении трех академий наук – Французской академии наук, Немецкой академии «Леопольдина» и Лондонского Королевского научного общества [17]. В Открытом письме академика В. Тишкова [74] и Постановлении бюро отделения историко-филологических наук указывается на необходимость отказа от использования наукометрических показателей и замену их «содержательной экспертизой результатов научной деятельности с привлечением независимых экспертов, в том числе из числа авторитетных зарубежных ученых», при оценке результативности деятельности научных организаций гуманитарного профиля [58].

В результате таких выступлений в 2019 году Министерство науки и высшего образования РФ утвердило новую методику оценки работы ученых [63]. В соответствии с ней с 2020 года оценка результативности деятельности научных организаций будет проводиться на основе экспертного анализа с учетом не только количественных, но и качественных показателей, с отнесением научной организации к одной из категорий. Для этого Минобрнауки РФ разработало методику расчета качественного показателя «Комплексный балл публикационной результативности» [44], на основе которой провело корректировку государственных заданий научных организаций на 2020 год. По разъяснениям заместителя директора департамента стратегического развития, мониторинга и оценки И.А. Тихомирова на вебинаре, состоявшемся в январе 2020 года, методика применяется к существующему уровню финансирования и не скажется на будущем финансировании. В этой методике заложена «дорожная карта», в ней предусмотрен рост комплексного балла публикационной результативности организации, который обеспечивается за счет изменения финансирования и повышения ее производительности. Согласно методике, в 2020 году организация должна достичь комплексного балла публикационной результативности на 10% выше, чем в 2018 году, только за счет государственного задания, без учета грантов. Для организаций-лидеров рост может быть ниже (от 6,7% за два года), а для организаций, отстающих в своих научных направлениях – до 30% за два года.

Новая методика оценки публикационной результативности стала поводом для очередного спора о том, насколько она применима к научным организациям, профиль которых – гуманитарные или общественные науки. Российская академия наук поддержала предложения гуманитарных отделений РАН по корректировке системы оценки публикаций ученых и направила их в Министерство науки и высшего образования РФ. Обновленная методика расчета качественного показателя была опубликована на сайте министерства 25 августа 2020 года.

Таким образом, совершенствование системы оценки результативности деятельности научных организаций продолжается.

1.2 Методологические проблемы изучения международной публикационной активности в России

Расцвет наукометрии связан с появлением современных систем учета научных публикаций. Обработка с помощью вычислительных машин научных журналов по всем направлениям науки во всех странах и подсчет ссылок на каждую научную публикацию – вот основа современной наукометрии.

В настоящее время существует десяток международных информационных баз по различным направлениям научных исследований: Chemical Abstracts, Inspec, PubMed, Compendex, DBLP, MathSciNet, Embase, Medline, Pascal и другие. Они формируются и поддерживаются разными организациями. База Chemical Abstracts создана Американским химическим обществом, Inspec – Институтом электротехники Великобритании, Embase – датской компанией Excerpta Medica, Medline – американской Национальной библиотекой по медицине, Pascal – французским Институтом научной и технической информации. Нужно сказать, что не во всех базах ведется подсчет индексов цитирования.

Создаются и национальные базы научных публикаций. Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) является примером национальной библиографической базы. Основанный в 2005 году на платформе eLIBRARY.RU РИНЦ должен давать инструментарий для библиометрических исследований научной деятельности. Подобные базы созданы в Китае, Южной Корее, Японии.

Наиболее развитыми в мире в области научной публикационной активности являются две информационно-поисковые системы. Это американская информационно-аналитическая база Web of Science (WoS) и европейская база Scopus.

В 50-е гг. XX века были напечатаны первые статьи Юджина Гарфилда по цитированию [82]. В 1961 году в Соединенных Штатах Америки по инициативе Ю. Гарфилда был создан Институт научной информации (Institution of Science Information – ISI). Экспериментальный вариант «Индекса научных ссылок» (Science Citation Index, сокращенно SCI) был выпущен в 1963 году, а с 1964 года он стал выходить регулярно [83]. В дальнейшем созданная база стала известна как Web of Knowledge («Сеть знаний»), ее часть – Web of Science («Сеть науки»). В 2008 году Институт научной информации был преобразован в корпорацию Thomson Reuters, которая на основе этой базы занимается составлением библиографических баз данных научных публикаций в журналах, определением индекса цитируемости, импакт-фактора и других показателей. В настоящее

время в WoS обрабатывается более 12 000 журналов, около 120 000 материалов конференций.

В 2004 году при издательском доме Elsevier была создана библиографическая и реферативная база Scopus. На самом деле, эта база собиралась с начала 1990-х годов. В нее входит более 90% контента WoS. Она насчитывает свыше 22 000 рецензируемых журналов, 280 нерецензируемых отраслевых журналов, около 8 млн докладов на конференциях. На основе анализа данных Scopus рассчитывается показатель SCImago Journal Ranking (SJR). База Scopus существует около 17 лет, она очень открытая и прозрачная, в настоящее время в ней содержатся данные по 240 странам и подчиненным им территориям, начиная с 1996 года.

На основе этих баз данных проводятся исследования по сопоставлению публикационной активности различных стран мира, вычисляются импакт-факторы журналов, индексы цитирования.

В 60-е годы XX века во всем мире вырос интерес к науке. В СССР возникает исследовательское направление «науковедение», в этом направлении вместе со своими учениками и коллегами работают Г.М. Добров, С.А. Кугель, В.В. Налимов и другие ученые-науковеды. Появляются переводы на русский язык книг ведущих западных специалистов-науковедов [55]. Почти сразу же после создания Института Гарфилда и выхода «Индекса научных ссылок» его работы стали известны в СССР. В это же время вводится в оборот и термин «наукометрия» [3].

Исследуем подходы, которые используются в российской литературе для изучения международной публикационной активности ученых.

В 1969 году выходит книга В.В. Налимова и З.М. Мульченко, в которой подробно рассматривается термин «наукометрия» [54]. Авторы определяют наукометрию как «количественные методы изучения развития науки как информационного процесса» [с. 12]. Науку можно изучать, используя разные модели: экономическую, социологическую, демографическую, модель системотехники и т.д. Выбор модели определяет методологию исследования: что и как измеряется, с каких позиций следует интерпретировать результат. Если рассматривать науку как информационный процесс, нужно определить, что является носителем научной информации. Авторы считают, что таким носителем является научная публикация и особый язык научных ссылок в информационных потоках науки. То есть «система информационных ссылок рассматривается как особый язык научной информации» [с. 16]. Главной причиной, которая определяет интерес к деятельности Института научной информации, является рост числа людей, занимающихся наукой, увеличение количества научных журналов и, соответственно, рост научных публикаций.

Ю. Гарфилд воплотил эту идею в Science Citation Index [83]. Появился новый подход: «Переход от мало оправдавших себя искусственных поисковых систем (дескрипторы, рубрикаторы) к естественным, основанным на содержащихся в самой публикации признаках (фамилии авторов, слова заглавия, ссылки, место работы, благодарность). Возможность упорядочения публикаций по этим признакам появилась лишь после создания информационных ЭВМ» [с. 133].

В рамках информационной модели лежит и изучение научных журналов как каналов связи. При этом можно изучать фронты научных исследований; эффективность усилия различных стран на развитие мировых информационных потоков.

В.В. Налимов с коллегами провел исследование оценки вклада, вносимого отдельными странами в мировой научный информационный поток [3]. По сути, шел анализ цитирования. Для исследования отбирались журналы разных стран по физической химии, молекулярной спектроскопии, металловедению, аналитической химии, математической статистике, философии, трех разделов биологии за 1965 год. Методология отработывалась в ходе исследования. В расчет принимались ссылки, содержащиеся в статьях, не учитывались ссылки на краткие сообщения, обзоры, письма в редакцию и рецензии на книги. Самоцитирование не исключалось, допускалось, что оно не существенно. При анализе применялись реферативные журналы и специальные справочники. Вывод исследования: в данных разделах науки имеется два мало пересекающихся информационных потока – один на английском языке, второй – на русском. Первый поток включает 50% публикаций, второй – около 20%. Уровень цитируемости в журналах других стран в первом случае совпадает с уровнем публикуемости, во втором – в несколько раз меньше, на него падает лишь 3–4% цитирования.

В книге также приводится пример исследования реферативного журнала «Physics Abstracts» за 1961 год, выполненного Д. Прайсом, в котором изучалось распределение рефератов по 19 подразделам (разделам физики) по 14 странам. На этом примере показано, каким интересным может оказаться такое исследование, если его провести за несколько лет по многим отраслям знаний.

С 1978 года начал регулярно выходить международный журнал «Scientometrics», посвященный наукометрии. Название журнала – это английский перевод русского термина «наукометрия». Первый главный редактор этого журнала венгр Тибор Браун выбрал термин, предложенный Налимовым в виде названия своей книги.

В.В. Налимов подготовил программу развития наукометрической деятельности в нашей стране, которая включает: создание российского индекса научного цитирования, организация отечественного наукометрического журнала, введение в программы

вузовского обучения науковедческих дисциплин. В стране в 60-е – 80-е годы XX века было организовано несколько центров исследования науки и наукометрии, но все они функционировали несогласованно и, самое главное, не было создано постоянно работающего индекса научного цитирования [12]. Одним из выводов книги является необходимость создания в стране отечественного Указателя научных ссылок, однако это предложение долгое время оставалось нереализованным, а существующий в настоящее время (с 2005 года) Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) пока еще нельзя считать завершенным.

Заметный вклад в развитие науковедческих исследований внесла И.В. Маршакова-Шайкевич. Первые ее работы были опубликованы еще в 1970-е годы. И.В. Маршакова и Г. Смолл одновременно предложили метод анализа коцитирования научных публикаций, основанный на том, что между документами имеется связь, если эти документы совместно цитируются в опубликованных позднее документах. [Маршакова, 1973; Small, 1973]. Этот метод используется до сих пор для определения новых фронтов исследования.

С середины 70-х годов XX века появляются статьи и обзоры И.В. Маршаковой, посвященные системе ссылок, сетям цитирования, частотному словарю ключевых слов [33–36]. В 1988 году выходит ее книга «Системы цитирования научной литературы как средство слежения за развитием науки», в которой она выделяет два подхода к использованию библиометрических методов изучения науки [38]. Первый подход был связан с получением количественных характеристик того или иного явления в науке, «изучая статистику библиографического материала по странам, рубрикам журнала, авторам и т.д. исследователи различных областей знания, и прежде всего науковеды, пытались делать выводы о значимости исследуемого объекта: продуктивности ученого, научной эффективности тех или иных публикаций, о научном потенциале страны и т.д.» [с. 103]. Второй подход зародился в 1970-е годы и, как отмечает автор, «направлен на то, чтобы через статистику – количественные показатели информационных потоков – получать качественные структуры науки или отдельных ее областей» [с. 104]. Это, в первую очередь, анализ активных исследовательских фронтов, выявленных методом коцитирования, атласы и карты науки. Основное внимание в этой книге посвящено рассмотрению различных баз данных системы Science Citation Index и описанию метода коцитирования.

В 1995 году вышла книга Маршаковой-Шайкевич «Вклад России в развитие науки: библиометрический анализ» [40]. В ней автор вновь возвращается к двум подходам к исследованию библиометрических данных. «Простой библиометрией» Маршакова называет изучение динамики отдельных объектов (публикаций, авторов, ключевых слов, их распределение по странам, рубрикам научных журналов и т.п.). Выделение связей между

объектами, их корреляция и классификация – это второй подход. Маршакова называет его «структурной библиометрией». Основываясь на данных Web of Science, она применяет оба подхода.

В своей книге Маршакова рассматривает публикационную активность в 1988–1993 гг. по странам и городам, разделяя этот период на два: 1988–1989 гг. и 1990–1993 гг. Она анализирует все страны, имеющиеся в базах Института научной информации. Общее число публикаций показывает место науки данной страны в общемировом потоке. Число публикаций по видам наук характеризует национальную научную систему: какие области науки в ней преобладают, на каком месте в мире эта страна находится. Темпы роста этих показателей определяют изменения в положении страны в отдельных отраслях науки. Автор делает вывод, что в «трех различных регионах мира мы наблюдаем усиление научной активности, новые страны входят в научное мировое сообщество, вклад которых в общемировой прогресс все более и более ощутим» [с. 245].

Маршакова анализирует данные публикационной активности по 120 городам мира, делая вывод об их вкладе в развитие естественных и гуманитарных наук. По Советскому Союзу она выделяет республики и города, сравнивая их показатели до и после распада Союза. Опираясь на данные о среднем числе ссылок на статью, Маршакова проводит ранжирование научных центров СССР, отдельных ученых и публикаций, вклад которых в естественные науки в 1970-е – 1980-е годы был значительным.

Место России среди стран мира было представлено в 17 областях естественных и точных наук: физике, астрофизике, математике, компьютерных науках, химии, материаловедении, науках о Земле, биологии и биохимии, молекулярной биологии и генетике, нейронауках, иммунологии, фармакологии, ботанике и зоологии, клинической медицине, технических науках, экологии, сельскохозяйственных науках. Мультидисциплинарные статьи были собраны в 18-ом разделе. Маршакова характеризует число публикаций и цитирования за весь период 1981–1992 гг. по 48 странам мира по 18 научным областям, а также публикации 81 страны по пятилетним периодам: 1981–1985 и 1989–1993 гг. Под цитированием понимаются два показателя: совокупное число ссылок и среднее число ссылок на одну публикацию.

В статье, опубликованной в 2000 году, Маршакова исследует вклад России в общемировой прогресс науки в 1993–1997 гг. [41]. В ней рассматриваются публикации, вышедшие в свет с 1993 по 1997 год. Последовательность анализа такова. Вначале выделяются те страны, которые входят в число лидеров. Затем определяется доля областей знания в мировом потоке научных публикаций. Наконец, указывается место этих областей

знания в российских научных публикациях. Доля публикаций России по отдельным областям естествознания следующая:

- физика – 9,7%),
- химия – 7,4%,
- геонауки – 7,2%,
- астрофизика – 6,9%,
- материаловедение – 4,6%,
- техника – 4,3%,
- математика – 3,4%,
- молекулярная биология и генетика – 2,9%,
- микробиология – 2,2%,
- биология и биохимия – 2,0%,
- науки о растениях и животных – 1,7%,
- агронауки – 1,5%,
- экология (охрана окружающей среды) – 1,2%.
- По цитируемости российских публикаций картина несколько иная:
- астрофизика, иммунология, фармакология – свыше 50%,
- физика, молекулярная биология и генетика, биология и биохимия, нейронауки – более 40%,
- химия, геонаука, микробиология – свыше 30%,
- математика, техника, науки о растениях и животных, экология, компьютерные науки – более 20%.

В 2008 году вышла в свет очередная книга Маршаковой «Россия в мировой науке» [42]. Методология осталась прежней: простая библиометрия и структурная. В книге использованы данные о научных публикациях в 1993–1997 гг., 1996–2000 гг., 1998–2002 гг. более чем 160 стран мира. Отмечается, что в числе ведущих стран в науке появляется Китай. В Европе наращивают объемы научных публикаций Италия и Испания, происходит рост научной продукции в Греции и Турции. Становится очевиднее и вклад Индии, а также стран «азиатских тигров». Что касается России, то по общему числу публикаций она спустилась на 9-ое место, высокие позиции остаются в публикациях по физике (4-ое место), химии (6-ое место), математике, науках о космосе (астрофизике) и науках о Земле (10-ое место). Чрезвычайно низкий ранг России в клинической медицине (27-ое место), фармакологии (28-ое), экологии (28-ое) и компьютерным наукам (26-ое место).

Регулярно появляющиеся статьи и книги этого автора отражают изменения в публикационной активности российских ученых.

И Налимов, и Маршакова занимались изучением места науки нашей страны в мире на основании данных Института научной информации США – базы данных Thomson-Reuter. В самих Соединенных Штатах 50 лет существования базы данных этого института сопровождалось многочисленными и разнообразными исследованиями. Следует назвать Й. Николайсена, Г. Смолла, Б. Кронина, Л. Лаудана, Дж. Раветца, Н. Каплана, С. Болди, М. Моравчика, П. Муругессана, С. Мойтру, М. Вейнштока, М. Лайна, А. Сандисона, Дж. и С. Коулов, Дж. Гильберта, Г. Бавеласа, Х. Моеда, М. Кохена, М. Кеселера.

Вернемся к российским научным публикациям. В 2014 году М.А. Акоевым, В.А. Маркусовой, О.В. Москалевой и В.В. Писляковым была издана монография «Руководство по наукометрии: индикаторы развития науки и технологии» [1], которая открывается вступительным словом Ю. Гарфилда. Гарфилд с удивлением замечает, что во время своих многочисленных визитов в Советский Союз он был приятно удивлен интересом, который проявляли советские ученые к разработкам Института научной информации. Этот интерес шел вразрез с ограниченной их доступностью, в те времена было только 10 подписок на Science Citation Index на весь Советский Союз. «В 1992 г. Институт научной информации стал составной частью компании Thomson Reuters, – пишет Гартфилд. – Сегодня Thomson Reuters Web of Science, наследница Science Citation Index, доступна тысячам ученых в России и соседних странах. Более широкое использование современных информационных ресурсов и инструментов поможет раскрыть огромный потенциал российской науки, поэтому данную книгу, отчасти посвященную и возможностям Web of Science, можно считать актуальной и долгожданной» [с. 9]. В конце книги даны переводы трех статей Гарфилда: 1974, 1990 и 2009 годов издания.

В предисловии «от авторов» названа цель книги – рассмотреть основные методы измерения науки и технологии, применение которых позволит «найти ответы на ключевые вопросы наукометрии: что мерить, как мерить и зачем мерить» [с. 10]. То есть, авторы полагают, что сюжеты, из которых состоит их книга, относятся к наукометрии.

Во вводной статье В.А. Маркусовой подробно описана история создания Института научной информации и индекса цитирования. В статье упоминается, что первое издание SCI появилось в ВИНТИ в 1965 году, то есть год спустя после начала его регулярного издания. В этом же году вышла книга «Основы научной информатики», в которой дано детальное описание индекса научного цитирования [59]. Р. Гиляревский, один из авторов процитированной книги, неоднократно предпринимал попытки создать в ВИНТИ АН СССР экспериментальный массив для Индекса цитирования отечественной литературы, «но по независящим от него причинам эта работа не получила развития» [1, с. 36].

В монографии рассматриваются библиометрические индикаторы, связанные с цитируемостью научных публикаций, точнее, со ссылками на ту или иную статью. В базе данных по каждой статье из учитываемых журналов содержится список литературы, на которую есть ссылки в данной статье. Собственно сам текст статьи в базе отсутствует. Кроме того, указываются сведения о статье (авторы, заглавие статьи, название журнала, год выпуска, том, номер, страницы), реферат, ключевые слова, присвоенная статье рубрика и тип публикации, организации, в которых работают авторы, номер ISSN журнала, язык статьи, название и адрес издательства. Тематическая рубрика, к которой относится статья, соответствует тематической направленности журнала или, что то же самое, научной дисциплине или области науки. Каждый журнал определен в одну или несколько рубрик. Тип документа может быть статьей, обзором, заметкой редактора, письмом. Это необходимо учитывать, так как при подсчете отдельных библиометрических показателей берутся лишь некоторые типы публикаций.

По мнению В.В. Пислякова, одного из авторов монографии, база данных Web of Science Core Collection, содержит семь блоков: индекс научного цитирования по естественным, техническим, медицинским наукам; индекс цитирования по общественным наукам; индекс цитирования по гуманитарным наукам; два вида индексов цитирования по конференциям по естественным и общественным наукам; два вида индексов по книгам, соответственно, по естественным и гуманитарным наукам. Помимо этого, платформа Web of Science включает специализированные базы данных по патентам, национальные (страновые) базы научного цитирования, тематические реферативные базы данных и другие сопутствующие базы данных. Имеются различные аналитические разработки: по журналам; по библиометрическим показателям авторов, организаций, стран.

Подсчитывая показатели влияния статей, необходимо определять публикационное окно и окно цитирования. Публикационным окном считается тот промежуток времени, за который выходили оцениваемые статьи, ссылки на которые есть в статьях из анализируемых статей, как правило, за два года. Окном цитирования рассматривается год выхода статьи, ссылки из которой учитываются при подсчете импакт-фактора. При этом берется среднее число ссылок, то есть, число ссылок делится на число статей, опубликованных за два года. Так, импакт-фактором журнала, как правило, является средняя оценка цитирования, рассчитанная на конкретный год при двухлетнем публикационном окне. Публикационное окно можно расширить до пяти или десяти лет, возможности WoS это позволяют.

Похожий показатель статей отдельного ученого, организации, страны будет оценкой средней влиятельности ученого, организации, страны. Для быстроразвивающихся отраслей

целесообразно выбрать меньший срок, публикационное окно может быть три года. Для отраслей с длительным сроком обновления знаний публикационное окно и окно цитирования разумно выбрать более длительное. При оперативной оценке возможного влияния статей, опубликованных недавно, желательно использовать совокупный импакт-фактор журналов, в которых они опубликованы. Это будет интегральный показатель, составленный по всем опубликованным в данном году статьям. Если нужно понять влияние одной статьи, то необходимо совокупный импакт-фактор разделить на количество статей, таким образом, получим средневзвешенный импакт-фактор.

Для разных дисциплин степень влияния статей или журналов разная. В начале определяется совокупность статей, опубликованных во всех журналах, относящихся к данной дисциплине, в данном году. Затем вычисляются все ссылки на статьи, выпущенные в журналах за два предшествующих года. Отношение числа ссылок на количество статей за два предшествующих года дает агрегированный импакт-фактор дисциплины. Относительный импакт-фактор получается, когда импакт-фактор журнала делится на агрегированный импакт-фактор дисциплины. Ожидаемое число ссылок любой статьи организации или автора – это среднее число ссылок, какое приобрели все мировые публикации той же отраслевой принадлежности, того же года выхода и того же типа документа.

Можно использовать аналогичный показатель в рамках отдельных дисциплин либо по отношению к журналам. Этот показатель можно назвать нормализованная журнальная цитируемость.

Есть возможность использовать и другой подход при анализе журналов – ранговый. В этом случае журналы располагаются по мере убывания какого-либо показателя, например импакт-фактора. Разделение на равные части этого списка и есть метод ранжирования. Если делим на четыре части, то, таким образом, определяем квартиль журнала.

Изучение показателей крайних значений – еще один подход в анализе библиометрических индикаторов. Есть возможность сравнивать статьи по абсолютному числу ссылок, выделяя самые цитируемые. Естественно, что анализировать эти данные можно только с сопоставимыми индикаторами, например, в рамках одной отрасли наук или одного журнала, относящегося к той же научной дисциплине. В настоящее время принято использовать процентиля, то есть высшие значения в разбивке на n частей цитируемых статей. Для каждого года публикации, для каждой дисциплины исчисляется граничное значение числа цитирований, свыше которого статья, возможно, попадет в 1% высокоцитируемых статей. Попадание в высокоцитируемые статьи может измениться через какое-нибудь время, другие статьи получают со временем больше ссылок или повысятся

пороговое значение. Кроме того, 1% высокоцитируемых статей следует употреблять по отношению к большим массивам статей.

В 2005 году физик Х. Хирш предложил показатель, способный дать комплексную оценку числу публикаций ученого и их цитируемости. Индекс Хирша ученого равен h , если h статей этого ученого получили не менее h цитирований каждая. Индекс Хирша нашел быстрое признание и начал использоваться и в WoS, и в Scopus. Появилось множество десятков модификаций этого индекса. Нам важно отметить, что индекс Хирша возможно использовать не только для оценки труда отдельного ученого, но и на уровне организации, и в масштабах страны.

Для определения индекса цитируемости ученого, организации или исследовательского коллектива используются основные элементы базы WoS:

- Science Citation Index Expanded (база по естественным наукам, архив с 1945 года), индексирует более 5866 журналов;
- Social Science Citation Index (база по социальным наукам, архив с 1956 года), индексирует более 1747 журналов;
- Arts and Humanities Citation Index (база изданий по искусству и гуманитарным наукам, архив с 1975 года), индексирует более 1300 журналов;
- Conference Proceedings Citation Index – Science (база материалов конференций по естественным и техническим наукам с глубиной архива – 1990 год);
- Conference Proceedings Citation Index – Social Science & Humanities (база материалов конференций по общественным и гуманитарным наукам с глубиной архива – 1990 год);
- Book Citation Index – Science – этот индекс охватывает книги и монографии, издаваемые сериями и без серий, но обязательно включающие в себя полные списки ссылок и авторский профиль. Индекс «Наука» охватывает естественные и технические науки, а также медицину, сельское хозяйство и вычислительную технику;
- Book Citation Index – Social Science & Humanities охватывает монографии по общественным и гуманитарным наукам.

Два последних индекса в настоящее время содержат серии книг в виде электронных и печатных текстов, изданных после 2005 года.

Кроме Web of Science Core Collection на платформе Web of Science расположены и другие ресурсы, доступ к которым зависит от подписки организации:

- Biological Abstracts;
- Biosis Citation Index;
- CAB Abstracts;

- Cab Global Health;
- Current Contents Connect;
- Data Citation Index;
- Food Science Technology Abstracts;
- Inspec;
- Medline;
- Zoological Record.

База данных Web of Science состоит из трех баз: Science Citation Index, Social Science Citation Index, Art and Humanities. Для каждой из них разработан свой классификатор. В 2016 году классификатор базы Science Citation Index был двухуровневым. Первый уровень состоит из 124 тематических направлений, на втором уровне меньше тематических направлений, всего – 52. Есть разница в глубине отдельных рубрик, расширению подвергаются не все тематические направления. Классификатор Social Science Citation Index содержит 50 рубрик первого уровня и 6 – второго, каждая делится на 2–14 подрубрик. В базе Art and Humanities классификатор содержит 8 рубрик первого уровня, 17 – второго, каждая из них делится на 3–4 подрубрики. В базе WoS есть различия между WoS Categories (252 категории) и Research Areas (152 тематических направления). Вопросы, связанные с классификацией, рассматриваются в работе Ю.В. Мохначевой [51].

Scopus позволяет анализировать тематическую структуру заданного массива публикаций по укрупненным областям науки. В этой базе имеются две ступени, по которым разделяются научные направления. На первой ступени выделяются 27 предметных областей, на второй – эти области делятся на более детальные тематические направления, от 3-х до 48-ми направлений в каждой (кроме области «Междисциплинарные науки»). В общей сложности таких тематических направлений в 2019 году было 311. В WoS и в WoK более сложная система научных дисциплин. Таким образом, базы данных Web of Science и Scopus отличаются по классификаторам. Для того, чтобы их использовать одновременно, нужно сопоставлять классификаторы этих баз [16, с. 13].

В книгах «Методы библиометрии и рынок электронной научной периодики» и «Анализ цитирования в библиометрии» перечислена значительная часть исследований по анализу цитирования [5, 6].

В последние годы появилось большое количество статей российских ученых, посвященных вкладу России в мировую науку. Их авторы используют для анализа библиографические базы WoS и Scopus. Наиболее часто эти статьи появляются в журналах «Вестник Российской академии наук», «Форсайт», «Информация и инновации», «Научно-техническая информация. Серия 1: Организация и методика информационной работы.

Серия 2: Информационные процессы и системы» [2, 7, 8, 20-23, 28, 30, 32, 45, 46, 49, 52, 66, 71].

Часть публикаций связана с определением научной специализации страны, предложенной Л.М. Гохбергом [9–11]. Научная специализация определяется через сопоставление тематической структуры публикаций, а индекс научной специализации (ИНС) (безразмерная величина) страны j по области науки i рассчитывается как отношение удельного веса публикаций по области наук i в общем числе публикаций страны j к аналогичному мировому показателю [11].

Индекс научной специализации (ИНС) или индекс сравнительного преимущества страны по отдельно взятой области науки рассчитывается как отношение удельного веса публикаций по области науки в общем числе публикаций страны к аналогичному показателю для мировой структуры публикаций. К областям научной специализации страны относятся те области, у которых ИНС выше единицы.

Этот подход использовался в исследовании, результаты которого представлены в статье М. Коцемира и его соавторов [24]. В этой публикации библиометрический анализ сочетался с экспертной оценкой сотрудничества. Библиометрический подход позволил определить специализацию России по научным направлениям за 2003–2014 гг. При этом использовалась научная специализация, как она определялась Л.М. Гохбергом [11].

В этот период публикационная активность российских ученых росла недостаточно высокими темпами, что привело к тому, что ее удельный вес в мировом потоке научных публикаций все время снижался. В статье выделены области лидерства российской науки и области критического отставания. Математические, физические, химические науки, науки о Земле, механика и машиностроение – это области, в которых Россия занимает места в первой двадцатке лидеров. В то же время Россия заметно отстает в науках о здоровье, животноводстве и молочном хозяйстве, ветеринарии и прочих сельскохозяйственных науках.

Еще одна часть исследований посвящена публикационной активности по отдельным направлениям научной деятельности [20, 25, 29, 31, 73]. Рассмотрим некоторые из тех, которые не упомянуты в этом списке.

Ю.В. Мохначева и Т.Н. Харьбина анализируют публикационную активность в области биологии, наук об окружающей среде и экологии [50]. Авторы используют массив российских публикаций, индексируемых в WoS за 10 лет, с 2002 по 2011 год, по базе данных Science Citation Index Expanded. Классификатор этого ресурса включал в себя 22 тематические области. Его пришлось использовать, чтобы получить сведения об уровне цитируемости публикаций. Необходимо было согласовать этот классификатор с

классификатором Research Areas WoS, по тематике статей. В результате получилось шесть крупных научных направлений. Затем эти массивы были разделены на три группы: с иностранным участием, без иностранного участия и российские публикации в целом, по которым сравнивались показатели публикационной активности: количество публикаций, цитируемость, индекс Хирша и доля в общем объеме научных организаций разных секторов (РАН, вузы, другие НИУ).

По всем массивам рассчитывались показатели: среднее количество публикаций в год; средний темп прироста количества публикаций за исследуемый период; средняя цитируемость одной публикации; средняя доля публикаций с цитируемостью выше среднемировых значений от общего количества; средний темп прироста доли публикаций с цитируемостью выше среднемировых значений; соотношение доли публикаций с иностранным участием и без него. Уровень цитируемости равен отношению суммарной цитируемости к среднемировому значению по соответствующему научному направлению и году. Он рассчитывался на основе базы данных ESI по состоянию на июль 2012 года в процентах. Авторы отмечают устойчивую тенденцию к увеличению числа соавторов публикаций во многих научных направлениях. В ряде исследований, результаты которых отражены в публикациях, число соисполнителей достигает 200 и более человек.

В статье Ю.В. Мохначевой и В.А. Цветковой проведена оценка публикационной активности научных организаций России на основе баз данных Web of Science Core Collection, Scopus и РИНЦ на примере медико-биологической тематики [53].

В статье «Библиометрический анализ углеродного направления нанотехнологий: 2000–2015» А.И. Терехов обратился к базе данных Science Citation Index Expanded (на платформе Web of Knowledge) [72]. По его мнению, реализация потенциала нанотехнологий ожидается в нанoeлектронике, нанобиотехнологии, нанoэнергетике. Исходная выборка была получена в результате поиска по ключевым словам в названии работ. Она составила 139 670 публикаций (статей, обзоров, писем) за 2000–2015 гг. Вклад России в мировой публикационный поток был обозначен 5 825 статьями, имеющими российскую аффилиацию. С учетом времени, когда были начаты исследования углеродных структур, страны были поделены на «старожилов» и «новичков». К «старожилам» относились США, Япония, Германия, Великобритания, Франция и Россия. «Новичками» считаются Китай, Индия, Иран, Сингапур, Тайвань, Южная Корея. Терехов использует Web of Knowledge для определения числа публикаций, цитат, среднее количество цитат на одну публикацию для различных подмножеств исходной выборки, рассчитывает среднегодовой темп роста, долю цитат данной страны, относительный показатель цитирования. Он вычисляет такие показатели, как топ-1% и топ-10% и связанные с ними показатели: долю страны в элитной

части мировой научной литературы, индекс высокоцитируемых публикаций в обоих секторах. Автор рассчитывает «прокси-показатель научного влияния» (долю цитат, полученных статьями, среди авторов которых есть представители данной страны). «Новички» повысили свое научное влияние, но во многих случаях производство публикаций с более высоким воздействием может быть важнее, чем просто производство большого числа статей.

Участие России в элитной части научной литературы в области углеродного направления нанотехнологий обеспечено, за небольшим исключением, именно международными соавторскими связями, в первую очередь, с учеными из Германии, США и Великобритании. Основное, считает Терехов, – в России не хватает финансирования, а университетско-центристская политика не повлияла на внешние позиции страны. Необходима «поддерживающая» политика.

Сопоставлению эффективности государственных лабораторий и университетов посвящена статья Ю.М. Романовского [65]. Автор, сравнивая публикационную активность разных стран, отмечает, что «мощным стимулом, определяющим количество и качество научных статей, является финансирование и фондовооруженность (то есть фактически предшествующее финансирование)» [с. 1059]. Он делает вывод, что «прямые сравнения стран и научных организаций из разных стран по количеству научных статей, их цитируемости и импакт-фактору представляются не до конца корректными» [там же]. «Таким образом, ответ на вопрос «Вся ли наука делается в университетах?» для США и Германии звучит несколько по-разному. Что касается США, он положительный (с учетом факторов, на которые указывалось выше), что касается Германии, – ответ, скорее, отрицательный. Напомним, что для России ответ на этот вопрос однозначно отрицательный» [с. 1062-1063].

В статьях А.Е. Гуськова, Д.В. Косякова и И.В. Селивановой анализируется увеличение вклада российских университетов в последние годы в научные публикации России [15, 84]. М. Коцемир и С. Шашнов посвятили свою статью измерению, анализу и визуализации исследовательского потенциала университета на уровне факультета и профессорско-преподавательского состава [86].

Значительная часть статей, посвященных месту России в мировом публикационном потоке, подготовлена по данным информационной базы WoS, только в небольшом количестве статей при исследовании используются данные Scopus. Одна из наиболее обстоятельных статей – «Динамика российской и мировой науки сквозь призму международных публикаций» [22]. В ней автор рассматривает 25 стран, обладающих наибольшим количеством научных публикаций, зафиксированных в базе Scopus в 1996–

2010 г. К 2010 году Россия спустилась на 16-ое место в мире по числу научных публикаций, их доля сократилась с 2,9 до 1,8% по сравнению с 1996 годом. Российская Федерация показывала самый низкий среднегодовой темп прироста числа научных изданий среди стран, имеющих наивысшие показатели публикационной активности. В этот период Россию опередили такие страны как Китай, Испания, Австралия, Южная Корея, Бразилия, Нидерланды и Тайвань. Доля Китая выросла с 26 до 16,3%, а Южной Кореи – с 0,9 до 2,8%. Заметно улучшили свое положение Турция, Бразилия, Индия, Тайвань. Ряд стран, кроме России, также снизил свои позиции, к ним относятся Швеция, Польша, Бельгия, Финляндия и Израиль [с. 40-41].

В общемировой структуре публикаций наиболее многочисленной областью является клиническая медицина (25,4%), затем следуют технические науки (12,3%), далее – биохимия, генетика и молекулярная биология (11,3%). Среди российских публикаций в 1996–2010 гг. наибольшее количество публикаций было создано по физике и астрономии (26,3%), по химии (16,7%) и по материаловедению (13,6%). Клиническая медицина, компьютерные и общественные науки имеют гораздо меньшие значения по сравнению с показателями в мировом публикационном потоке. В наибольшей степени уменьшилась доля статей по иммунологии и микробиологии. В этот же период увеличилась доля публикаций по общественным наукам – с 0,3 до 1,4% [с. 41-42].

Цитируемость в информационных базах WoS и Scopus определяется по-разному. В базе Scopus, по мнению автора, на отдельную статью начисляются ссылки за весь период 1996–2010 гг.; по отношению к статьям, вышедшим в конце периода, – только с года выпуска данной статьи. Поэтому среднее значение ссылок больше в начале периода и уменьшается к концу.

В Essential Science Indicators WoS данные о цитируемости представлены за 2000–2010 гг. Этот период разделен на два пятилетия. Количество ссылок и количество публикаций за эти пять лет составляют сущность подхода, применяемого в WoS. По совокупному числу ссылок в 1996–2010 гг. Россия была на 19-ом месте, а по среднему уровню цитируемости российские публикации занимали 126-ое место среди 147 стран. При этом более трети (37,4%) получили работы по физике и астрономии. Удельный вес ссылок на статьи по клинической медицине в общем числе цитирований российских публикаций вырос с 3,9% в 1996 году до 10% в 2010 году [с. 49]. В статье также содержится структура российских публикаций, написанных в международном соавторстве по областям наук.

Следует отметить еще одну статью – «Определение приоритетов научно-технологического сотрудничества стран БРИКС», авторами которой являются А.В. Соколов, С.А. Шашнов, М.Н. Коцемир и А.Ю. Гребенюк [68]. В ней данные базы

Scopus используются для определения наиболее перспективных отраслей стран БРИКС. Это исследование является комплексным, библиометрические расчеты проведены параллельно с анализом документов, с экспертными оценками. Дается структура совместных публикаций стран БРИКС, приводятся показатели цитируемости для сводного перечня национальных научно-технологических направлений стран БРИКС.

Специалисты, занимающиеся международными базами научных публикаций, все время предупреждают об опасностях применения наукометрических показателей без экспертной оценки и без учета всего многообразия обстоятельств, связанных с той или иной исследовательской задачей [48].

В 2015 году в журнале «Nature» был опубликован «Лейденский манифест» [27]. Он получил название по конференции, на которой был сформулирован. Главный вывод, к которому приходят авторы Лейденского манифеста, – наукометрия может обеспечить ключевую информацию, которую было бы сложно собрать или понять средствами индивидуальной экспертизы. Но нельзя позволять этой количественной информации превратиться из инструмента в самоцель.

1.3 Данные для исследования и методические подходы к анализу

Цель настоящей работы – выявить сильные и слабые тематические направления исследований российских ученых. Для поставленной цели и проведения расчетов авторами была осуществлена выгрузка сведений о публикациях, расположенных на платформе международной библиографической базы Scopus, данные о которых учтены в базе по состоянию на апрель 2020 года [67]. Эта информация была актуальна на дату обращения 15 июня 2020 года.

На основе данных Scopus испанская организация SCImago Institutions Ranking составляет рейтинги публикационной активности научных организаций мира по разным показателям: общему количеству научных публикаций, индексу цитирования, специализации в разных отраслях науки и т.д.

Выбор базы данных Scopus в качестве источника для проведения исследования был обусловлен тем, что она имеет относительно простой онлайн-доступ. Кроме того, база Scopus более обширна по объему, чем база Web of Science Core Collection, практически все публикации, индексируемые в WoS, включены также и в Scopus. Ежегодно она обновляется, в том числе и за предыдущие годы, поэтому цифры по годам могут отличаться, но, как правило, незначительно.

Информационная база Scopus индексирует научные журналы, материалы конференций и серийные книжные издания, а также «профессиональные» журналы (Trade Journals). Сервисы платформы позволяют получать традиционные индикаторы (число публикаций, цитируемость статей, среднее количество цитат на одну публикацию, индекс цитирования). В своих расчетах авторы использовали показатели количественного числа документов.

Для анализа авторами выбран массив данных за 1996–2019 гг., за основу был принят рейтинг 1996 года (публикации индексируются в базе, начиная с этого года), в нем выбраны показатели стран, занимавших места с первого по пятнадцатое, а также тех стран, которые заметно улучшил свои позиции в 2019 году. Оригинальность исследования в том, что для полноты картины двадцатилетний период был условно разделен авторами на три периода: с 1996 (базовый) по 2005 год, с 2006 по 2010 год и с 2011 по 2019 год. Это сделано для того, чтобы выявить, в какой период и с какой скоростью развивалась та или иная область науки.

В начале работы рассматривались 27 крупных предметных областей, по которым отслеживаются научные публикации в информационной базе Scopus. Затем изучалась более подробная их структура, включающая 311 направлений.

Ключевым методом проведенного исследования является сравнительный анализ наукометрических данных, который относится к общенаучным методам исследований. Авторами использовался количественный сравнительный анализ, при котором анализируются количественные характеристики. В одних расчетах он являлся горизонтальным и базировался на определении абсолютного и относительного отклонения между показателями, которые сравнивались между собой. В других расчетах был вертикальным и основывался на определении удельного веса частей, что позволяет изучать структуру явлений.

Авторами проводится количественная оценка публикационной активности Российской Федерации в разные периоды, показатели России сравниваются с конкретными показателями других стран. Это дает возможность посмотреть, насколько эти показатели различаются между собой, а также понять, как велик или мал разрыв между показателями российских ученых и ученых других стран. При нахождении России в группе лидеров фиксируется внимание на установлении предметной области высококачественных исследований.

В процессе работы выявляются страны, традиционно занимающие первые позиции в рейтинге, и новые страны-лидеры; определяются темпы роста количества публикаций этих стран. Анализируется отраслевая структура публикационного потока, наблюдается динамика в скорости роста количества публикаций по отраслевым направлениям в отдельных областях.

Проводится оценка современного состояния и динамики международного сотрудничества в научной сфере; определение областей исследований, в которых сложились устойчивые связи между российскими и зарубежными учеными, и приоритетных направлений совместной научно-технической деятельности.

Одновременно в процессе работы осуществлялись поиск и изучение научной литературы и других источников по наукометрии и наукометрическим показателям, ознакомление с законодательными документами по реформированию государственного сектора науки, нормативными и методическими материалами.

1.4 Наукометрические показатели оценки научной деятельности ученых России и других стран-лидеров

Одним из способов оценки вклада ученых в развитие науки той или иной страны являются подсчеты количества статей, включенных в международные базы данных, и числа ссылок на них в этих базах.

Преобразования, которым подверглась российская наука за последние двадцать четыре года, можно назвать драматическими. Без сомнения это не могло не отразиться на результативности деятельности научных организаций, в том числе на объеме научной продукции, созданной российскими учеными. Если в 1996 году наша страна находилась на восьмом месте в мировом рейтинге по количеству публикаций, то через четырнадцать лет, в 2010 году, она была только на шестнадцатом месте. Это можно объяснить тем, что после развала СССР в 1991 году российская наука оказалась в крайне тяжелом положении: резко снизились расходы на научные исследования, происходило постоянное сокращение численности научных кадров, начался массовый выезд ученых за границу, научная деятельность становилась непривлекательной для молодежи, практически прекратила свое существование отраслевая наука. Меры, предпринятые Правительством Российской Федерации с целью удержания позиций российской науки от дальнейшего падения и поднятия ее престижа, привели к тому, что в 2019 году Россия смогла подняться на десятое место в мировом рейтинге по числу научных публикаций. Во многом этому способствовало увеличение финансирования, выделяемого государством на науку, в частности, дополнительная поддержка тех научных и образовательных учреждений, которые имеют весомые результаты своей деятельности.

В мировом рейтинге публикационной активности в 1996 году по количеству публикаций Россию опережали США, Великобритания, Германия, Франция, Италия, Япония и Канада (табл. 1.4.1). Последующие девять лет, Россия понемногу сдавала свои позиции и в 2005 году занимала уже двенадцатое место, хотя число российских публикаций в конце периода (40 074) по сравнению с началом (32 390) все-таки увеличилось на 7 684 единицы (23,7%) (табл. 1.4.2).

Таблица 1.4.1 – Количество публикаций стран-лидеров в 1996–2019 гг.

Страны	1996		2005		2010		2019	
	Рейтинг	Количество публикаций						
США	1	359811	1	518051	1	600049	2	678197
Великобритания	2	91255	3	139593	3	173687	3	212519
Япония	3	90552	4	127740	5	129836	6	132308
Германия	4	77223	5	124635	4	150963	5	183640
Франция	5	56475	6	84991	6	107590	8	118951
Канада	6	43451	7	71766	7	91319	9	115384
Италия	7	40342	8	65148	8	86471	7	125709
Россия	8	32390	12	40074	16	40327	10	111820
Китай	9	30780	2	171226	2	344017	1	684048
Австралия	10	25536	10	47293	11	70048	11	110579
Испания	11	25053	9	49602	10	73529	12	100364
Нидерланды	12	23280	14	37626	14	50593	16	64539
Индия	13	21449	11	41488	9	80952	4	187014
Швеция	14	16857	18	25431	20	30726	20	44895
Швейцария	15	15807	16	26646	17	35881	19	49033
Южная Корея	20	10400	13	38059	12	61321	13	89544
Бразилия	21	9182	15	27284	13	51020	14	84887
Турция	27	5789	20	20995	18	33357	18	49930
Иран	54	850	34	8371	21	30032	15	64744

Таблица 1.4.2 – Темпы роста количества публикаций стран-лидеров в 2005 году по отношению к 1996 году, в 2010 году по отношению к 2005 году и в 2019 году по отношению к 2010 году (%)

Страны	Периоды		
	2005/1996	2010/2005	2019/2010
США	144,0	115,8	113,0
Великобритания	153,0	124,4	122,4
Япония	141,1	101,6	101,9
Германия	161,4	121,1	121,6
Франция	150,5	126,6	110,6
Канада	165,2	127,2	126,4
Италия	161,5	132,7	145,4
Россия	123,7	100,6	277,3
Китай	556,3	200,9	198,8
Австралия	185,2	148,1	157,9
Испания	198,0	148,2	136,5
Нидерланды	161,6	134,5	127,6
Индия	193,4	195,1	231,0
Швеция	150,9	120,8	146,1
Швейцария	168,6	134,7	136,7
Южная Корея	366,0	161,1	146,0
Бразилия	297,1	187,0	166,4
Турция	362,7	158,9	149,7
Иран	984,8	358,8	215,6

Среднегодовые темпы прироста научных публикаций в 1997–2005 гг. составили около 2,43% (табл. 1.4.3). В основном это были публикации ученых институтов Российской академии наук. Рассматривая следующий период, с 2006 по 2010 год, можно отметить, что с 2006 года количество российских публикаций в течение четырех лет уменьшалось. В 2010 году по сравнению с 2005 годом оно незначительно, но выросло, до 40 327 единиц (0,6%), среднегодовые темпы прироста в этот период были самыми низкими среди стран-лидеров – 0,29%. Россия снова опустилась на четыре места, только уже за пять лет.

С 2011 года наша страна начинает укреплять свои позиции в международном рейтинге публикационной активности, ежегодно наращивая объем научной продукции. За 2019 год число российских публикаций в изданиях, индексируемых в базе Scopus, достигло 111820 единиц, что в 2,8 раза больше этого показателя в 2010 году. Среднегодовые темпы прироста российских публикаций в 2011–2019 гг. составили 12,13%, а их прирост за этот период был выше, чем у других стран.

Отметим, что в странах, традиционно лидирующих в научных исследованиях и в 1996 году обогнавших Россию по числу публикаций, наука активно развивалась, количество публикаций этих стран постоянно росло. Если в 2010 году по сравнению с 1996 годом количество публикаций России увеличилось на 24,5%, то показатели Великобритании и Франции увеличились на 90%, а Германии – на 95%. Количество публикаций США выросло на 67%, Японии – на 43%, а Канады и Италии – более, чем в 2 раза. Эти страны по-прежнему опережают Россию и в 2019 году.

Очень активно начала развиваться наука в странах, занимавших в 1996 году более низкие позиции в рейтинге, чем Россия. Это Китай и Индия, которые постоянно наращивали темпы роста своих публикаций и в 2019 году намного опередили ее. Число китайских публикаций за 2005 год по сравнению с 1996 годом увеличилось в 5,5 раз, а в 2010 году оно удвоилось по отношению к 2005 году. Число публикаций индийских ученых в конце обоих периодов возросло в 1,9 раза по отношению к началу. Заметим, что в 1996 году Китай был на девятом месте, сразу же после России, а Индия – на тринадцатом.

Таблица 1.4.3 – Среднегодовые темпы прироста количества публикаций стран-лидеров в периоды с 1996 по 2005 г., с 2006 по 2010 г. и с 2011 по 2019 г. (%)

Страны	Периоды		
	1997–2005	2006–2010	2011–2019
США	4,22	3,01	1,40
Великобритания	4,95	4,48	2,32
Япония	3,94	0,37	0,24
Германия	5,54	3,91	2,22
Франция	4,70	4,84	1,16
Канада	5,93	4,95	2,65
Италия	5,54	5,84	4,27
Россия	2,43	0,29	12,13
Китай	21,83	15,02	8,10
Австралия	7,17	8,18	5,24
Испания	7,94	8,20	3,55
Нидерланды	5,61	6,13	2,78
Индия	7,69	14,32	9,90
Швеция	4,74	3,88	4,33
Швейцария	6,09	6,14	3,57
Южная Корея	15,63	10,07	4,33
Бразилия	12,94	13,54	5,85
Турция	15,68	9,78	4,68
Иран	29,37	29,30	9,29

Заслуживают внимания те страны, которые опережали Россию в 2010 году, а в 2019 году следуют в рейтинге за ней: Австралия, Испания, Южная Корея, Бразилия. В 1996 году Австралия и Испания занимали десятое и одиннадцатое места. Обе страны на протяжении многих лет демонстрировали высокие темпы прироста публикаций, что позволяло им удерживать свои позиции в рейтинге. В 2010 году по сравнению с 1996 годом число австралийских публикаций выросло в 2,7, а испанских – в 2,9 раза. В следующий период высокие темпы сохранялись, в 2019 году публикации Австралии по отношению к 2010 году увеличились на 58%, Испании – на 36,5%. Еще активней росло число публикаций Южной Кореи и Бразилии, в 2010 году южнокорейских публикаций было в 5,9 раз больше, чем в 1996 году, а бразильских – в 5,6 раз. В 2010–2019 гг. темпы несколько упали, но оставались достаточно высокими. В Южной Корее публикации выросли на 46%, а в Бразилии – на 66% по сравнению с началом периода. Все эти страны являются реальными конкурентами России.

За 2019 год по суммарному годовому количеству публикаций на первое место впервые поднялся Китай (684 тыс.), он обошел – США на 6 тыс. публикаций. Затем с большим отрывом от первых двух стран в рейтинге располагались Великобритания – 212 тыс., Индия – 187 тыс. и Германия – 183 тыс. За ними следуют страны: Япония – 132 тыс. и Италия – 125 тыс., которые также имеют отрыв от выше упомянутых стран, а вот показатели Франции, Канады, России и Австралии в 2019 году были близки, они находились в пределах от 110 тыс. до 118 тыс. единиц. Австралия, занимающая одиннадцатое место, является реальным конкурентом России. В то же время Россия с небольшим отрывом отстает от Франции и Канады и, приложив усилия, может занять одно из их мест.

Испания, Южная Корея и Бразилия – страны, количество публикаций которых в 2019 году приблизилось к числу публикаций России, оно составляло от 84 тыс. до 100 тыс. единиц. При сохранении высоких темпов роста количества научных публикаций эти страны имеют все шансы догнать и опередить нашу страну в мировом рейтинге.

На рисунках 1.1.1–1.1.3 представлена динамика роста числа публикаций стран-лидеров в разные периоды, показатели которых близки к показателям России в 2019 году.

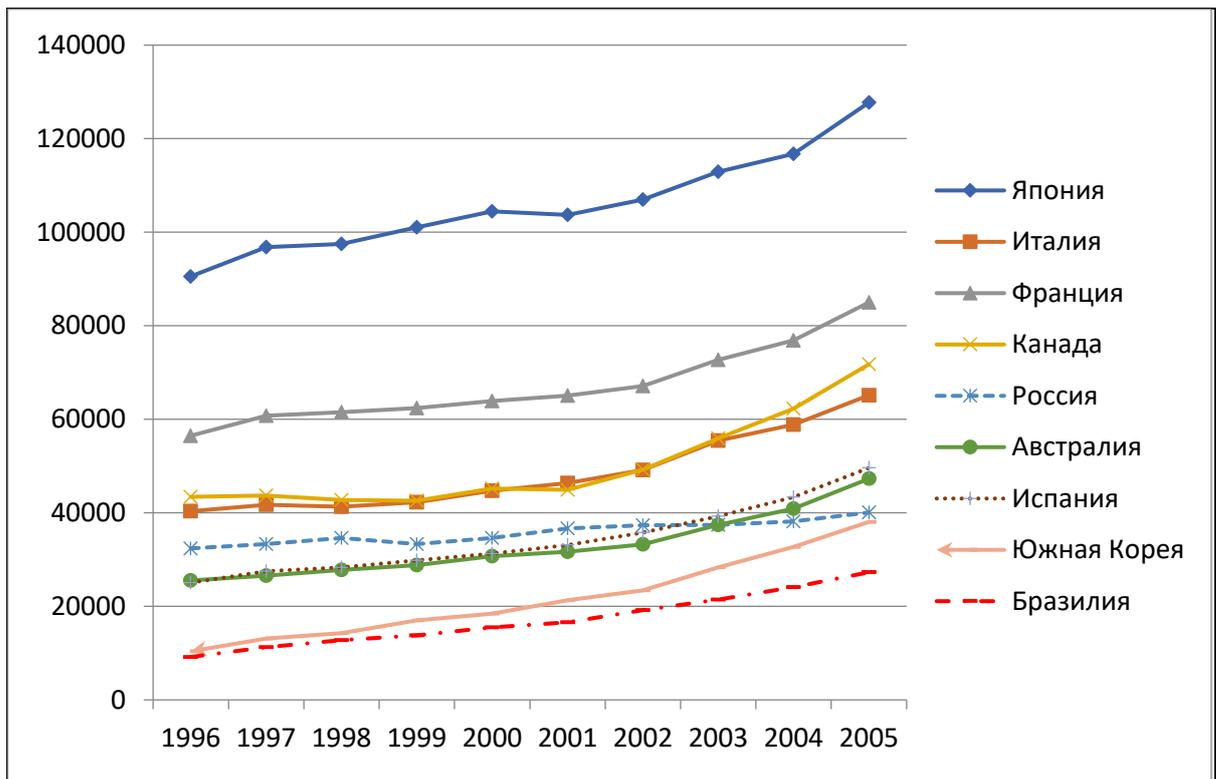


Рис. 1.1.1 – Динамика роста числа публикаций стран-лидеров в 1996–2005 гг.

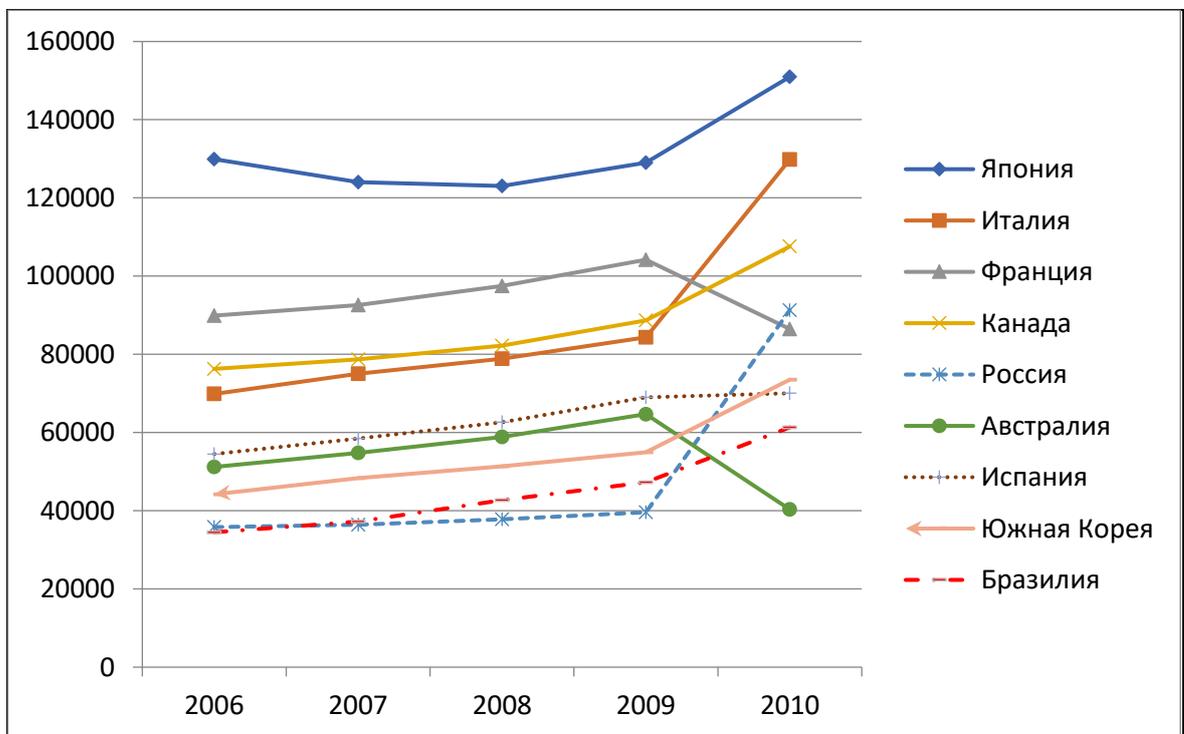


Рис. 1.1.2 – Динамика роста числа публикаций стран-лидеров в 2006–2010 гг.

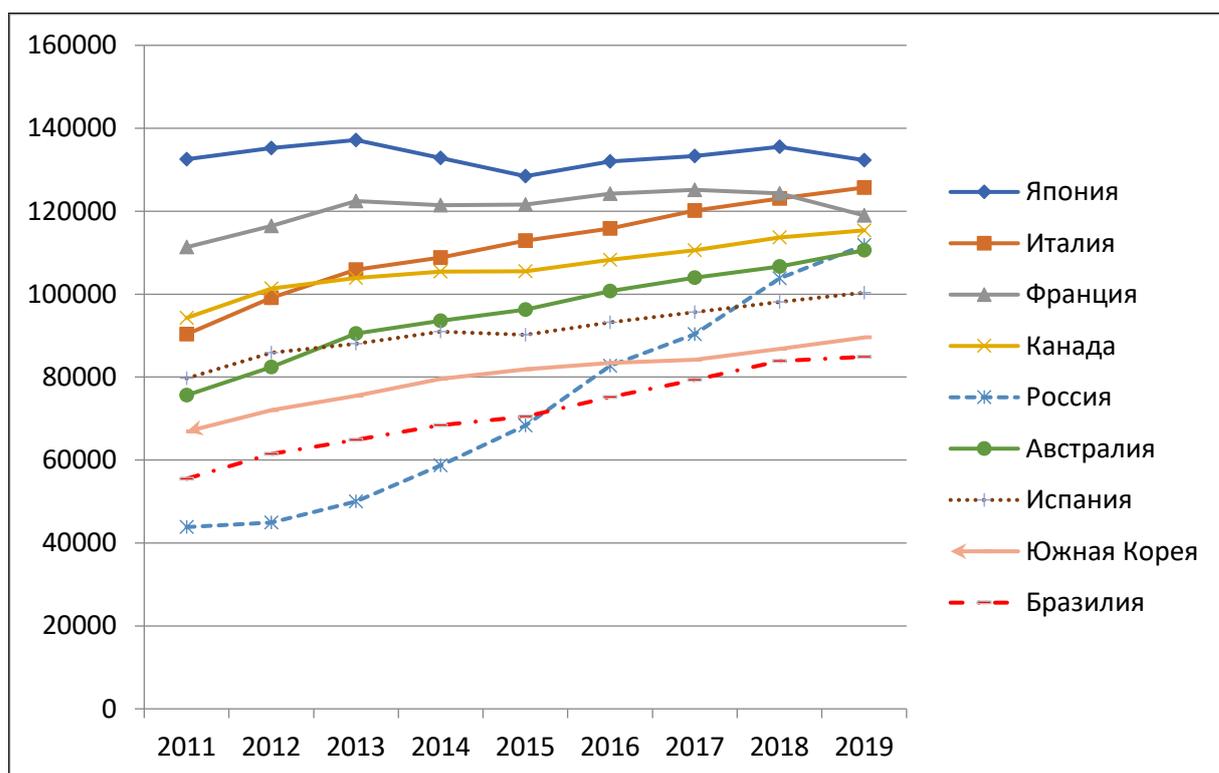


Рис. 1.1.3 – Динамика роста числа публикаций стран-лидеров в 2011–2019 гг.

Нельзя не отметить очень высокие темпы роста числа публикаций Ирана. В 2005 году по сравнению с 1996 годом оно выросло в 10 раз, в 2010 по сравнению с 2005 годом – в 3,5 раза, а в 2019 году по отношению к 2010 году – в 2 раза. Высокие темпы роста позволили подняться Ирану с пятьдесят четвертого места, которое он занимал в рейтинге в 1996 году, на двадцать первое в 2019 году.

Следует остановиться на примере показателей публикационной активности Израиля. Если в 1996 году он находился на восемнадцатом месте, то в 2019 году только на тридцать шестом, несмотря на ежегодный прирост количества публикаций. Все потому, что другие страны наращивали объем научной продукции более высокими темпами.

На рисунке 4 показано, как менялась доля публикаций России и других стран-лидеров в мировом публикационном потоке в 1996–2019 гг.

Если в 2018 году Китай немного, но отставал от США по доли научных публикаций в мировом публикационном потоке, то в 2019 году он был впереди, доля Китая составляла 20,92%, а США – 20,74%. Доля четырех стран Европы – Великобритании (6,5%), Германии (5,72%), Италии (3,84%) и Франции (3,64%) – тоже была около 20%, российские публикации составляли 3,38%.

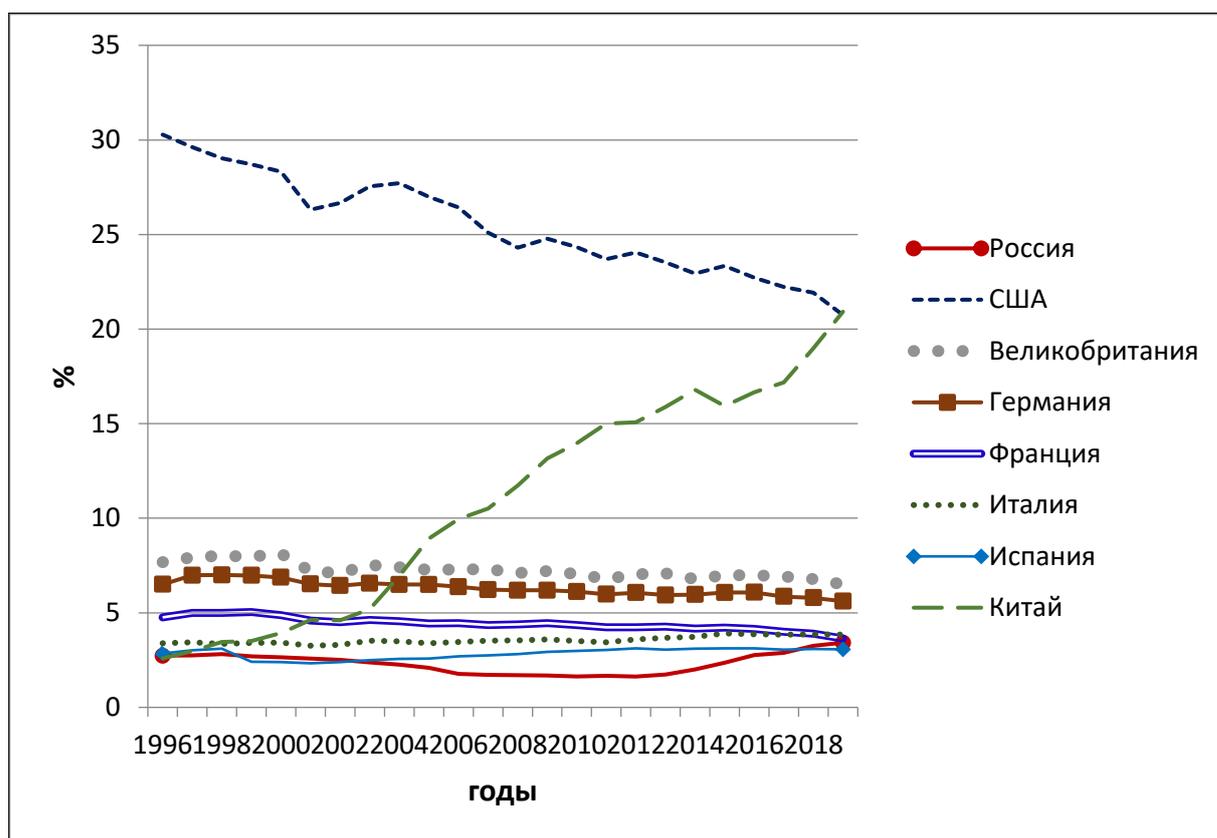


Рис. 1.1.4 – Доля публикаций отдельных стран-лидеров в мировом публикационном потоке в 1996–2019 гг.

Проведенный анализ показал, что за последние годы общее число российских публикаций в информационной базе Scopus значительно выросло. Всего за период с 1996 по 2019 год было проиндексировано 1 202 476 публикаций России, это всего на 5 515 единиц (0,5%) больше, чем у Южной Кореи, следующей за ней в рейтинге. Только высокие темпы прироста количества публикаций помогут России удержать свои позиции.

Высокая доля научных публикаций США на протяжении всех лет объясняется тем, что журналы, индексируемые в международных базах, в большом преимуществе – американские. Лидирующие позиции Великобритании и Нидерландов также объяснимы: в этих странах базируются крупнейшие издательства (Elsevir, Springer, Wiley и др.), объединяющие многие научные журналы, которые ранее были самостоятельными. График стремительного роста доли китайских публикаций – результат экономических реформ этой страны, обусловленный ростом научного потенциала Китая за счет финансирования, выделяемого на развитие научно-исследовательской деятельности в огромных размерах. То же самое можно сказать об Индии и Южной Корее, обе страны в последние два десятилетия показывают высокие темпы роста ВВП. Из национальных особенностей можно отметить большое влияние крупных промышленных компаний (Hyundai, Samsung, Daewoo, LG и SK)

в Корее, а в Индии – высокие темпы роста населения, а, стало быть, и роста числа ученых-исследователей.

Кроме общего числа научных публикаций в базах Web of Science и Scopus к наукометрическим показателям оценки научной деятельности относятся:

- цитируемость научных публикаций (индекс цитируемости) – суммарное количество цитирований всех статей в информационно-аналитических базах данных;
- средняя цитируемость – среднее количество цитирований на одну статью;
- индекс Хирша (h-index);
- средневзвешенный импакт-фактор журналов, в которых были опубликованы статьи.

В таблице 1.4.4 приведены наукометрические показатели стран-лидеров за 2019 год.

Из первых двадцати стран, попавших в 2019 году в лидеры, Россия занимает одно из последних мест по цитируемости научных публикаций (42 097 документов). Только Польша и Турция имеют более низкие показатели – 34 722 и 29 044 документов, соответственно. На первом месте Соединенные Штаты Америки – 582 779 документов, это в 14 раз больше, чем у России. Показатель же средней цитируемости российских публикаций или индекс цитирования на одну публикацию – самый наименьший в этом списке, он равен 0,38. Самый высокий показатель имеет Швейцария (1,21), кроме нее еще у трех стран – Нидерландов, Швеции и Австралии – он выше единицы, а у Канады, Италии и Германии близок к этому значению. Индекс Хирша у публикаций из России небольшой, он равен 580. Можно сравнить с США – 2 386, это самый лучший из показателей. Далее следуют Великобритания (1 487) и Германия (1 298).

Цитируемость российских публикаций всегда была невысокой. Связано это с тем, что значительная часть научных результатов российских ученых публикуется в российских журналах на русском языке, значит, они просто не попадают в мировой научный оборот и, соответственно, не цитируются зарубежными учеными. Такая ситуация характерна для многих неанглоязычных стран, в которых издается значительное количество научных журналов на родном языке. Эту проблему решают по-разному: в некоторых странах все научные журналы начинают издавать только на английском языке, и они становятся международными; где-то на английском создают новые журналы. Лишь незначительная часть издаваемых в России научных журналов в их переводных версиях попадает в международные базы цитирования Web of Science и Scopus.

Таблица 1.4.4 – Показатели публикационной активности стран-лидеров в 2019 году

Страна	Рейтинг	Количество публикаций	Цитируемость	Средняя цитируемость	H-index
Китай	1	684048	544310	0,8	884
США	2	678197	582779	0,86	2386
Великобритания	3	212519	207745	0,98	1487
Индия	4	187014	101838	0,54	624
Германия	5	183640	167682	0,91	1298
Япония	6	132308	83421	0,63	1036
Италия	7	125709	117534	0,93	1030
Франция	8	118951	104040	0,87	1180
Канада	9	115384	110142	0,95	1193
Россия	10	111820	42097	0,38	580
Австралия	11	110579	116738	1,06	1001
Испания	12	100364	87368	0,87	904
Южная Корея	13	89544	66127	0,74	687
Бразилия	14	84887	45929	0,54	578
Иран	15	64744	54671	0,84	329
Нидерланды	16	64539	74321	1,15	1032
Польша	17	50338	34722	0,69	562
Турция	18	49930	29044	0,58	443
Швейцария	19	49033	59216	1,21	993
Швеция	20	44895	48756	1,09	896

Индекс Хирша нужен для оценки проводимых исследований и отдельных исследователей. В нем используются такие оценочные факторы, как количество статей и цитирований, импакт-фактор. С помощью базы данных можно получить сведения для сравнения и составить рейтинг авторов.

В базе создаются профили авторов, организаций и журналов. Со временем формируется общий рейтинг, фиксируются показатели цитирования и ссылок в других изданиях.

На ноябрь 2020 года в Scopus индексируется 30 891 издание, из них 26 201 научный журнал. Из общего количества 20% являются американскими изданиями (24% журналов), 44% – западноевропейскими изданиями (48% журналов). Менее двух процентов изданий принадлежат России. Из 552 российских журналов 25 находятся в первом квартиле, то есть относятся к ведущим в своих областях. Второй квартиль имеют 112 журналов, третий – 182, такое же количество журналов четвертого квартиля. Остальные на данный момент не имеют квартиля.

На рисунке 1.5 показана динамика роста числа российских научных журналов, индексируемых в Scopus с 1999 года.

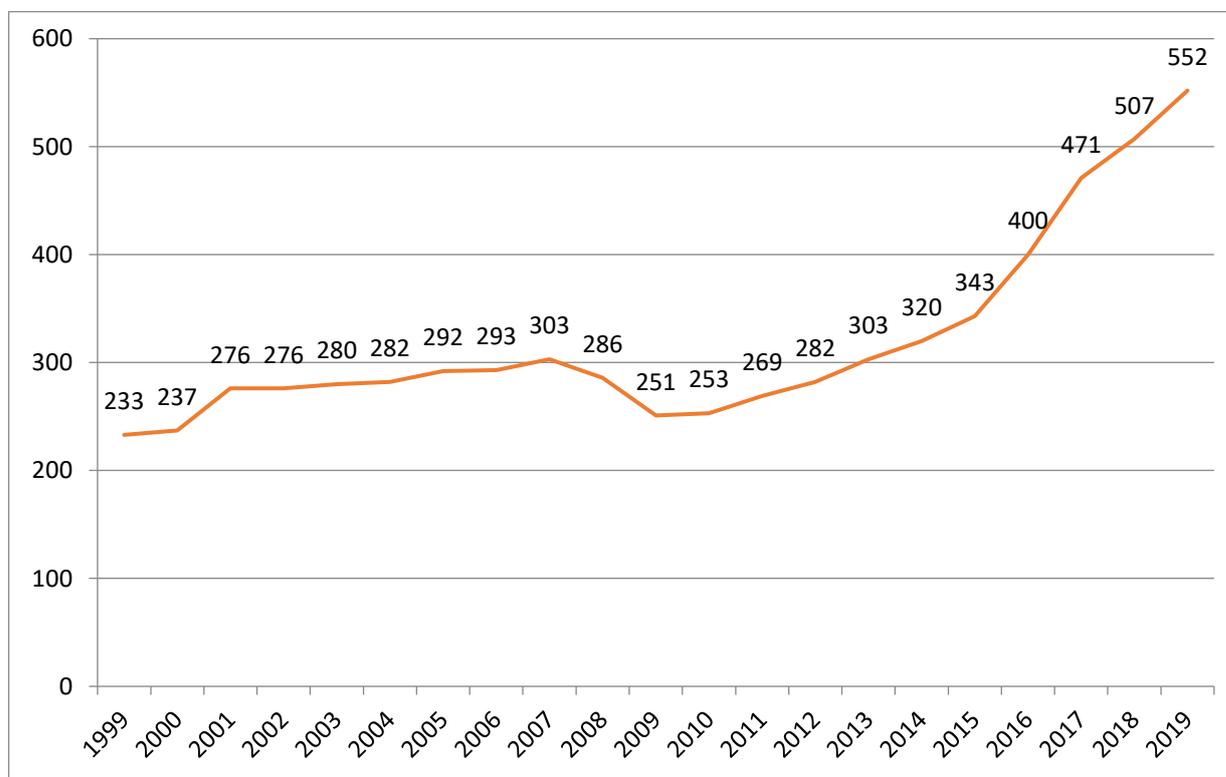


Рис. 1.5 – Динамика роста числа российских журналов, индексируемых в информационно-аналитической базе Scopus.

Необходимо также отметить, что заметная часть роста российских изданий обеспечена материалами в трудах конференций.

Чтобы издание было отобрано экспертным советом издательства Elsevier в базу Scopus, оно должно отвечать определенным критериям, в числе которых: регулярность выхода не реже одного раза в год; полная публикация статей в англоязычной версии; высокое качество подачи материала; популярность исследований; доступность и авторитетность; наличие собственного сайта с переводом на английский язык. Ежегодно Scopus формирует новый список изданий с целью поддержания высокого уровня в соответствии с принятыми стандартами.

Журналы, входящие в Scopus, размещаются в открытом доступе на официальном сайте. Вместе с ними, несколько раз в год готовятся списки тех изданий, индексация которых в базе прекращена. Обычно это связано с ведением коллективом журнала недобросовестной деятельности, подозрительно быстрые сроки рецензирования или высокая публикационная активность.

В списке журналов Scopus, индексация которых приостановлена, указывается причина, бывает, что спустя некоторое время она возобновляется. Важно отметить, что статья, опубликованная в издании на момент его индексации в Scopus, не прекращает свою индексацию в рамках соответствующего выпуска журнала вместе с приостановлением индексации самого издания.

В настоящее время растет число изданий с сомнительной репутацией, так называемых «хищнических» журналов, которые публикуют любой текст за деньги. В связи с этим вице-президент РАН Алексей Хохлов предложил проанализировать статьи российских ученых с точки зрения содержания и журнала, в котором они опубликованы [69]. На основе анализа Минобрнауки РФ рекомендовано регулярно составлять список журналов, публикации в которых не учитываются в качестве отчетных по госзаданию. Хохлов отметил, что недобросовестные журналы, как правило, издаются в развивающихся странах (Индии, Пакистане, Турции, Румынии, Венесуэле, Эквадоре, Колумбии) и часто маскируются под издательства США, Германии и других развитых стран. Scopus в последние годы также начал включать в свою базу данных журналы из не самых передовых в научном отношении стран. Что касается Web of Science, то там журналы разбиты на четыре категории или квартили, туда «хищникам» путь закрыт. Однако в Emerging Sources Citation Index нет деления на квартили, туда могут попасть «хищники», но их намного меньше, чем в Scopus.

Если рассматривать структуру российских научных журналов в Scopus по предметным областям, то следует отметить, что на ноябрь 2020 года наибольшее их число являются медицинскими (25%). Далее следуют журналы, которые публикуют результаты исследований в области физики и астрономии (12%), гуманитарных наук (12%), инженерии

(11%), наук о Земле (10%), математики (10%). По остальным дисциплинам доля российских журналов составляет от 0 до 10%.

В настоящее время, не по каждому научному направлению можно найти российский журнал в базе цитирования Scopus. Это положение обусловлено тем, что большинство российских журналов не соответствует установленным международным стандартам. Для того, чтобы по-настоящему двигать российскую науку вперед, укреплять ее позиции в мире, российским ученым необходимо публиковать свои научные статьи в зарубежных рецензируемых изданиях, входящих в авторитетные библиографические и реферативные базы цитирования.

Требование Минобрнауки РФ публиковать российским ученым свои статьи в журналах, состоящих в перечне Web of Science и Scopus, на английском языке принижает престиж русскоязычных отечественных научных журналов. Данные публикации связаны с материальными затратами, кроме того, эти журналы не всегда могут оказаться доступными для ознакомления. Такое положение скажется на отечественных научных изданиях не в лучшую сторону. Для решения этой проблемы в рамках национального проекта «Наука» предусматривается организационная и финансовая поддержка российских научных журналов с целью облегчения их входа в наукометрические базы Scopus и Web of Science. Это в значительной степени должно активизировать публикационную активность ученых России, направленную на размещение результатов своей научной деятельности в рейтинговых изданиях, индексируемых информационными базами данных по всему миру.

Результат от продвижения отечественных журналов в международные базы данных будет получен в дальнейшем, на начальном же этапе он не имеет значительного эффекта, так как российские издания пока обладают невысокими наукометрическими показателями.

В свою очередь, рост информированности о достижениях отечественной науки за рубежом способствует налаживанию новых взаимоотношений российских ученых с учеными других стран для решения актуальных задач на мировом уровне, что усилит влияние российской науки в мире, особенно в тех областях, где Россия демонстрирует лучшие результаты.

1.5 Международное научное сотрудничество

Международное научное сотрудничество является неотъемлемой частью стран – лидеров научно-технического развития.

В течение десяти лет, с 1996 по 2005 год, международное сотрудничество России развивалось, шел рост числа публикаций, в еще большем масштабе рос показатель международного сотрудничества International Collaboration (IC). В 2005 году число российских публикаций в информационно-аналитической базе Scopus достигло 40 тыс., а доля публикаций в соавторстве с зарубежными партнерами – 32% (табл. 5.1). В 2006 году этот показатель достиг максимального значения – 34,45%, но затем начал плавно уменьшаться и в 2019 году составил 22,92%, то есть фактически сравнялся с показателем 1996 года (22,58%). Можно сказать, что около одной четверти российских публикаций были написаны совместно с учеными какой-либо другой страны. Показатель международного сотрудничества у России в 1996 году был чуть ниже, чем у ведущих странах Европейского сообщества. У Германии (30,88%) и Франции (30,53%) эти показатели мало отличались, также как у Великобритании (26,81%) и Италии (26,67%).

В отличие от России, ведущие страны Европы из года в год наращивали число совместных публикаций. В 2019 году индекс международного сотрудничества достиг более половины всех публикаций у Франции (58,54%), Великобритании (58,16%) и Германии (51,92%). У Италии он равнялся 48,28%.

Индекс сотрудничества вырос и в странах, не относящихся к Евросоюзу. Из стран-лидеров в 1996 году самый высокий показатель был у Канады (32,71%), а самый низкий – у Японии (15,34%), в Соединенных Штатах и в Китае он был ниже, чем в России – 18,79 и 17,32%, соответственно. В 2019 году доли совместных публикаций Австралии и Канады составляли 58,15% и 55,19%. Высокие значения можно объяснить одним и тем же языком, а также тесными связями с университетами США. В США и Японии показатель международного сотрудничества увеличился в два раза по сравнению с 1996 годом.

Доля совместных публикаций в России начала уменьшаться с 2007 года, в то время, когда высокими темпами начало увеличиваться общее количество публикаций, в 2019 году число российских публикаций увеличилось в три раза по сравнению с 2007 годом (36 417 единиц). Число совместных публикаций в 2019 году составило более 25 тыс., в то время как в 2007 году их было немногим более 12 тыс., а в 1996 году – более 7 тыс. Из этого следует, что международное научное сотрудничество России растет, но не такими темпами, как в Европе или в США.

Таблица 1.5.1 – Доля публикаций ведущих стран мира в соавторстве с зарубежными партнерами в 1996–2019 гг. (International Collaboration), %

Годы	Россия	Китай	США	Велико-британия	Индия	Германия
1996	22,58	17,32	18,79	26,81	16,19	30,88
1997	23,85	16,86	17,16	26,36	15,23	29,89
1998	24,43	15,83	18,77	27,62	16,69	32,97
1999	25,99	15,79	18,04	26,94	14,79	31,14
2000	27,02	16,26	18,69	27,26	15,41	31,45
2001	25,55	13,36	18,17	27,51	14,53	30,83
2002	26,92	16,1	19,21	29,36	14,92	32,86
2003	30,52	18,6	22,34	33,8	18,17	37,81
2004	30,97	16,46	23,23	35,89	18,85	39,12
2005	32,08	13,82	23,67	36,41	18,9	38,94
2006	34,45	14,03	24,72	36,91	18,95	39,55
2007	34,07	14,48	26,43	38,01	19,39	42,09
2008	31,92	14,53	28,17	40,12	18,58	44,63
2009	30,77	14,3	26,29	39,97	18,01	42,48
2010	28,85	14,62	26,34	40,62	17,07	42,72
2011	28,51	14,71	27,11	41,98	16,16	43,51
2012	29,12	15,68	27,76	42,28	16,11	44,09
2013	28,72	16,69	29,04	43,9	16,43	45,34
2014	26,79	17,6	30,76	47,38	15,97	46,09
2015	25,89	20,76	31,83	49,4	15,78	47,45
2016	23,84	21,54	33,29	50,91	16,24	48,05
2017	24,05	22,41	33,98	52,01	17,27	48,96
2018	23,04	23,18	35,68	55,14	17,32	50,82
2019	22,92	23,69	37,78	58,16	18,39	51,92

Продолжение таблицы 1.5.1

Годы	Россия	Китай	США	Велико- британия	Индия	Германия
1996	15,34	26,67	30,53	32,71	28,11	25,71
1997	14,73	26,92	31,27	31,27	29,14	23,23
1998	15,76	29,34	32,59	32,96	30,14	24,22
1999	14,5	28,54	32,09	31,72	27,89	21,11
2000	15,15,	28,84	33,53	32,25	28,72	21,39
2001	15,14	28,17	32,38	31,46	27,98	20,95
2002	16,33	30,06	34,47	32,73	30,45	23,18
2003	19,47	33,46	39,51	38,26	35,24	25,68
2004	20,33	34,99	40,88	39,45	37,13	25,64
2005	20,63	35,68	41,77	39,42	36,36	26,36
2006	21,58	35,91	42,12	39,69	37,13	25,49
2007	23,01	37,82	43,8	41,8	38,77	25,42
2008	24,33	38,27	44,53	42,9	40,53	25,73
2009	22,43	37,66	44,87	42,02	40,4	25,03
2010	22,61	38,93	44,91	42,33	41,14	25,36
2011	23,27	39,84	46,08	42,96	42,13	25,99
2012	23,83	40,17	47,19	43,97	43,34	26,41
2013	24,42	40,91	47,8	45,22	44,6	26,56
2014	25,34	42,66	50,16	47,33	46,88	26,39
2015	26,55	43,66	51,42	48,35	48,9	26,55
2016	27,51	45,23	52,63	50,08	50,91	27,2
2017	28,15	46,01	54,1	50,76	53,11	27,49
2018	29,8	47,67	55,87	52,93	55,94	28,79
2019	31,1	48,28	58,54	55,19	58,15	30,0

У Китая индекс международного сотрудничества в 2019 году вырос по сравнению с 1996 годом, однако, не так, как в других странах, несмотря на то что по общему количеству публикаций Китай поднялся на первую ступень. В течение всего периода этот показатель неоднократно снижался и возрастал, а в 2019 году был всего на 0,8% выше показателя России.

На европейском опыте можно наблюдать, какое большое значение имеет длительная и целенаправленная политика государств по стимулированию международного сотрудничества. Это и создание новых международных научных организаций, и европейские рамочные соглашения и программы, и организация консорциумов из нескольких университетов разных стран при подаче заявок на научный конкурс. Все это привело к тому, что индекс международного сотрудничества в европейских странах рос более высокими темпами, чем общее число публикаций.

В последние десятилетия научно-техническое сотрудничество России и других стран успешно развивалось, сегодня оно охватывает различные области науки и технологий, что подтверждается увеличением количества и расширением тематики статей, опубликованных российскими авторами совместно с зарубежными коллегами. Библиометрический анализ массива таких публикаций позволяет оценить современное состояние и динамику сотрудничества; выявить области исследований, в которых сложились устойчивые связи между российскими и зарубежными учеными; определить приоритетные направления совместной научно-технической деятельности.

Рассмотрим, в каких же предметных областях у России наибольшее число научных публикаций с зарубежными партнерами (табл. 5.2).

В 1996 году по стоматологии была индексирована всего одна российская статья, которая была написана в соавторстве; по психологии – 23, из которых 71,9% в соавторстве; по экономике – 10 (45,5%); по гуманитарным наукам – 51 статья (43,6%). В большинстве предметных областей число совместных публикаций составляло от 20 до 30%; в химических технологиях, компьютерных науках, энергетике и инженерных науках – от 10 до 15%. Самая же низкая доля была у публикаций в области бизнеса – 5,4%.

В последующие годы в предметных областях показатель международного сотрудничества Российской Федерации постоянно изменялся, в 2019 году в большинстве из них он имел лишь небольшие отклонения от показателя 1996 года, но в целом видна положительная динамика. В области междисциплинарных наук была самая высокая доля совместных публикаций – 58,9%. В фармакологии и нейронауках этот коэффициент превысил 40%, а в гуманитарных науках был самым низким – 11,97%.

Таблица 1.5.2 – Доля совместных публикаций России по предметным областям (%)

Предметная область	1996	2010	2019
Сельскохозяйственные и биологические науки	19,83	35,29	33,9
Искусство, гуманитарные науки	43,59	19,42	11,97
Биохимия, генетика, молекулярная биология	29,59	28,75	35,46
Бизнес, менеджмент, бухгалтерский учет	5,38	47,89	17,55
Химические технологии	13,25	19,21	26,61
Химия	19,24	23,38	30,43
Компьютерные науки	10,96	27,14	18,72
Науки о принятии решений	28,71	47,16	12,92
Стоматология	100,0	75,0	31,46
Науки о Земле и планетарные науки	23,34	30,23	19,48
Экономика, эконометрика, финансы	45,45	22,82	17,59
Энергетика	15,0	17,19	16,83
Инженерия	14,13	24,39	18,15
Науки об окружающей среде, экология	17,27	33,67	16,51
Медицинские специальности	28,26	29,33	12,67
Иммунология и микробиология	21,32	31,11	32,87
Материаловедение	19,62	29,93	24,89
Математика	20,75	25,36	23,71
Медицина	20,59	31,73	26,4
Междисциплинарные науки	21,43	65,32	58,85
Нейронауки	26,75	35,7	45,78
Уход за больными (сестринское дело)	35,71	18,56	23,29
Фармакология, токсикология, фармацевтика	22,96	29,22	40,67
Физика, астрономия	31,84	39,8	27,33
Психология	71,88	34,45	29,42
Общественные науки	27,35	20,19	13,81
Ветеринария	33,33	45,16	36,73

К группе стран-лидеров, с которыми Россия сотрудничает в научной сфере, относятся крупнейшие государства: США, Германия, Франция, Великобритания, Китай, Италия. По данным информационно-аналитической базы Scopus в 2019 году наибольшее число статей российских исследователей опубликовано в соавторстве с исследователями из США – 4,3 тыс. единиц. Далее следуют: Германия (4,2 тыс.), Китай (2,6 тыс.), Франция (2,5 тыс.), Великобритания (2,4 тыс.), Италия (2,0 тыс. единиц). Наибольший прирост выявлен по числу совместных публикаций российских и китайских ученых – около 500 единиц. Однако основными партнерами России все-таки остаются европейские государства.

Степень интеграции российских ученых в европейское научное сообщество заметно дифференцирована по отдельным областям науки. Сравнение первых пятнадцати научных дисциплин из массивов российских и совместных публикаций показывает, что основные направления публикационной активности в национальном и международном масштабах в значительной степени совпадают. Публикации в различных областях физики составляют половину совместных статей российских ученых с коллегами из Евросоюза.

Анализ динамики совместных публикаций ученых разных стран указывает на все большее их сотрудничество, особенно в тех направлениях, которые требуют огромных вложений в оборудование: физика, астрофизика, астрономия, биология, медицина. Среди других отраслей науки – экология, науки о Земле, фармакология, экономика. В перспективе можно ожидать рост количества совместных публикаций в тех научных дисциплинах, где Россия занимает лидирующие позиции и где сложились устойчивые традиции сотрудничества. Однако не менее важным является развитие партнерских связей с научными организациями других стран, в первую очередь, в тех областях, которые обозначены среди приоритетов в сфере науки и технологий Российской Федерации. Только общими усилиями государств можно решить глобальные проблемы. Одним из показателей таких связей является индекс международного сотрудничества.

1.6 Отраслевая структура научных публикаций России

Издания, в которых опубликованы результаты исследований ученых, в Scopus, составляют четыре группы:

- общественные науки (Social sciences),
- медицинские науки (Health sciences),
- физические науки (Physical sciences),
- биологические науки (Life sciences).

Издания могут относиться к нескольким группам. Далее они разделены на 27 крупных предметных областей, которые в свою очередь, подразделяются на более узкие отраслевые направления, в 2019 году их насчитывалось 311.

Наиболее многочисленной областью является медицина, в которой насчитывается 48 направлений исследований. Далее следуют общественные науки (24 направления), уход за больными (22), медицинские специальности (17), инженерия (16). От десяти до пятнадцати дисциплин включают: бизнес, менеджмент, бухгалтерский учет; физика, астрономия; сельскохозяйственные и биологические науки; искусство, гуманитарные науки; компьютерные науки; науки о Земле и планетарные науки; науки об окружающей среде, экология; математика. Остальные – от трех до 9 направлений, кроме междисциплинарных наук, которые не разбиваются и обобщены в одно. По каждому направлению указано количество публикаций и определено место, которое страна занимает среди других стран в мировом рейтинге.

Общее количество публикаций как сумма статей по каждой предметной области превышает количество публикаций данной страны, так как издания могут относиться к нескольким предметным областям. Например, в случае, когда статья касается проблемы снижения энергоемкости, она относится к энергетике и в тоже время к наукам об окружающей среде и экологии.

В соответствии с Указом Президента РФ о национальных целях развития страны к 2024 году необходимо обеспечить присутствие Российской Федерации в числе пяти ведущих стран мира, осуществляющих научные исследования и разработки в областях, определяемых приоритетами научно-технологического развития [Указ Президента от 07.05.2018 г. № 204]. Эти приоритеты обозначены в «Стратегии научно-технологического развития» [49]. Всего их семь:

а) переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам

конструирования, создание систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта;

б) переход к экологически чистой и ресурсосберегающей энергетике, повышение эффективности добычи и глубокой переработки углеводородного сырья, формирование новых источников, способов транспортировки и хранения энергии;

в) переход к персонализированной медицине, высокотехнологичному здравоохранению и технологиям здоровьесбережения, в том числе за счет рационального применения лекарственных препаратов (прежде всего антибактериальных);

г) переход к высокопродуктивному и экологически чистому агро- и аквахозяйству, разработку и внедрение систем рационального применения средств химической и биологической защиты сельскохозяйственных растений и животных, хранение и эффективную переработку сельскохозяйственной продукции, создание безопасных и качественных, в том числе функциональных, продуктов питания;

д) противодействие техногенным, биогенным, социокультурным угрозам, терроризму и идеологическому экстремизму, а также киберугрозам и иным источникам опасности для общества, экономики и государства;

е) связанность территории Российской Федерации за счет создания интеллектуальных транспортных и телекоммуникационных систем, а также занятия и удержания лидерских позиций в создании международных транспортно-логистических систем, освоении и использовании космического и воздушного пространства, Мирового океана, Арктики и Антарктики;

ж) возможность эффективного ответа российского общества на большие вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий, социальных институтов на современном этапе глобального развития, в том числе применяя методы гуманитарных и социальных наук.

Как отмечают авторы брошюры «Тренды публикационной активности российских исследователей по данным Web of Science, Scopus», наибольшая доля научных публикаций России за 2019 год, по данным Scopus, приходится на приоритет «а» (27,6%), а наименьшее значение – среди статей, относящихся к приоритету «ж» (7%), что отвечает мировым тенденциям [14]. По данным Scopus, самые высокие позиции Российской Федерации наблюдаются по приоритетам «а», «б» и «е», самая низкая – по приоритету «в».

Каждый из приоритетов включает в себя несколько предметных областей, некоторые из них пересекаются, поэтому определить рейтинг России и других стран по какому-либо приоритету трудно, можно лишь предполагать лидерство, исходя из лидерства страны в тех предметных областях, которые относятся к приоритетным направлениям. Фактически,

приоритеты научно-технологического развития включают в себя все предметные области, представленные в Scopus.

Рассмотрим, сколько публикаций принадлежит России, и какое место она занимала в мировом рейтинге по предметным областям в 1996, 2010 и в 2019 гг. (табл. 6.1).

Снижение темпов роста общего количества российских публикаций в 2010 году по сравнению с 1996 годом было связано со снижением темпов публикационного потока по отдельным предметным областям. По всем областям, не считая экономических наук, Россия ухудшила свои позиции в рейтинге, а по семи из них было меньше публикаций, чем в 1996 году: бизнес, менеджмент, бухгалтерский учет; инженерия; науки об окружающей среде, экология; медицинские специальности; иммунология и микробиология; материаловедение; междисциплинарные науки. По ним же были самые заметные падения в рейтинге: с 22-го места на 55-ое – по бизнесу; с 8-го на 23-е – по экологии; с 17-го на 38-ое – по медицинским специальностям; с 9-го на 27-ое – по междисциплинарным наукам.

Рассматривая мировой рейтинг в 2019 году, можно отметить, что по шести областям знаний – компьютерным наукам, энергетике, инженерии, материаловедению, математике и фармакологии – России удалось вернуть те же позиции, которые она занимала в 1996 году. На более низком уровне остались позиции по сельскохозяйственным и биологическим наукам; биохимии, генетики и молекулярной биологии; химическим технологиям; химии; иммунологии и микробиологии; междисциплинарным наукам; нейронаукам. В остальных же предметных областях в 2019 году место России в рейтинге по сравнению с 1996 годом повысилось.

В области медицины Россия улучшила свои показатели, переместившись с 20-го места, которое она занимала в 1996 году, на 19-ое в 2019 году, однако эта область по-прежнему остается слабым звеном, также как и дисциплины, связанные со здравоохранением: уход за больными (37-ое место); стоматология (24-ое место); нейронауки (21-ое место); фармакология, токсикология, фармацевтика (20-ое место). Самый большой отрыв российских публикаций от публикаций стран-лидеров сохраняется в области ветеринарии – всего 147 единиц (43-е место).

Таблица 6.1 – Количество публикаций по предметным областям и место России в мировом рейтинге в 1996, 2010 и 2019 гг.

Предметная область	1996	2010	2019
Сельскохозяйственные и биологические науки	1654 (12)	2213 (23)	5685 (13)
Искусство, гуманитарные науки	117 (22)	417 (34)	5289 (5)
Биохимия, генетика, молекулярная биология	3383 (12)	3704 (17)	7206 (16)
Бизнес, менеджмент, бухгалтерский учет	93 (22)	71 (55)	2769 (13)
Химические технологии	2174 (6)	2348 (12)	5396 (8)
Химия	6615 (5)	6868 (10)	11554 (7)
Компьютерные науки	2007 (9)	2605 (29)	14596 (9)
Науки о принятии решений	101 (16)	176 (33)	2748 (7)
Стоматология	1 (66)	4 (73)	178 (24)
Науки о Земле и планетарные науки	3256 (4)	4234 (10)	13967 (3)
Экономика, эконометрика, финансы	22 (38)	206 (36)	2103 (9)
Энергетика	1260 (4)	1600 (12)	8064 (4)
Инженерия	7550 (7)	6642 (16)	24766 (7)
Науки об окружающей среде, экология	1239 (8)	1191 (23)	10486 (5)
Медицинские специальности	138 (17)	75 (38)	1192 (14)
Иммунология и микробиология	863 (13)	810 (19)	1716 (18)
Материаловедение	8511 (4)	7034 (9)	20052 (4)
Математика	3398 (7)	4818 (11)	12138 (7)
Медицина	3351 (20)	3646 (30)	14601 (19)
Междисциплинарные науки	266 (9)	222 (27)	960 (18)
Нейронауки	329 (17)	381 (28)	1018 (21)
Уход за больными (сестринское дело)	14 (42)	97 (41)	322 (37)
Фармакология, токсикология, фармацевтика	479 (20)	510 (26)	1399 (20)
Физика, астрономия	12827 (4)	14068 (7)	30729 (3)
Психология	32 (33)	119 (40)	911(20)
Общественные науки	223 (23)	723 (38)	8960 (9)
Ветеринария	12 (56)	31 (62)	147 (43)

Наибольшее число российских публикаций в 2019 году было зафиксировано по физике и астрономии (30 729 единиц). В этой предметной области российские ученые всегда имели мировое лидерство. Далее следуют публикации по инженерным наукам (24 766 единиц) и по материаловедению (20 052 единицы). Обе предметные отрасли также традиционно обеспечивают России наибольший прирост публикаций. К группе отраслей, по которым было создано от 10 до 15 тысяч публикаций, относятся: химия, компьютерные науки, науки о Земле и планетарные науки, науки об окружающей среде и экология, математика, медицина.

В 2019 году Россия вошла в пятерку ведущих стран мира по шести областям наук из двадцати семи (22%) и занимает в рейтинге два третьих места – по физике и наукам о Земле, два четвертых – по энергетике и материаловедению и два пятых места – по экологии и по гуманитарным наукам.

По восьми предметным областям (30%) Россия входит в десятку стран, занимавших в 2019 году лидирующие позиции: математика (7-ое место); химия (7-ое); науки о принятии решений (7-ое); инженерия (7-ое); химические технологии (8-ое); компьютерные науки (9-ое); экономика, эконометрика, финансы (9-ое) и общественные науки (9-ое место). Если темпы прироста публикаций по этим дисциплинам сохраняться, то Россия в перспективе может подняться на пятую ступень в мировом рейтинге. По остальным предметным областям, а их почти половина, российским ученым, вероятно, не удастся войти в пятерку лидеров в ближайшем будущем.

Новым Указом Президент Российской Федерации В.В. Путин внес корректировку сроков реализации национальных проектов – до 2030 года, изменились также и некоторые целевые показатели, один из которых – обеспечение присутствия Российской Федерации в числе не пяти, а десяти ведущих стран мира по объему научных исследований и разработок [78]. Можно надеяться, что поставленные цели будут достигнуты.

Рассматривая показатели цитируемости в предметных областях, где Российская Федерация в 2019 году имеет наилучшие показатели, следует отметить, что цитируемость статей российских авторов является самой низкой. В области наук о Земле российские публикации цитируются меньше, чем американские, в 8,3 раза, чем китайские – в 6,5 раза; по физике, астрономии, соответственно, – в 5 и в 6,3 раза; по материаловедению – в 6,7 и в 17,5 раза; по энергетике – в 10 и в 24 раза; по экологии – в 12,4 и в 23 раза; по гуманитарным наукам – в 22 и в 4 раза. Показатель цитируемости на один документ в этих областях также невысок, в пределах от 0,3 до 0,4, в гуманитарных науках он равен 0,14.

Результаты исследования российских публикаций по предметным областям показали, что практически во всех областях науки, за небольшим исключением, первенство

принадлежит Китаю или США. Россию можно отнести к группе стран, с которыми она может конкурировать и бороться за место в десятке мирового рейтинга. Это Австралия, Великобритания, Германия, Канада, Индия, Испания, Италия, Франция, Южная Корея, Япония. Кроме того, анализ публикационного потока показывает, что в России и в других странах наибольшее число статей относится к естественным и точным наукам. Однако, если на втором месте в мире находятся публикации по медицине и здравоохранению, то в России их опережают публикации в области техники и технологий.

Далее авторами рассматривается количество публикаций России в области математики, физики и астрономии, компьютерных наук в разрезе отраслевых направлений, анализируются показатели в биологических науках, проводится сравнение с показателями других стран-лидеров.

1.6.1 Публикации России в области математики

Общее количество российских публикаций по математике в период с 1996 до 2019 год выросло в 3,6 раз, с 3 398 до 12 138 единиц (табл. 1.6.2). Сравнивая динамику числа публикаций России и стран, традиционно занимающих лидирующие позиции в рейтинге, можно отметить, что в 1996 году публикационная активность США превосходила российскую в 6,5 раза (20 956), а в 2019 году – всего в 3,5 раза (42 864). Аналогичная ситуация по математике складывалась и в других странах, постоянных лидерах в рейтинге. Публикационная активность Германии в 1996 году была в 1,8 раза выше, чем России, в 2019 году – в 1,3 раза (5 971 и 15 947); Великобритании – в 1,3 и 1,1 раза (4 543 и 13 866); Франции – в 1,3 и 1,1 раза (4 261 и 12 930), соответственно. По отношению к этим странам Россия постепенно сокращает разрыв в публикационном потоке. Япония, которая в 1996 году была на 5-ом месте по количеству публикаций в области математики и немного обогнала Россию (в 1,1 раза), в 2019 г. уже отставала от нее, находясь на 9-ом месте (4 047 и 9 389). Количество публикаций Японии в этой области составило 80% российских.

Иная ситуация в странах, выдвинувшихся в лидеры в последние годы. Китай в 1996 году находился на шестом месте по числу публикаций в области математики, общее же количество (3 486 документов), всего на 100 единиц меньше, чем у России. В 2005 году он занимал уже второе место, а число публикаций в четыре раза превосходило Россию. В 2010 году оно выросло до 30 415 документов и превысило российские более, чем в шесть раз. В 2019 году Китай переместился на первое место с числом публикаций в 71 436 единиц, это в 1,7 раза больше, чем у США.

Таблица 1.6.2 – Показатели публикационной активности стран-лидеров в предметной области «Математика» в 1996–2019 гг.

Страны	1996			2005			2010			2019		
	Кол-во публикаций	Рейтинг	Цитируемость									
США	20956	1	490575	29887	1	674073	34418	1	609550	42864	2	21957
Германия	5971	2	120871	9159	3	175928	11666	3	163521	15947	4	7258
Великобритания	4543	3	96924	7823	5	164053	9659	5	171450	13866	5	8309
Франция	4261	4	81569	7849	4	157903	10436	4	145175	12930	6	5677
Япония	4047	5	46436	6645	6	66167	7547	6	66398	9389	9	3015
Китай	3486	6	28157	17999	2	170359	30415	2	271459	71436	1	35550
Россия	3398	7	23521	4120	11	27682	4818	11	27717	12138	7	3342
Канада	2812	8	58942	4975	8	89337	6463	8	106982	7673	11	4178
Италия	2785	9	46378	5864	7	91504	7195	7	93432	11654	8	6338
Австралия	1564	10	28551	3110	12	51272	3497	13	56910	6088	15	4492
Испания	1442	11	26640	4423	10	79144	5871	9	81549	7755	10	4310
Нидерланды	1397	12	32151	2351	14	54130	3087	15	50957	3833	18	1946
Польша	1322	13	13749	2472	13	24007	3084	16	26671	5143	16	1932
Индия	1217	14	13028	2252	16	33370	5384	10	56130	16147	3	6960
Израиль	1193	15	24276	1710	18	34563	2041	21	27886	2548	27	1010

В 2019 году на третье место по числу публикаций в области математики поднялась Индия (16 147 единиц), увеличив публикационный поток документов в 13 раз по сравнению с 1996 годом, когда она была на четырнадцатом месте (1 217 единиц). Этот результат в 1,3 раза выше, чем у России и в 2,7 раза ниже, чем у США. В 2010 году Индия занимала десятое место (5 384 единицы), в дальнейшем при сохранении высоких темпов прироста публикаций в этой области она имеет много шансов обогнать США.

Заняв лидирующие позиции в рейтинге, Китай и Индия потеснили традиционных лидеров, в том числе и Россию, несмотря на их высокую публикационную активность в этой области. Отметим, что цитируемость российских публикаций по математике является одной из самых низких среди этих стран.

Предметная область «Математика» объединяет 14 отраслевых направлений (в порядке их размещения в базе): алгебра и теория чисел; математический анализ; прикладная математика; вычислительная математика; контроль и оптимизация; дискретная математика и комбинаторика; геометрия и топология; математическая логика; математическая физика; математика (прочее); моделирование и имитационное моделирование; численный анализ; статистика и вероятность; теоретическая компьютерная наука.

По пяти направлениям в 2019 году Россия среди ключевых партнеров продвинулась вперед, то есть количество российских публикаций росло быстрее, чем в других странах. Особенно значительный успех она достигла в публикациях по контролю и оптимизации, поднявшись с 11-го места на 4-ое; по дискретной математике (с 16-го на 9-ое); по логике (с 16-го на 8-ое). По четырем – находилась на тех же позициях, что и в 1996 году, в остальных же направлениях опустилась на одно-два места в рейтинге. Россия вошла в пятерку лидеров по пяти направлениям, в четырех из них она занимает четвертое место, кроме того по шести направлениям находится в первой десятке.

На рисунках 6 и 7 показана доля российских публикаций по отраслевым направлениям в области математики в 1996 и 2019 гг.

Самое большое число российских публикаций в области математики приходится на прикладную математику (3 567 документов), впереди нее те же самые страны, что и в 1996 году – Китай, США, Германия, но поменявшие позиции. Лидирующую группу возглавил Китай (23 241 документ), число его публикаций почти в два раза превышает число публикаций США (12 581) и в 6 раз – Германии (4 034). Второй результат по числу российских публикаций по математике – в направлении прочих математических наук (3 433 единицы), он в 2,3 раза меньше, чем у Китая (7 862), в 1,9 раза – чем у США (6 629), всего на 50 публикаций меньше, чем у Индии (3 482 единицы).

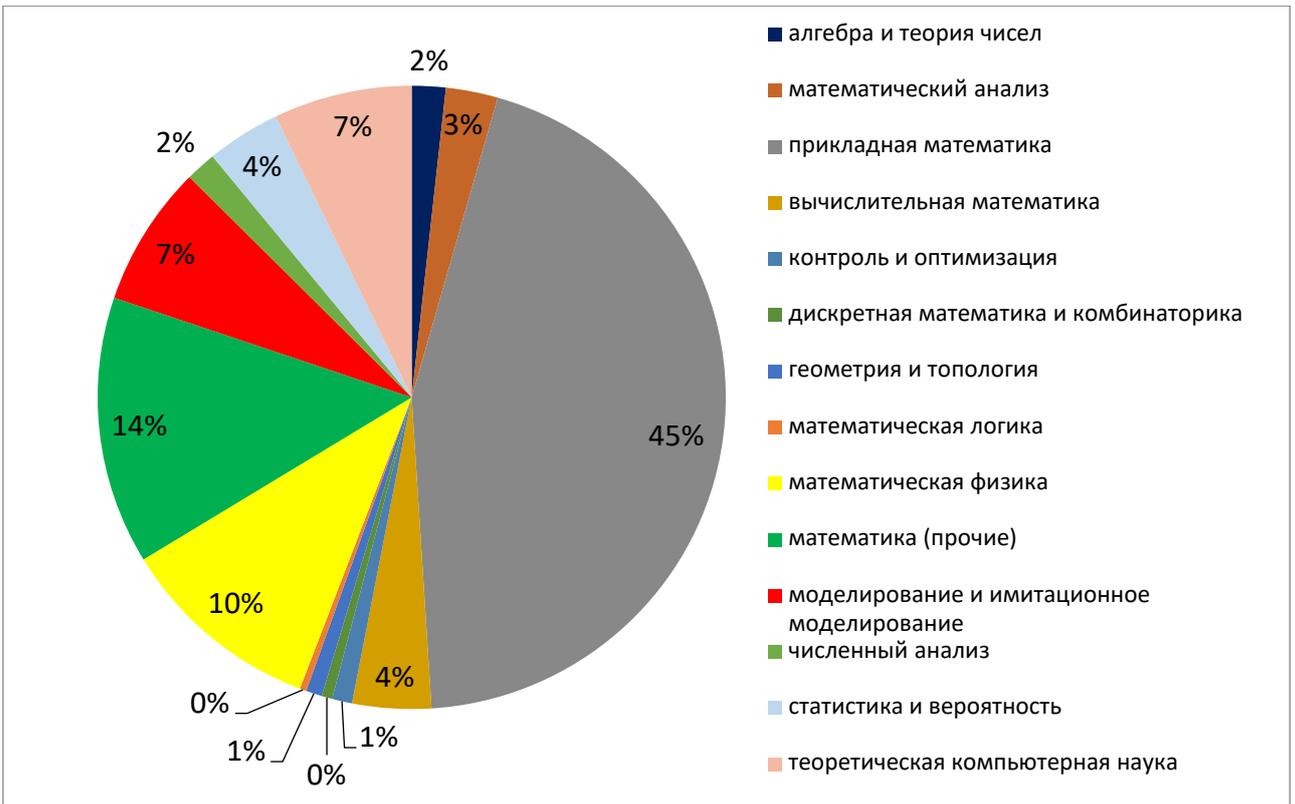


Рисунок 1.6 – Доля российских публикаций по отраслевым направлениям в области математики в 1996 году

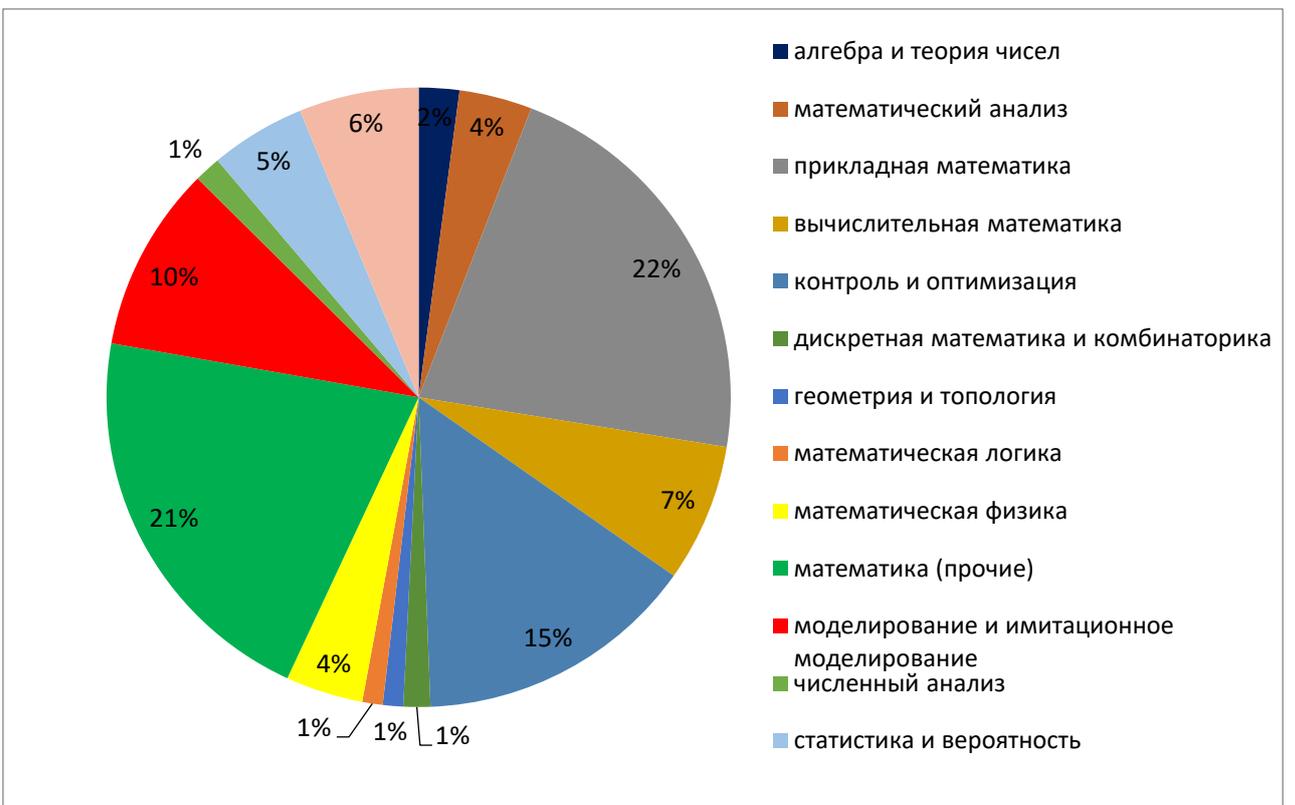


Рисунок 1.7 – Доля российских публикаций по отраслевым направлениям в области математики в 2019 году

В этом направлении Россия успешно превзошла своих ключевых партнеров – Германию, Великобританию и Японию, которые в 1996 году опережали ее. На третьем месте публикации по контролю и оптимизации (2 404 единицы). В первых лидерах: Китай (18 171 документ), США (5 317), Индия (3 437). Математическая физика – это направление, где показатели стран-лидеров невысокие: у Китая 1 527 публикаций, у США – 1 417, у Германии – 707, у России – 660 публикаций. Китай, занимавший в 1996 году в этом направлении 13-ое место, потеснил в 2019 году лидирующую пятерку стран, однако Россия так и осталась на четвертом месте, сумев опередить Францию (649 публикаций).

1.6.2 Публикации России в области физики и астрономии

Россия всегда считалась ведущей мировой державой в области физики и астрономии, в этой области создавалось наибольшее количество российских публикаций. В 1996 году она входила в пятерку лидеров и была на четвертом месте в мировом рейтинге (12 827 единиц) (табл. 6.3). На 23% больше публикаций имела Германия, занимающая третье место, на 30% – Япония, находящаяся на второй позиции. Число публикаций лидера группы – США – превосходило число российских публикаций в 3,5 раза. На пятом месте была Франция (11 079 единиц), ее результат на 13,6% ниже, чем у России. Великобритания заняла шестую позицию с количеством публикаций по физике, равным 10 527 единицам, что на 552 публикации меньше, чем у Франции.

Снижение публикационного потока в 2005–2010 гг., конечно, повлияло на позиции России в рейтинге, однако ниже седьмого места она не опускалась. В этот период число российских публикаций находилось в пределах 14–15 тысяч. Франция (16 тыс. документов в 2005 году, 19 тыс. – в 2010 году) и Великобритания (15 тыс. и 17 тыс.) сумели опередить Россию, заняв пятое и шестое места.

В 2019 году число российских публикаций по физике увеличилось в 2,4 раза по сравнению с 1996 г. и в 2,2 раза по сравнению с 2010 г., превысив 30 тысяч. В результате Россия поднялась на третье место, она имела 30 729 публикаций, в три раза меньше, чем Китай, и в два раза меньше, чем США, опередивших ее в рейтинге. Всего лишь на 7% меньше, чем российских, публикаций у Германии (четвертое место) и на 12,6% – у Индии (пятое место). Япония, традиционно опережавшая Россию и входящая в пятерку лидеров, оказалась на шестом месте, ее показатель был ниже российского на 24,7%. Великобритания (21 086 документов) и Франция (18 410 документов) опустились на седьмую и восьмую позиции.

Таблица 6.3 – Показатели публикационной активности стран-лидеров в предметной области «Физика и астрономия» в 1996–2019 гг.

Страны	1996			2005			2010			2019		
	Кол-во публикаций	Рейтинг	Цитируемость									
США	44763	1	1607013	61712	1	1924335	62716	1	1741588	62738	2	69372
Япония	18086	2	361240	26760	3	503826	25640	4	423099	23131	6	17891
Германия	16595	3	529769	24182	4	686208	27380	3	693109	28569	4	30589
Россия	12827	4	152533	14756	7	202517	14068	7	173291	30729	3	13855
Франция	11079	5	305053	16365	5	453353	18934	5	455268	18410	8	18474
Великобритания	10527	6	302728	15618	6	493533	17441	6	486061	21086	7	25340
Китай	8485	7	77738	35788	2	487796	54451	2	775200	114122	1	88656
Италия	6822	8	161364	11358	8	286415	13017	8	312910	16343	9	17242
Канада	4583	9	131650	7343	10	206376	8517	12	227067	10072	13	11870
Индия	4098	10	66341	6962	12	150597	11904	9	199884	26868	5	18548
Испания	3706	11	104781	7220	11	205449	9755	11	256889	11049	12	13037
Польша	3372	12	59787	5788	13	106367	5819	15	97055	8316	16	7262
Нидерланды	3183	13	104378	4491	17	154864	5175	17	171500	6153	19	8801
Швейцария	3042	14	102187	4651	15	163131	5919	14	169581	6641	18	10106
Австралия	2586	15	72137	4317	18	123107	5637	16	159668	8435	15	12533

В области физики на протяжении всего периода сложилась явная группа лидеров: США, Россия, Германия, Япония, Великобритания и Франция. Однако, как и в области математики, здесь налицо взлет количества публикаций новых лидеров – Китая и Индии. Китай, занимавший седьмое место в 1996 году, в 2005 году переместился на второе место, в 2010 году сохранил эту позицию, а в 2019 году возглавил группу лидеров. Индия, имевшая показатель в три раза ниже российского, была в 1996 году на десятом месте, в 2019 году она сумела потеснить не только Францию и Великобританию, но и Японию, заняв пятое место в мировом рейтинге.

В области физики и астрономии выделено 10 направлений исследований (в порядке их размещения в базе): акустика и ультразвук; астрономия и астрофизика; атомная физика, молекулярная физика и оптика; физика конденсированного состояния; специальное оборудование; ядерная физика; физика и астрономия (прочие); радиационные исследования; статистическая и нелинейная физика; физика поверхности и границ раздела.

По шести отраслевым направлениям Россия в 2019 году входит в пятерку лидеров и занимает в рейтинге четыре третьих места, четвертое и пятое. По остальным направлениям она находится в первой десятке. Однако по сравнению с 1996 годом позиции России в рейтинге снизились, за исключением двух направлений. Наибольшие темпы роста относятся к публикациям по радиационным исследованиям (в 4,7 раза), что позволило ей переместиться с четвертого места в 1996 году на третье в 2019 году. Показатель по прочим исследованиям в области физики и астрономии (13 625 документов) превысил показатель 1996 года в 4,5 раза, и Россия с пятого места поднялась на третье. С большим трудом ей приходится удерживать позиции в атомной физике, физике конденсированного состояния, ядерной физике, а также статической и нелинейной физике, по ним в 2019 году Россия опустилась на одно место. Самые заметные падения в рейтинге в 2019 году были в публикациях по астрономии и астрофизике (с 3-го на 9-ое место) и по акустике и ультразвуку (с 3-го на 8-ое место). В этих дисциплинах необходимо увеличить темпы роста публикаций, чтобы вернуть позиции 1996 года.

На рисунках 8 и 9 показана доля российских публикаций по отраслевым направлениям в области физики и астрономии в 1996 и 2019 гг.

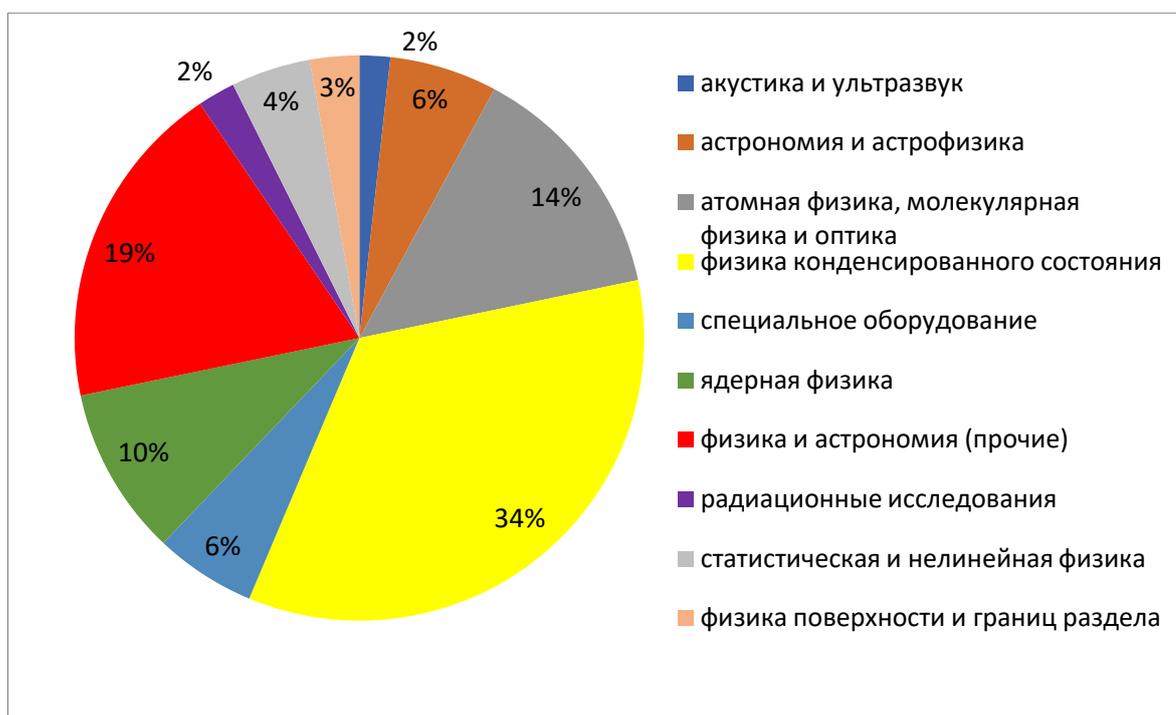


Рисунок 1.8 – Доля российских публикаций по отраслевым направлениям в области физики и астрономии в 1996 году



Рисунок 1.9 – Доля российских публикаций по отраслевым направлениям в области физики и астрономии в 2019 году

В 2019 году Китай потеснил в рейтинге традиционных лидеров, в том числе и Россию. По восьми направлениям он стал первым, при этом его показатели выше показателей США в 2–2,5 раза по четырем дисциплинам, по физике поверхности и границ раздела – в 3,2 раза. В публикациях по ядерной физике он находится на второй позиции, его результат в 1,2 раза ниже США (3 939 документов). Отметим, что в 1996 году Китай был на 9-ом месте с результатом в 8 раз меньше, чем у США. Кроме того, он занимал 13-ое место в публикациях по астрономии и астрофизике, однако в 2019 году поднялся уже на четвертую ступень. Если в начале периода число публикаций США превышало число публикаций Китая в 16 раз, то в конце периода – менее, чем в три раза. При этом результаты Германии и Великобритании были выше результатов Китая в 1,2 раза.

Определенных успехов достигла Индия. В 2019 году она вышла на третье место в публикациях по физике конденсированного состояния (10 597 документов), по специальному оборудованию (4 484 документа), по физике поверхностей и границ раздела (1 104 документа). Индия поднялась на четвертую ступень в публикациях по атомной и молекулярной физике, ее показатель (4 025 единиц) был близок к показателю России (4 160), занявшей третью позицию. На пятом месте Россия была в прочих направления по физике и астрономии (7 925 документов).

Несмотря на высокие показатели количества российских публикаций в области физики и астрономии в 2019 году, их цитируемость по-прежнему остается самой низкой среди стран-лидеров: в 6,4 раза ниже, чем у Китая, в 5 раз – чем у США, в 2,2 раза – чем у Германии, в 1,3 раза – чем у Индии. В то же время, в некоторых отраслевых направлениях цитируемость на 1 российскую публикацию близка к цитируемости на 1 китайскую публикацию, по акустике и ультразвуку, по радиационным исследованиям и по статической и нелинейной физике она выше: у российских публикаций этот показатель равен 0,42, 0,29 и 0,47, а у китайских – 0,40, 0,28 и 0,45, соответственно.

1.6.3 Публикации России в области компьютерных наук

Российские публикации в области компьютерных наук немногочисленны, их доля все годы не превышала 3%. В 1996 году Россия находилась на девятом месте в мировом рейтинге по числу публикаций в этой области (2 007 единиц), это в 13,3 раза меньше, чем у лидера группы – США (27 096 единиц); в два с лишним раза, чем у Японии, Великобритании и Германии; в 1,8 раза, чем у Франции.

Низкие темпы роста публикационного потока в этой области по сравнению с другими странами повлияли на то, что в 2005 году Россия опустилась на 17-ое место, количество же публикаций при этом по сравнению с 1996 годом увеличилось всего на 226 единиц. В 2010 году она занимала уже 29-ое место в рейтинге с числом публикаций в 2605 единиц. В следующем периоде происходили существенные положительные передвижения за счет значительного прироста числа публикаций, что позволило России в 2019 году войти в первую десятку лидеров и вернуть те же позиции (девятое место), которые она занимала в 1996 году. При этом заметно сократился отрыв от других стран: до 5,2 раза – от США, до 1,7 раза – от Германии, до 1,6 раза – от Германии, до 1,1 раза – от Франции, занявшей восьмое место.

Как и в других предметных областях, в области компьютерных наук пятерку традиционных лидеров потеснили новые страны – Китай и Индия. Если в 1996 году Китай находился на шестом месте, а число публикаций (3 171 документ) было в 8,5 раз меньше, чем у США, то в 2005 году он занимал вторую позицию, при этом число публикаций (23 768 документов) по сравнению с США было ниже в 1,9 раза. Спустя пять лет Китай уже возглавлял группу лидеров с результатом, превышающим результат США в 1,3 раза.

Таблица 6.4 – Показатели публикационной активности стран-лидеров в предметной области «Компьютерные науки» в 1996–2019 гг.

Страны	1996			2005			2010			2019		
	Кол-во публикаций	Рейтинг	Цитируемость									
США	27096	1	628003	45216	1	1172443	59648	2	1200131	76333	2	50932
Япония	5284	2	54562	10557	3	93934	16618	4	110032	19404	6	7108
Великобритания	4919	3	104295	10137	5	213052	16266	5	260638	23335	5	16974
Германия	4788	4	97297	10397	4	179584	19235	3	257994	25041	4	12802
Франция	3571	5	63115	7686	6	146965	13941	6	191497	16708	8	7867
Китай	3146	6	19449	23768	2	179779	79607	1	468947	124439	1	73226
Канада	2961	7	64999	7240	7	156548	11079	7	196858	13399	11	9595
Италия	2328	8	38791	6074	9	100374	10362	8	141280	17224	7	11271
Россия	2007	9	6313	2233	17	11473	2605	29	13262	14596	9	4133
Австралия	1627	10	24944	4588	11	74432	7416	13	104938	12025	13	11104
Тайвань	1396	11	21222	4056	12	62478	9654	11	94832	8321	15	3632
Нидерланды	1389	12	26446	3036	13	68454	5544	14	93878	6531	20	3888
Южная Корея	1350	13	12836	6122	8	67241	9213	12	93236	13989	10	7886
Испания	1048	14	14978	4684	10	78536	9984	9	131732	12659	12	8079
Индия	962	15	20762	2580	14	35298	9918	10	87320	47475	3	21313

Первые пятнадцать лет Индия наращивала публикационный поток постепенно: с 15-го места, которое занимала в рейтинге в 1996 году, переместилась на 14-ое в 2005 году, а в 2010 году – на 10-ое. Ее результат был в 8 раз ниже, чем у Китая, и в 6 раз ниже, чем у США. Затем темпы роста публикационного потока возросли, в 2019 году Индия занимала третью позицию в рейтинге (47 475 документов), при этом число публикаций по сравнению с 2010 годом увеличилось почти в пять раз, а результат был в 2,6 раза ниже, чем у Китая, и в 1,6 ниже, чем у США.

В области компьютерных наук выделено 12 отраслевых направлений (в порядке их размещения в базе): искусственный интеллект; теория алгоритмов и математика; компьютерная графика и система автоматизированного проектирования; компьютерные сети и связь; применение компьютерных наук; компьютерные науки (прочие); компьютерное зрение и распознавание объектов; оборудование и архитектура компьютеров; человеко-компьютерное взаимодействие; информационная система; обработка сигналов; программное обеспечение.

Следует отметить, что очень неравномерно идет нарастание темпов роста публикаций по указанным направлениям. По шести из них Россия в 2019 улучшила свои позиции по сравнению с 1996 годом. На самую высокую ступень (пятое место) смогла подняться только по одному – прочие компьютерные науки. Еще по четырем направлениям она находилась на позициях в первой десятке. Особенно большой прогресс наметился с публикациями по обработке сигналов, где Россия переместилась с 24-го места в 1996 году на 8-ое в 2019 году, а также в публикациях по оборудованию и архитектуре (с 22-го на 7-ое место). Очевидна положительная тенденция в ситуации с публикациями по человеко-компьютерному взаимодействию. Если в 1996 году Россия в этом направлении по числу публикаций была на самом низком месте (38-ом), то в 2019 году она передвинулась на шестнадцать мест выше (на 22-ое), при этом ее показатель вырос в 177,5 раза. Кроме них отметим высокие темпы прироста числа публикаций по искусственному интеллекту (в 72 раза), здесь Россия с 29-го места поднялась на 16-ое.

На рисунках 1.10 и 1.11 показана доля российских публикаций по отраслевым направлениям в области компьютерных наук в 1996 и 2019 гг.

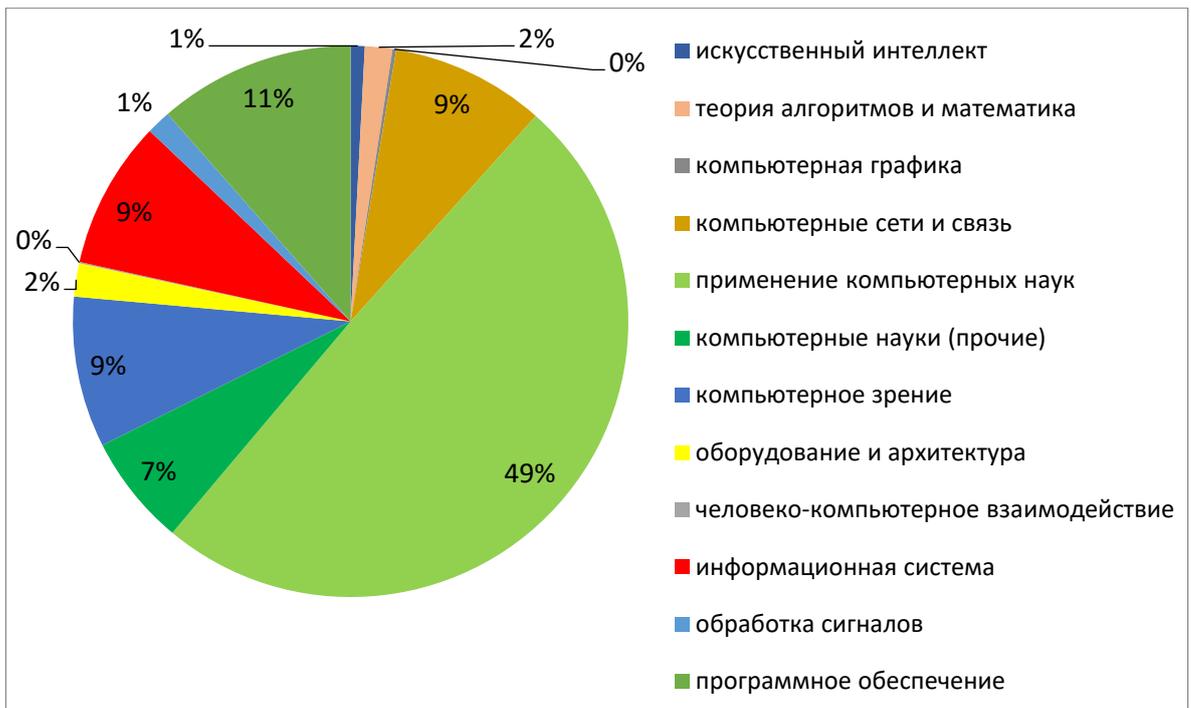


Рисунок 1.10 – Доля российских публикаций по отраслевым направлениям в области компьютерных наук в 1996 году



Рисунок 1.11 – Доля российских публикаций по отраслевым направлениям в области компьютерных наук в 2019 году

Наибольшее число российских публикаций в области компьютерных наук в 2019 году приходится на публикации по прочим компьютерным наукам (4 559 единиц). По сравнению с 1996 годом этот показатель увеличился в 25 раз, а Россия повысила свои позиции в рейтинге на 7 мест. Публикации по применению компьютерных наук имеют второй по численному значению результат (4 395 единиц), однако темпы роста в этом направлении были недостаточны (в три раза больше, чем в 1996 году). Это привело к тому, что Россия опустилась с 6-го места на 10-ое. Значительное отставание темпов роста в публикациях по компьютерному зрению и человеко-компьютерному взаимодействию, где Россия ухудшила свои позиции на 9 и 10 мест, соответственно. Низкие темпы роста и в публикациях по программному обеспечению, здесь произошло снижение на 4 места.

В странах, традиционно лидирующих в области компьютерных наук, сохраняются высокие темпы роста числа публикаций и в ее отраслевых направлениях. Однако в новых странах-лидерах исследования в компьютерных науках достигают еще больших масштабов, что доказывает огромный рост публикаций в этой области.

В публикациях по искусственному интеллекту на первое место поднялся Китай, увеличив публикационный поток по сравнению с 1996 годом в 218 раз. США, заняли второе место с числом публикаций в два раза меньше Китая (11 993 единицы), при этом количество публикаций увеличилось в 6 раз. Третье место в рейтинге принадлежит Индии, ее результат в публикациях по искусственному интеллекту в 2019 году превосходит результат 1996 года в 80 раз. Если в публикациях по теории алгоритмов США, Германия и Великобритания улучшили свои показатели в 5 раз, то Китай – в 44 раза, Индия – в 13 раз. В публикациях по применению компьютерных наук показатели США выросли в 2,3 раза, Германии и Великобритании – в 4 раза, в то же время у Китая – в 19 раз, у Индии – в 31 раз. Аналогичная ситуация и в других отраслевых направлениях.

Как и в других предметных областях, цитируемость российских публикаций в области компьютерных наук в 2019 году является самой низкой среди лидирующих в первой десятке стран (4 133 единицы). Этот результат в 18 раз ниже, чем у Китая, в 12 раз – чем у США, в 5 раз – чем у Индии, в 3 раза – чем у Германии, в 4 раза – чем у Великобритании, в 2 раза – чем у Японии, Италии и Франции, стран, опережающих Россию в рейтинге. Следует отметить, что показатели цитируемости на одну российскую публикацию по компьютерным сетям (0,28) и по человеко-компьютерному взаимодействию (0,29) равны показателям цитируемости на одну японскую публикацию, а по некоторым другим направлениям они отстают не на много.

6.4 Публикации России в области биологии

К группе биологических наук можно отнести семь из двадцати семи крупных предметных отраслей: биохимия, генетика, молекулярная биологии; науки об окружающей среде, экология; сельскохозяйственные и биологические науки; фармакология, токсикология, фармацевтика; нейронауки; ветеринария; иммунология и микробиология. Доля публикаций по биологии в России в 1996 году составляла 25% от общего числа российских публикаций, учитываемых в Scopus, в 2005 году снизилась до 20%, в 2010 – достигла 22%, а в 2019 году сравнялась с 1996 годом (25%).

Число российских публикаций по биологическим наукам всегда уступало числу публикаций по физическим, математическим, химическим или инженерным наукам. Одной из причин отставания России в этой области является сокращение численности работающих в ней. Отметим, что общая численность исследователей в России упала в период 1995–2017 гг. примерно на 30%. Число ученых, которые защитили кандидатские и докторские диссертации в 2014–2017 гг. по всем научным дисциплинам, уменьшилось по сравнению с 2010–2013 гг. на 33% и 46%, соответственно, а по биологическим исследованиям – на 51% и 40%. По биологии же число исследователей высшей квалификации падает быстрее, чем в других научных дисциплинах.

Россия за весь исследуемый период ни разу не входила в десятку лидеров *в области биохимии, генетики, молекулярной биологии*. Самый лучший показатель она имела в 1996 году, когда находилась на двенадцатом месте мирового рейтинга с результатом 3 383 публикаций (табл. 1.6.5). Если от Швеции, занимавшей одиннадцатое место, ее отделяли всего 100 публикаций, то у лидера группы – США – их было в 20 раз больше (66 390 документов), у Японии (второе место) – в 5 раз, у Великобритании (третье место) – в 4,5 раза больше. У Франции, которая располагалась на пятом месте, этот показатель был выше в три раза (10 643 публикации).

Ситуация в рейтинге в 2005 году ухудшилась, тогда Россия оказалась на пятнадцатом месте, а количество публикаций увеличилось на 430 единиц по сравнению с 1996 годом, в 2010 году она опустилась на семнадцатое место, при этом количество публикаций по сравнению с 2005 годом даже уменьшилось до 3 704 документов. В 2019 году Россия переместилась на шестнадцатое место, можно надеяться, что положение начинает выравниваться, хотя очень медленно.

Таблица 1.6.5 – Показатели публикационной активности стран-лидеров в предметной области «Биохимия, генетика, молекулярная биология» в 1996–2019 гг.

Страны	1996			2005			2010			2019		
	Кол-во публикаций	Рейтинг	Цитируемость									
США	66390	1	3549437	72150	1	4453260	79802	1	3669453	86303	2	108980
Япония	17483	2	581531	19634	2	796570	19312	3	557892	18730	5	15867
Великобритания	14963	3	747545	16862	3	1025122	18787	4	935675	22763	4	32968
Германия	12903	4	595689	16507	4	917031	18538	5	838869	22848	3	31476
Франция	10643	5	456224	11780	6	582051	12496	6	525762	14190	8	17793
Канада	7835	6	367713	9396	7	500185	11146	7	471136	13187	9	16856
Италия	7479	7	264083	9393	8	452743	10942	8	422426	15907	6	19619
Испания	4598	8	145069	6479	9	298560	8404	10	329638	11360	11	14529
Нидерланды	4355	9	216830	5209	11	318748	6313	13	343669	7868	14	12931
Австралия	3969	10	169973	5195	12	283683	7063	12	331673	10902	12	15914
Швеция	3489	11	171641	4057	13	216639	4380	16	215746	5709	19	9218
Россия	3383	12	48925	3813	15	66915	3704	17	62059	7206	16	4433
Швейцария	3148	13	200582	3923	14	266849	4913	15	286968	6524	17	11309
Индия	2882	14	53955	5319	10	158324	9608	9	199305	14953	7	11102
Китай	2727	15	41304	11928	5	371332	28613	2	736010	86746	1	83953

В 2019 году традиционную группу лидеров в области биохимии, генетики, молекулярной биологии потеснили новые страны. Китай, который занимал в 1996 году пятнадцатое место, в 2005 году был на пятом, в 2010 – на втором, а в 2019 году – на первом месте (86 746 публикаций), его показатель был выше показателя США на 443 единицы. Индия, не столь быстро, но все же поднялась с четырнадцатого места в 1996 году на седьмое в 2019 году (11 102 публикации).

В публикациях *в области наук об окружающей среде и экологии* Россия в 1996 году находилась на восьмом месте (1 239 документов) (табл. 6.6). В период 2005–2010 гг. их было меньше, чем в 1996 году, следствием чего стало ее резкое падение в рейтинге: в 2005 году – 19-ое место (984 единицы), в 2010 году – 23-е (1 191 единица). В 2019 году Россия смогла подняться на пятое место (10 486 документов), улучшив результат 1996 года в 8,5 раз. Лишь две постоянно лидирующих страны – США и Великобритания – имели лучшие результаты (39 598 и 13 255 единиц). США, переместившись на второе место, имели преимущество по сравнению с Россией по количеству публикаций в 3,8 раза. У Великобритании, занявшей четвертую позицию, также было в 1,3 раза больше публикаций. В 2019 году значительно снизились позиции в мировом рейтинге тех стран, которые опережали Россию в 1996 году: Канады (с 3-го места на 8-ое), Японии (с 5-го на 14-ое) и Франции (с 6-го на 13-ое место). Австралии все же удалось сохранить свое положение на седьмом месте.

В науках об окружающей среде также следует отметить преимущество новых стран-лидеров. Если в 1996 году Китай был на одиннадцатом месте, то в 2005 и 2010 гг. – на втором, а в 2010 году занимал уже первую позицию (62 997 документов), имея результат в шесть раз выше, чем Россия. Китайских публикаций было в 1,6 раза больше, чем публикаций США, которые оказались на втором месте. Другой новый лидер, Индия, превысила результат Великобритании немногим более чем на 600 единиц и поднялась на третье место. В 1996 году она была двенадцатой в рейтинге, в 2005 году – седьмой, в 2010 году – пятой. Из первых двадцати стран мирового рейтинга 2019 года самая низкая цитируемость публикаций по наукам об окружающей среде и экологии – у России.

Таблица 1.6.6 – Показатели публикационной активности стран-лидеров в предметной области «Науки об окружающей среде, экология» в 1996–2019 гг.

Страны	1996			2005			2010			2019		
	Кол-во публикаций	Рейтинг	Цитируемость									
США	14964	1	524034	21892	1	809101	26706	1	744313	39598	2	37553
Великобритания	4202	2	134100	5860	3	242320	7559	3	249406	13255	4	16351
Канада	2604	3	90334	3917	5	151146	5406	6	153652	8666	8	9125
Германия	2526	4	65202	4607	4	154348	6287	4	172536	10307	6	11429
Япония	2022	5	42724	3439	6	86360	4259	9	80221	6288	14	4576
Франция	1722	6	55079	3057	8	121552	4677	7	139139	7090	13	7524
Австралия	1626	7	60078	2797	9	107486	4302	8	142002	9310	7	12562
Россия	1239	8	10296	984	19	15253	1191	23	16813	10486	5	3020
Нидерланды	1148	9	49641	1726	12	84304	2546	13	102133	4731	18	6507
Испания	1114	10	35759	2323	10	99424	4200	10	145959	8249	10	9208
Китай	1104	11	15298	5912	2	128431	14756	2	356810	62997	1	69569
Индия	1080	12	19164	3057	7	69286	5477	5	97325	13894	3	9712
Италия	1052	13	30218	2138	11	73029	3645	11	108860	8290	9	9184
Швеция	869	14	34001	1430	13	66937	1832	16	69639	3738	19	4624
Польша	653	15	9486	1019	18	22677	1790	17	27771	4948	16	3395

По количеству публикаций *в области сельскохозяйственных и биологических наук* в 2016 году (1 654 единицы) Россия занимала двенадцатое место (табл. 1.6.7). На первом месте находились США, у которых насчитывалось в 14,4 раза больше публикаций, чем у России, на втором – Великобритания, у нее результат превосходил российский в 4,3 раза. После снижения в 2010 году до 23 места виден явный прогресс – России удалось подняться в 2019 году на тринадцатую позицию. Количество публикаций в этой области достигло 5 685 единиц, в 7,7 раза меньше, чем у США, занявшего второе место, и в 2,2 раза – чем у Великобритании, которая разместилась на четвертой позиции. Япония и Франция, которые занимали в рейтинге 1996 года пятое и шестое места, в 2019 году оказались на двенадцатом и одиннадцатом местах, соответственно. Их показатели по сравнению с 1996 годом выросли не более, чем в 2 раза, у России – в 3,4 раза.

Необходимо отметить мощный взлет публикаций в области сельскохозяйственных и биологических наук у Китая. Если в 1996 году он располагался на семнадцатом месте в мировом рейтинге, в 2005 году – на третьем, в 2010 году – на втором, то в 2019 году опередил США и занял первую ступень (49 263 документа). Однако в этой области появился еще один новый лидер – Бразилия. С шестнадцатого места, которое она занимала в 1996 году, Бразилия поднялась на двенадцатое в 2005 году, а с 2010 года она все время остается на третьей позиции. Индия, хотя и считается в большей степени аграрной страной, не имела такого явного прогресса в публикациях по сельскохозяйственным наукам. В 1996 году она была на девятом месте, в 2010 году достигла шестого и сохранила эти позиции в 2019 году.

По количеству публикаций *в области фармакологии, токсикологии и фармацевтики* России до сих пор не удается подняться выше двадцатого места в мировом рейтинге (табл. 6.8). В 1996 году ее результат (479 документов) был в 28 раз ниже, чем у США, которые занимали первое место. Япония имела в 12,3 раза больше публикаций, чем Россия, Великобритания – в 8 раз, Германия – в 6 раз, Франция – в 5 раз.

В 2005 году в пятерку постоянных лидеров вторгся Китай, поднявшись с десятого места, которое он занимал в 1996 году, на третье. В 2010 году он находился уже на втором, а в 2019 году – на первом месте с публикациями, которых было на 20% больше американских. Еще один новый лидер, Индия, также потеснила традиционные страны. В 1996 году она располагалась на седьмом месте, в 2005 году – на шестом, в 2010 году поднялась на третье и сохранила его за собой в 2019 году.

Таблица 1.6.7 – Показатели публикационной активности стран-лидеров в предметной области «Сельскохозяйственные и биологические науки» в 1996–2019 гг.

Страны	1996			2005			2010			2019		
	Кол-во публикаций	Рейтинг	Цитируемость									
США	23762	1	976592	31742	1	1350304	36205	1	1103112	43987	2	35334
Великобритания	7116	2	278476	8360	2	412247	9535	4	356929	12308	4	12796
Канада	4960	3	183854	5999	6	249171	7224	9	222995	9143	9	7927
Германия	4748	4	153965	7378	4	305230	9180	5	310017	12006	5	11600
Япония	4653	5	98915	7050	5	185536	7501	7	146216	7864	12	4247
Франция	4292	6	142056	5434	7	240615	7259	8	260163	8505	11	7960
Австралия	3614	7	124860	5197	8	202849	6783	11	210887	9968	7	9869
Испания	2625	8	78165	4642	9	182195	7005	10	205295	9643	8	8528
Индия	2489	9	28332	4390	10	76364	7664	6	107302	11401	6	5167
Италия	2396	10	55775	3668	11	113291	5444	12	143318	8942	10	8718
Нидерланды	2095	11	83512	2558	13	121633	3015	15	117024	4099	18	4646
Россия	1654	12	15996	1844	15	26242	2213	23	28307	5685	13	2334
Швеция	1526	13	62394	2007	14	85754	2346	19	84622	3244	22	3412
Новая Зеландия	1217	14	37858	1642	17	59683	1937	26	70299	2613	30	2309
Южная Африка	1140	15	26009	1491	23	45574	2208	24	45311	3555	20	2609
Китай	1070	17	20559	8218	3	160370	17173	2	310579	49263	1	30309

Таблица 1.6.8 – Показатели публикационной активности стран-лидеров в предметной области «Фармакология, токсикология, фармацевтика» в 1996–2019 гг.

Страны	1996			2005			2010			2019		
	Кол-во публикаций	Рейтинг	Цитируемость									
США	13458	1	457664	15452	1	666109	19011	1	589579	20065	2	18418
Япония	5909	2	118439	4979	2	135227	4973	4	94793	4818	5	2746
Великобритания	3799	3	130324	4246	4	167324	4937	5	143855	4995	4	5105
Германия	2967	4	74338	3495	5	135245	4164	6	119204	4759	6	4237
Франция	2508	5	66562	2420	7	90032	2703	8	75734	3083	9	2773
Италия	2020	6	49139	2418	8	92251	3185	7	93357	4102	7	4548
Индия	1572	7	22854	2978	6	77686	8192	3	129481	8409	3	4192
Канада	1491	8	62085	1809	10	81492	2011	11	61479	2543	13	2540
Испания	1488	9	30369	2222	9	53107	2237	10	54011	2656	12	2371
Китай	1194	10	10411	4770	3	85581	9463	2	167565	24772	1	18317
Нидерланды	1059	11	29407	1244	13	46715	1320	14	46333	1745	16	1870
Швейцария	840	12	31706	940	15	44684	1174	15	43670	1562	18	1561
Австралия	808	13	19351	981	14	38973	1567	13	49552	2393	14	2719
Швеция	685	14	27085	792	19	33926	870	21	28358	1173	25	1216
Бельгия	588	15	19753	836	17	35871	1096	17	36959	1183	24	1298
Россия	479	20	5134	443	22	8272	510	26	8202	1399	20	871

Ситуацию, которая сложилась с публикациями *в области нейронаук*, нельзя назвать благоприятной, пока что России не удастся войти в первую двадцатку стран (табл. 1.6.9). Всего лишь 329 публикаций в этой области имела Россия в 1996 году и находилась на семнадцатом месте в рейтинге. В то же время у США их насчитывалось в 50 раз больше, у Великобритании – в 20 раз, у Японии – в 11 раз, у Германии – в 9,5 раза. Слишком низкие темпы роста числа публикаций повлияли на то, что в 2005 году Россия опустилась на 25-ое место, а в 2010 году – на 28-ое. Если США в 2019 году увеличил публикационный поток в области нейронаук по сравнению с 1996 годом в 1,7 раза, Великобритания и Германия – в 2 раза, то количество российских публикаций возросло в три раза, что дало возможность России подняться на 21-ое место. Кроме того, заметно сократился разрыв с лидерами: у США было больше публикаций, чем у России, в 28 раз, у Великобритании – в 8 раз, у Германии – в 7 раз, у Японии – в 4 раза. Низкие темпы роста количества публикаций у Японии отразились на занимаемых ею позициях в рейтинге: в 1996 году – третье место, в 2005 году – четвертое, в 2010 году – шестое, в 2019 году – восьмое. Канада же все годы стабильно находилась на пятой позиции.

Индия не смогла показать заметных результатов в области нейронаук, однако Китаю удалось выйти в лидеры. Если в 1996 году он находился на 22-ом месте, то в 2005 году – на десятом, в 2010 году – на четвертом, а в 2019 году занимал второе место. Количество китайских публикаций было в 2,4 раза меньше, чем американских.

Как уже отмечалось, публикации *в области ветеринарии* в 2019 году являются самыми малочисленными среди всех российских публикаций (147 единиц), а место, которое Россия занимает в рейтинге – самым низким по сравнению с другими предметными областями (43-е) (табл. 1.6.10). В 1996 году число российских публикаций (12 документов) было в 260(!) раз меньше, чем у США, которые находились на первом месте, и в 80 раз меньше, чем у Великобритании (второе место). Количество публикаций Германии и Японии более чем в 50 раз превосходило количество публикаций России. Нужно отметить положительные тенденции по сокращению отставания от лидеров в этой области. Если в 2005 году число публикаций США было больше числа российских публикаций в 286 раз, в 2010 году – в 140 раз, то в 2019 – в 34 раза.

Из новых лидеров в области ветеринарии необходимо отметить успехи Бразилии. В 1996 году она находилась на двенадцатом месте и имела 205 публикаций, в 2005 году – на девятом (526 публикаций). За пять дальнейших лет публикационный поток Бразилии возрос в 3,7 раза, что позволило ей подняться на второе место в рейтинг, потеснив с него Великобританию. В 2019 году число бразильских публикаций выросло не так значительно, но она по-прежнему осталась на второй позиции после США.

Таблица 1.6.9 – Показатели публикационной активности стран-лидеров в предметной области «Нейронауки» в 1996–2019 гг.

Страны	1996			2005			2010			2019		
	Кол-во публикаций	Рейтинг	Цитируемость									
США	16620	1	833935	18082	1	1173671	22017	1	975258	28290	1	28978
Великобритания	3929	2	187086	4675	2	312915	5844	2	271793	8354	3	9908
Япония	3621	3	110660	3582	4	133419	3529	6	101357	3891	8	2727
Германия	3138	4	145641	4382	3	265107	5559	3	234803	7514	4	8053
Канада	2127	5	109402	2722	5	167898	3635	5	143173	5320	5	5324
Франция	2029	6	89096	2333	6	126303	2666	8	109900	3591	9	3829
Италия	1756	7	65775	2215	7	114212	3067	7	117268	4464	6	4518
Нидерланды	973	8	43653	1427	8	97816	2085	10	105238	3227	10	3831
Австралия	909	9	37176	1363	9	68078	2307	9	91819	4055	7	4500
Швеция	877	10	39182	979	14	59793	1060	15	49185	1733	16	2229
Испания	755	11	28474	1215	11	57100	1810	11	67485	2814	11	2846
Швейцария	690	12	42164	981	13	73323	1347	14	63439	2217	12	2791
Бразилия	526	13	10125	1096	12	30156	1717	12	32819	2098	14	1560
Израиль	479	14	24704	653	15	37472	809	18	30866	1013	22	960
Россия	329	17	4476	377	25	8317	381	28	6908	1018	21	572
Китай	227	22	5670	1284	10	37105	3665	4	85059	11849	2	8902

Таблица 1.6.10 – Показатели публикационной активности стран-лидеров в предметной области «Ветеринария» в 1996–2019 гг.

Страны	1996			2005			2010			2019		
	Кол-во публикаций	Рейтинг	Цитируемость									
США	3112	1	64590	3715	1	85895	4357	1	74497	4979	1	2250
Великобритания	963	2	21947	1534	2	34580	1650	3	28860	2023	3	1026
Германия	638	3	6766	1064	3	13505	1222	5	16875	1133	6	495
Япония	622	4	8593	629	7	11039	700	11	8570	757	11	231
Канада	540	5	9933	678	6	15003	734	10	12478	957	9	427
Индия	523	6	2515	813	4	4556	1555	4	7287	1122	7	245
Франция	441	7	6693	774	5	14249	921	7	13812	721	12	376
Австралия	412	8	8485	451	12	10926	625	14	12794	962	8	567
Нидерланды	328	9	6115	387	14	9703	471	17	9528	384	21	241
Испания	284	10	4974	419	13	11164	634	13	12412	823	10	403
Польша	254	11	1136	500	11	3104	689	12	3991	573	15	212
Бразилия	205	12	2209	526	9	9893	1940	2	18750	2289	2	506
Бельгия	201	13	2960	326	15	6913	486	16	9807	393	20	218
Швейцария	160	14	3153	318	16	7677	396	19	7641	462	18	316
Китай	27	40	450	254	17	7117	787	9	11736	1986	4	987
Россия	12	56	98	13	67	167	31	62	300	147	43	47

Китай также вошел в пятерку стран-лидеров, постепенно поднявшись с 27-го места в 1996 году на четвертое в 2019. Другой новый лидер, Индия, занимавшая в 1996 году шестое место, в 2005 и 2010 гг. находилась на четвертой позиции. Однако в 2019 году она опустилась на седьмое место, поскольку в пятерку лидеров вырвалась Италия, которая в 1996 году была на 18-ом месте, в 2005 году – на 10-ом, а в 2010 году она занимала восьмое место.

Доля российских публикаций в мировом публикационном потоке *в области иммунологии и микробиологии* весь период с 1996 года по 2019 год колебалась в пределах от 1,1% до 2,6%. Публикации в этой области составляют не более 5% всех публикаций России по биологии в 2019 году. По этому показателю Российская Федерация имеет явное отставание от лидирующих стран, она занимает 18-ое место в рейтинге (1 716 единиц) (табл. 1.6.11). Количество российских публикаций в 13,3 раза меньше, чем у США, лидера группы. Если в 1996 году она находилась на 13-ом месте (863 документа), то в 2005 году число публикаций снизилось до 729 единиц, Россия же переместилась на 19-ое место. Хотя в 2010 году этот показатель вырос до 810 единиц, он так и не достиг значения 1996 года. По сравнению с 1996 годом результат в 2019 году увеличился в два раза, России удалось подняться на одну ступень, однако, такие темпы роста недостаточны.

И здесь группу традиционных лидеров – США, Великобританию, Японию, Германию, Францию – потеснил Китай. В 1996 году он намного отставал от России и находился на 23-ем месте в рейтинге, а его результат был в 40 раз ниже США. В 2005 году Китай занимал 6-ое место, в 2010 году – второе, эту же позицию сохранил в 2019 году. Отрыв от лидера при этом сократился, показатель Китая был ниже показателя США в 1,3 раза.

Япония, занимавшая в 1996 году третье место в рейтинге (3 669 единиц), несколько снизила темпы роста публикаций в области иммунологии и микробиологии. В 2010 году она была на 5-ой позиции (4 019 документов), а в 2019 году опустилась на 7-ую (3 805 документов). По сравнению с 1996 годом ее показатель вырос менее чем на 4%.

Таблица 1.6.11 – Показатели публикационной активности стран-лидеров в предметной области «Иммунология и микробиология»

в 1996–2019 гг.

Страны	1996			2005			2010			2019		
	Кол-во публикаций	Рейтинг	Цитируемость									
США	14124	1	835332	16675	1	1087619	18858	1	896553	22884	1	26101
Великобритания	4228	2	207190	4766	2	290355	5253	3	267752	6591	3	8363
Япония	3669	3	124611	4328	3	177313	4019	5	125464	3805	7	3158
Германия	3076	4	161370	3895	4	226987	4730	4	240928	6039	4	7965
Франция	2955	5	135020	3222	5	173734	3636	6	169822	4486	5	5480
Канада	1766	6	96343	2103	7	120616	2611	8	120171	3390	9	4255
Италия	1544	7	67178	2039	8	113405	2727	7	120160	3922	6	4696
Нидерланды	1380	8	78789	1737	10	111495	1971	13	112610	2600	14	3938
Испания	1355	9	44410	1790	9	81326	2306	11	94090	3059	12	3613
Австралия	1203	10	63648	1465	11	81488	1927	14	84823	3175	11	4021
Швеция	1066	11	50772	1146	15	62996	1329	16	65435	1805	17	2568
Швейцария	974	12	67495	1121	16	78196	1401	15	82052	2128	15	3307
Россия	863	13	9354	729	19	15185	810	19	13480	1716	18	1029
Бразилия	789	14	19236	1439	12	42252	2108	12	49727	3695	8	2568
Индия	675	15	13195	1365	13	38668	2466	9	50006	3308	10	2379
Китай	354	23	7203	2344	6	60937	6166	2	131441	17505	2	12103

1.7 Выводы и апробация результатов исследования

В последнее десятилетие в России появилось большое количество статей, посвященных публикационной активности российских ученых, ее показателям в международных информационно-аналитических базах WoS и Scopus. Связано это с тем, что в число наукометрических показателей, по которым оценивается эффективность работы научных организаций, входит количество публикаций в изданиях, индексируемых в этих базах.

В данном исследовании дана количественная оценка публикационной активности Российской Федерации в период 1996–2019 гг. В процессе работы выявлены страны, традиционно занимающие первые позиции в рейтинге, и новые страны-лидеры. Проанализирована отраслевая структура публикационного потока и динамика роста количества публикаций по отраслевым направлениям в отдельных областях. Сравнительный анализ показателей России и других стран-лидеров позволил обозначить сильные и слабые тематические направления исследований российских ученых. Кроме того, дана оценка современного состояния и динамики международного сотрудничества в научной сфере, определены области исследований, в которых сложились устойчивые связи между российскими и зарубежными учеными, и приоритетные направления совместной научно-технической деятельности. Отметим основные результаты проведенного исследования.

По числу публикаций, включенных в международную информационную базу Scopus в 2019 году, Россия занимала десятое место, а по общему количеству публикаций в базе – двенадцатое. За последние годы общее число российских публикаций в информационной базе Scopus значительно возросло. Всего за период с 1996 по 2019 год было проиндексировано 1 202 476 публикаций России, это на 0,5% больше, чем у Южной Кореи, следующей за ней в рейтинге. Только высокие темпы прироста количества публикаций дадут возможность России удержать свои позиции.

В странах, традиционно лидирующих в научных исследованиях и в 1996 году обогнавших Россию по числу публикаций, наука активно развивалась, количество публикаций этих стран постоянно росло. Эти страны по-прежнему опережают Россию и в 2019 году. Очень активно начала развиваться наука в странах, занимавших в 1996 году более низкие позиции в рейтинге, чем Россия. Это Китай и Индия, которые постоянно наращивали темпы роста своих публикаций и в 2019 году намного опередили ее.

Заслуживают внимания те страны, которые опережали Россию в 2010 году, а в 2019 году следуют в рейтинге за ней: Австралия, Испания, Южная Корея, Бразилия.

За 2019 год по суммарному годовому количеству публикаций на первое место впервые поднялся Китай, он обошел – США на 6 тыс. публикаций. Затем с большим отрывом от первых двух стран в рейтинге располагались Великобритания, Индия и Германия. За ними следуют страны: Япония и Италия, которые также имеют значительный отрыв от вышеупомянутых стран, а вот показатели Франции, Канады, России и Австралии в 2019 году были близки. Австралия, занимающая одиннадцатое место, является реальным конкурентом России. В то же время Россия с небольшим отрывом отстает от Франции и Канады и при необходимом усилии может занять одно из их мест. Испания, Южная Корея и Бразилия – страны, количество публикаций которых в 2019 году приблизилось к числу публикаций России. При сохранении высоких темпов роста количества научных публикаций эти страны имеют все шансы догнать и опередить нашу страну в мировом рейтинге.

Наибольшее число российских публикаций в 2019 году было зафиксировано по физике и астрономии. В этой предметной области российские ученые всегда имели мировое лидерство. Далее следуют публикации по инженерным наукам и по материаловедению. Обе предметные области также традиционно обеспечивают России наибольший прирост публикационного потока. К группе отраслей, в которых фиксируется значительное количество публикаций, относятся: химия, компьютерные науки, науки о Земле и планетарные науки, науки об окружающей среде и экология, математика, медицина.

В 2019 году Россия вошла в пятерку ведущих стран мира по шести областям наук из двадцати семи (22%) и занимает в рейтинге два третьих места – по физике и наукам о Земле, два четвертых – по энергетике и материаловедению и два пятых места – по экологии и по гуманитарным наукам. По восьми предметным областям (30%) Россия входит в десятку стран, занимающих лидирующие позиции: математика (7-ое место); химия (7-ое); науки о принятии решений (7-ое); инженерия (7-ое); химические технологии (8-ое); компьютерные науки (9-ое); экономика, эконометрика, финансы (9-ое) и общественные науки (9-ое место). Если темпы прироста публикаций сохраняться, то Россия в перспективе по этим дисциплинам может подняться на пятую ступень в мировом рейтинге. По остальным предметным областям, а их почти половина, российским ученым, вряд ли, удастся войти в пятерку лидеров в ближайшем будущем.

Результаты исследования российских публикаций по предметным областям показали, что практически во всех областях науки, за небольшим исключением, первенство принадлежит Китаю либо США. Россию можно отнести к группе стран, с которыми она

может конкурировать и бороться за место в десятке мирового рейтинга. Это Австралия, Великобритания, Германия, Канада, Индия, Испания, Италия, Франция, Южная Корея, Япония. Кроме того, анализ публикационного потока показывает, что в России и в других странах наибольшее число статей относится к естественным и точным наукам. Однако, если на втором месте в мире находятся публикации по медицине и здравоохранению, то в России их опережают публикации в области техники и технологий.

Рост количества публикаций по различным областям знаний свидетельствует о научной специализации России. Специализацией России являются: математика, материаловедение, науки о Земле и планетарные науки, физика и астрономия, энергетика, химические технологии, химия, науки об окружающей среде и экология.

Степень интеграции российских ученых в европейское научное сообщество заметно дифференцирована по отдельным областям науки. Сравнение первых пятнадцати научных дисциплин из массивов совместных публикаций показывает, что основные направления публикационной активности в национальном и международном масштабах в значительной степени совпадают. Публикации в различных областях физики составляют половину совместных статей российских ученых с коллегами из Евросоюза.

К группе стран-лидеров, с которыми Россия сотрудничает в научной сфере, относятся крупнейшие государства: США, Германия, Франция, Великобритания, Китай, Италия. По данным информационно-аналитической базы Scopus в 2019 году наибольшее число статей российских исследователей опубликовано в соавторстве с исследователями из США. Далее следуют: Германия, Китай, Франция, Великобритания, Италия. Наибольший прирост выявлен по числу совместных публикаций российских и китайских ученых – около 500 единиц. Однако основными партнерами России все-таки остаются европейские государства.

Анализ динамики совместных публикаций ученых разных стран указывает на все большее их сотрудничество, особенно в тех направлениях, которые требуют огромных вложений в оборудование: физика, астрофизика, астрономия, биология, медицина. Среди других отраслей науки – экология, науки о Земле, фармакология, экономика. В перспективе можно ожидать рост количества совместных публикаций в тех научных дисциплинах, где Россия занимает лидирующие позиции и где сложились устойчивые традиции сотрудничества. Однако не менее важным является развитие партнерских связей с научными организациями других стран, в первую очередь в тех областях, которые обозначены среди приоритетов в сфере науки и технологий Российской Федерации. Только общими усилиями государств можно решить глобальные проблемы. Одним из показателей таких связей является индекс международного сотрудничества.

Цитируемость российских публикаций всегда была невысокой. Связано это с тем, что значительная часть научных результатов российских ученых публикуется в российских журналах на русском языке, а значит, они просто не попадают в мировой научный оборот и, соответственно, не цитируются зарубежными учеными. Такая ситуация характерна для многих неанглоязычных стран, в которых издается значительное количество научных журналов на родном языке. Эту проблему решают по-разному: в некоторых странах все научные журналы начинают издавать только на английском языке, и они становятся международными; где-то на английском создают новые журналы. Лишь незначительная часть издаваемых в России научных журналов в их переводных версиях попадает в международные базы цитирования Web of Science и Scopus.

При рассмотрении структуры российских научных журналов в Scopus по предметным областям на ноябрь 2020 года следует, что наибольшее их число (25%) являются медицинскими. Далее идут журналы, которые публикуют результаты исследований в области физики и астрономии (12%), гуманитарных наук (12%), инженерии (11%), наук о Земле (10%), математики (10%). По остальным предметным областям число российских журналов от 0 до 10%.

В настоящее время не по каждому научному направлению можно найти российский журнал в базе цитирования Scopus. Это положение обусловлено тем обстоятельством, что большинство российских журналов не соответствует установленным международным стандартам. Для того чтобы по-настоящему укреплять позиции российской науки в мире, ученым России необходимо публиковать свои научные статьи в зарубежных рецензируемых изданиях, входящих в авторитетные библиографические и реферативные базы цитирования.

За последние годы было предпринято несколько попыток проведения оценки результативности деятельности научных организаций. Одним из критериев системы оценки признаны данные из международных информационно-аналитических баз WoS и Scopus. Однако многие ученые отмечали наличие определенных недостатков применения к оценке научной продуктивности только наукометрических показателей. К примеру, несовершенство наукометрического инструментария при оценке публикационной активности в России отмечает А.В. Гринёв [13]. По его мнению, следует использовать все научные публикации, прописанные в ГОСТах, исключив тезисы и учебно-методическую литературу, добавив при этом автореферат диссертации и диссертацию. Автор предлагает постепенно отказываться от журнальных публикаций, индексируемых в WoS или Scopus, и переходить к альтернативным библиометрическим базам, например Google Scholar. База РИНЦ может использоваться, если будут проведены серьезные преобразования ее. Более

объективная и справедливая оценка НИР может появиться при «подгонке» наукометрических критериев по каждой научной организации в отдельности [с. 1000-1001].

Другие ученые настаивали на том, что для совершенствования оценки эффективности деятельности научных организаций наукометрические показатели должны использоваться лишь в качестве вспомогательного средства к оценке независимыми экспертами-специалистами в конкретных областях знания. В результате таких выступлений Минобрнауки РФ разработало методику расчета качественного показателя «Комплексный балл публикационной результативности», согласно которой с 2020 года оценка результативности деятельности научных организаций будет проводиться на основе экспертного анализа с учетом не только количественных, но и качественных показателей, с отнесением научной организации к одной из категорий.

Поиск и апробация различных методов и инструментов оценивания научных организаций с учетом требований, предъявляемых к их деятельности со стороны государства, продолжаются.

В перспективе на 2021–2023 гг. в рамках Государственного задания по теме «Разработка теории трансформации научно-инновационного пространства Санкт-Петербурга в контексте инновационного развития российской экономики с учетом теоретико-методологических основ устойчивого технологического развития региона на основе инновационно-инвестиционной деятельности и воспроизводства и формирования научно-образовательного потенциала Санкт-Петербурга» по проекту 9.1.1 «Трехвековая история становления и развития науки в Санкт-Петербурге: когнитивные, социально-культурные, институциональные и биографические аспекты» планируется:

- анализ публикационной активности российских ученых в подробном делении по остальным предметным областям;
- исследование цитируемости публикаций российских ученых;
- выделение публикаций петербургских ученых в общем количестве российских публикаций, индексируемых в информационной базе Scopus.

В 2020 году *апробация проведенных исследований в области гуманитарных и общественных наук* проходила в рамках выступлений с докладами на международных научных конференциях:

- 1) Иванова Е.А. Международная информационная база данных по научным публикациям Scopus: проблемы и перспективы – секционный доклад на

Международной научно-практической конференции «Наука о данных» (Санкт-Петербург, 5-7 февраля 2020 г., СПбГЭУ).

- 2) Иванова Е.А. Публикационная активность российских биологов в 1996–2019 гг., отраженная в Scopus – секционный доклад на XLI Международной годичной научной конференции Санкт-Петербургского отделения Российского национального комитета по истории и философии науки и техники РАН «Ученый и эпоха: к 170-летию со дня рождения Н.И. Кареева и С.В. Ковалевской» (Санкт-Петербург, 26–30 октября 2020 года, СПбФ ИИЕТ РАН).

Организованы и проведены:

- Заседание Объединенного научного совета по теме «Александр Невский: исследования и исследователи» (3 марта 2020 г., СПбНЦ РАН)
- Международная научная конференция «Миллеровские чтения – 2020: Преемственность и традиции в сохранении и изучении документального академического наследия» (Санкт-Петербург, 21–24 октября 2020 г.);
- Открытое совместное заседание Ученого совета СПбФ Архива РАН и Объединенного научного совета по общественным и гуманитарным наукам СПбНЦ РАН «Юбилей Победы» (23 октября 2020 г., СПбНЦ РАН);
- Вторые Пчелинские чтения «Общественно-политическая и культурная история Кавказа» (24 октября 2020 г., Санкт-Петербург)
- XLI Международная годичная научная конференция Санкт-Петербургского отделения Российского национального комитета по истории и философии науки и техники РАН «Ученый и эпоха: к 170-летию со дня рождения Н.И. Кареева и С.В. Ковалевской» (26–30 октября 2020 года).

Результаты проведенных исследований отражены в публикациях:

- 1) Иванова Е.А. Публикационная активность российских биологов в 1996–2019 гг., отраженная в Scopus // Наука и техника: Вопросы истории и теории. Материалы XLI Международной годичной научной конференции Санкт-Петербургского отделения Российского национального комитета по истории и философии науки и техники РАН «Ученый и эпоха: к 170-летию со дня рождения Н.И. Кареева и С.В. Ковалевской» (26–30 октября 2020 года). Выпуск XXXVI. СПб.: СПбФ ИИЕТ РАН; Скифия-принт., 2020. С. 288-289.

- 2) Иванова Е.А., Николаева Л.Г. Публикации российских ученых в 1996–2019 гг. (по данным информационно-аналитической базы Scopus) // Проблемы деятельности ученого и научных коллективов: Международный ежегодник. Вып. 6(36). СПб: ИИЕТ РАН, 2020. – С. 193-206. DOI: 10.24411/2414-92-41-2020-10013 РИНЦ
- 3) Иванова Е.А., Николаева Л.Г., Воронова А.А. Публикационная активность российских ученых: Scopus 1996–2019 гг. СПбГЭУ, 2020. – 132 с. ISBN 987-5-73104941-2

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Акоев, М.А. Руководство по наукометрии: индикаторы развития науки и технологии: [монография] / М.А. Акоев, В.А. Маркусова, О.В. Москалева и др.; [под. ред. М.А. Акоева]. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. – 250 с.
2. Арутюнов, В.В. Сравнительный анализ показателей публикационной активности и цитированности российских ученых в отдельных естественнонаучных областях знаний по данным РИНЦ и Wos CC / В.В. Арутюнов, В.А. Цветкова // Информация и инновации. – 2018. – Т. 13. – № 1. – С. 22-27.
3. Баринаова, З.Б. Изучение научных журналов как каналов связи. Оценка вклада, вносимого отдельными странами в мировой научный информационный поток / З.Б. Баринаова, Р.Ф. Васильев, Ю.В. Грановский и др. // Науч.-техн. информация. Сер. 2: Информационные процессы и системы. – 1967. – № 12. – С. 1-11.
4. Библиометрия во благо российской науки. – [Электронный ресурс]. – URL: <https://rasep.ru/sovet-po-etike/bibliometriya-vo-bлаго-rossijskoj-nauki> (дата обращения: 20.10.2020).
5. Бредихин, С.В. Анализ цитирования в библиометрии / С.В. Бредихин, А.Ю. Кузнецов, Н.Г. Щербакова. – Новосибирск; М.: ИВМиМГ СО РАН, НЭИКОН, 2013. – 344 с.
6. Бредихин, С.В. Методы библиометрии и рынок электронной научной периодики / С.В. Бредихин, А.Ю. Кузнецов. – Новосибирск; М.: ИВМиМГ СО РАН, НЭИКОН, 2012. – 256 с.
7. Гиляревский, Р.С. Динамика публикационной активности России в 1993–2017 гг. по данным Web of Science / Р.С. Гиляревский, А.Н. Либкинд, В.А. Маркусова // Науч.-техн. информация. Сер. 2: Информационные процессы и системы. – 1919. – № 3. – С. 1-13.
8. Глушановский, А.В. Естественнонаучные журналы стран СНГ в библиометрических базах данных / А.В. Глушановский, Н.Е. Каленов // Информация и инновации. – 2018. – Т. 13. – №2. – С. 45-52.
9. Гохберг, Л.М. Статистика науки / Л.М. Гохберг. – М.: ТЕИС, 2003б. – 478 с.
10. Гохберг, Л.М. Статистика науки // Вопросы экономики. – 2003а. – № 9. – С. 155-157.
11. Гохберг, Л.М. Российская наука: библиометрические индикаторы / Л.М. Гохберг, Г.С. Сагиева // Форсайт. – 2007. – Т. 1. – № 1. – С. 44-53.

12. Грановский, Ю.В. В.В. Налимов и российская наукометрия [Электронный ресурс] / Ю.В. Грановский, Ж.А. Дрогалина, Е.В. Маркова // Научно-исследовательские исследования. – 2014. – № 1. – С. 80-91. – URL: <https://rucont.ru/efd/473042>
13. Гринёв, А.В. Использование наукометрических показателей при оценке публикационной активности в современной России / А.В. Гринёв // Вестник Российской академии наук. – 2019. – Т. 89. – № 8. – С. 993-10002.
14. Гуськов, А.Е. Российская наукометрия: обзор исследований / А.Е. Гуськов // Библиосфера. – 2015. – № 3. – С. 75-86.
15. Гуськов, А.Е. Стратегии повышения публикационной активности университетов – участников Проекта 5-100 / А.Е. Гуськов, Д.В. Косяков, И.В. Селиванова // Научно-технические библиотеки. – 2017. – № 12. – С. 5-18.
16. Ефременкова, В.М. Сопоставление рубрик классификаторов баз данных Scopus и WoS в области математических дисциплин / В.М. Ефременкова, С.М. Гоннова // Науч.-техн. информация. Сер. 1: Организация и методика информационной работы. – 2016. – № 6. – С. 11-19.
17. Заявление трех академий наук (Французской академии наук, Немецкой академии «Леопольдина» и Лондонского Королевского научного общества) о рекомендуемых методах оценки исследователей и исследовательских программ. – [Электронный ресурс]. – URL: <http://innclub.info/wp-content/uploads/2018/05/Заявление-трех-академий-наук-1.pdf> (дата обращения: 20.10.2020).
18. Иванов, В.В. Система журналов открытого доступа и ее использование российскими учеными по Web of Science (2008–2017) / В.В. Иванов, В.А. Маркусова, Л.Э. Миндели и др. // Науч.-техн. информация. Сер. 1: Организация и методика информационной работы. – 2018. – № 9. – С. 30-39.
19. Ильина, И.Е. Тренды публикационной активности российских исследователей по данным Web of Science, Scopus / И.Е. Ильина, В.В. Лапочкина, В.Н. Долгова и др. – М.: IMG Print, 2020. – Вып. 1. – 60 с.
20. Кириллова, О.В. Состояние и перспективы представления российских медицинских журналов и публикаций в базе данных Scopus / О.В. Кириллова // Вестник экспериментальной и клинической хирургии. – 2014. – Т. VII. – № 1. – С. 10-24.
21. Князева, С.Ю. Научно-техническое сотрудничество России и ЕС: библиометрический анализ / С.Ю. Князева, Н.А. Слащева // Форсайт. – 2008. – № 1(5). – С. 30-41.
22. Коцемир, М.Н. Динамика российской и мировой науки сквозь призму международных публикаций / М.Н. Коцемир // Форсайт. – 2012а. – Т. 6. – № 1. – С. 38-59.

23. Коцемир, М.Н. Публикационная активность российских ученых в ведущих мировых журналах / М.Н. Коцемир // *Acta natura*. – 2012б. – Т. 4. – № 2 (13). – С. 15-35.
24. Коцемир, М.Н. Выбор направлений научно-технического сотрудничества России / М.Н. Коцемир, Т.Е. Кузнецова, Е.Г. Насыбулина и др. // *Форсайт*. – 2015. – Т. 9. – № 4. – С. 54-72.
25. Кочетков, С. Биобиблиометрия: Публикационная статистика наук о живом // // *Acta natura*. – 2011. – Т. 3 – № 1(8). – С. 11-17.
26. Лагирева, И.А. Статистические измерения науки: индексы цитирования и индекс цитируемости / И.А. Лагирева // *Таможенная политика России на Дальнем Востоке*. – 2013. – № 3(64). – С. 91-97.
27. Лейденский манифест для наукометрии / пер. А.А. Исэрова. – [Электронный ресурс]. – URL:<http://www.leidenmanifesto.org/uploads/4/1/6/0/41603901/leidenmanifesto1nrussian.pdf> (дата обращения: 20.10.2020).
28. Либкинд, А.Н. Результаты выполнения конкурсных исследовательских проектов: библиометрия вклада различных групп ученых, организаций, городов, регионов и стран / А.Н. Либкинд, А.И. Терехов, В.А. Маркусова и др. // *Науч.-техн. информация. Сер. 1: Организация и методика информационной работы*. – 2015. – № 11. – С. 16-28.
29. Мазов, Н.А. Российские публикации и журналы по наукам о Земле в международных базах данных / Н.А. Мазов, В.Н. Гуреев, М.И. Эпов // *Вестник Российской академии наук*. – 2015. – Т. 85. – №1. – С. 26-31.
30. Маркусова, В.А. Динамика развития приоритетных областей науки в мире, США и странах БРИК / В.А. Маркусова, А.В. Золотова, Н.А. Котельникова и др. // *Науч.-техн. информация. Сер. 1: Организация и методика информационной работы*. – 2016. – № 4. – С. 17-25.
31. Маркусова, В.А. Динамика публикационной активности России в области энергии и топлива за 2008–2017 гг. по данным Web of Science и InCites / В.А. Маркусова, Л.Э. Миндели, Д.А. Рубвальтер и др. // *Науч.-техн. информация. Сер. 2: Информационные процессы и системы*. – 1919. – № 12. – С. 1-11.
32. Маркусова, И.В. Российская наука в библиографических сетях цитирования / И.В. Маркусова // *275 лет на службе науке: библиотеки и институты информации в системе РАН: Сб. научн.тр.* / Е.Д. Дьяченко (гл. редактор серии). М., 2000. – 276 с.
33. Маршакова, И.В. Выявление тенденций развития науки и техники путем анализа документальных массивов / И.В. Маршакова // *Науч.-техн. информация. Сер. 2. Информационные процессы и системы*. – 1982. – № 2. – С. 1-5.

34. Маршакова, И.В. Исследование частотного словаря ключевых слов / И.В. Маршакова // Науч.-техн. информация. Сер. 2. Информационные процессы и системы. – 1974. – № 11. – С. 7-13.
35. Маршакова, И.В. Обзоры по электронной технике. Сети цитирования: информационные модели системы научных публикаций: (По данным отечественной и зарубежной печати 1970–1980 гг.) / И.В. Маршакова. – М., 1981. – 47 с.
36. Маршакова, И.В. Перспективная связь в системе научных публикаций // Системные исследования: Ежегодник, 1976 / И.В. Маршакова. – М., 1977. – С. 38-54.
37. Маршакова, И.В. Система связи между документами на основе ссылок: (По данным Science citation index) / И.В. Маршакова // Науч.-техн. информация. Сер. 2: Информационные процессы и системы. – 1973. – № 6. – С. 3-8.
38. Маршакова, И.В. Система цитирования научной литературы как средство слежения за развитием науки / И.В. Маршакова. – М.: Наука, 1988. – 288 с.
39. Маршакова-Шайкевич, И.В. Классификация научных журналов методом коцитирования / И.В. Маршакова // Науч.-техн. информация. Сер. 1: Организация и методика информационной работы. – 2004. – № 8. – С. 31-35.
40. Маршакова-Шайкевич, И.В. Вклад России в развитие науки: библиометрический анализ / И.В. Маршакова-Шайкевич. – М.: ТОО «Янус», 1995. – 248 с.
41. Маршакова-Шайкевич, И.В. Мировая наука на пороге XXI века / И.В. Маршакова-Шайкевич // Вестник Российской академии наук, 2000. Т. 70, № 12, с. 1086-1093.
42. Маршакова-Шайкевич, И.В. Россия в мировой науке / И.В. Маршакова-Шайкевич; Рос. акад. наук, Ин-т философии. – М.: ИФРАН, 2008. – 227 с.
43. Меркулов, И.И. Конкурентоспособность российской медицинской науки: состояние, проблемы, перспективы / И.И. Меркулов // Клиническая практика. – 2012. – № 3. – С. 4-13.
44. Методика расчета качественного показателя государственного задания «Комплексный балл публикационной результативности» для научных организаций, подведомственных Министерству науки и высшего образования Российской Федерации, на 2020 год. Утверждена Министерством науки и высшего образования РФ 30.12.2019. Обновлено 25.08.2020. – [Электронный ресурс]. – URL: https://minobrnauki.gov.ru/common/upload/library/2020/09/main/Metodika_novaya.pdf (дата обращения: 20.10.2020).
45. Миндели, Л.И. Библиометрический подход к анализу национального научного сотрудничества на основе соавторства: Web of Science за 2006–2013 гг. / Л.И. Миндели,

- В.В. Иванов, А.Н. Либкинд и др. // Науч.-техн. информация. Сер. 1: Организация и методика информационной работы. – 2016. – № 8. – С. 13-23.
46. Миндели, Л.Э. Влияние грантового финансирования на эффективность научных исследований в высшей школе / Л.Э. Миндели, А.Н. Либкинд, В.А. Маркусова // Вестник Российской академии наук. – 2014. – Т. 84. – № 12. – С. 1080-1089.
47. Москалева, О.В. Можно ли оценивать труд ученых по библиометрическим показателям? / О.В. Москалева // Управление большими системами. Специальный выпуск 44: Наукометрия и экспертиза в управлении наукой. – 2013. С. 308–331.
48. Москалева, О.В. Наукометрия: немного истории и современные российские реалии / О.В. Москалева, М.А. Акоев // Управление наукой: теория и практика. – 2019. – №1. – С. 135-148.
49. Мохначева, Ю.В. Представленность статей российских авторов в мировом потоке научных публикаций по Web of Science Core Collection (2010–2017) / Ю.В. Мохначева, В.А. Цветкова // Науч.-техн. информация. Сер. 1: Организация и методика информационной работы. – 2019а. – № 6. – С. 28-32.
50. Мохначева, Ю.В. Публикационная активность российских ученых в области биологии, наук об окружающей среде и экологии в 2002–2012 гг. / Ю.В. Мохначева, Т.Н. Харыбина // Вестник РАН. – 2013. – Т. 83. – № 10. – С. 867-873.
51. Мохначева, Ю.В. Классификационные схемы в Web of Science CC / Ю.В. Мохначева // Информация и инновации. – 2018. – № 13. – С. 43-52.
52. Мохначева, Ю.В. Россия в мировом массиве научных публикаций / Ю.В. Мохначева, В.А. Цветкова // Вестник Российской академии наук. – 2019. – Т. 89. – № 8. – С. 820-830.
53. Мохначева, Ю.В. Оценка публикационной активности научных организаций на основе баз данных Web of Science Core Collection, Scopus и РИНЦ (на примере медико-биологической тематики) / Ю.В. Мохначева, В.А. Цветкова // Науч.-техн. информация. Сер. 1: Организация и методика информационной работы. – 2017. – № 12. – С. 17-25.
54. Налимов, В.В. Наукометрия. Изучение развития науки как информационного процесса / В.В. Налимов, З.М. Мульченко. – М.: Наука, 1969. – 192 с.
55. Наука о науке: сборник статей: пер. с англ. / Общ. ред. и послесл. проф. В.Н. Столетова. – М.: Прогресс, 1966. – 424 с. ил.
56. Наукометрия и экспертиза в управлении наукой [Текст]: сборник статей / Российская акад. наук, Ин-т проблем управления им. В.А. Трапезникова; общ. ред. Д.А. Новиков, А.И. Орлов, П.Ю. Чеботарев. – Москва: ИПУ РАН, 2013. – 568 с. ил.

57. О повышении эффективности деятельности государственного сектора науки. – М., 2005. – [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.ras.ru/FStorage/download.aspx?id=15a7289d-10f3-4f74-8520-f261555fbfc1>
58. Об оценке научной деятельности институтов гуманитарного профиля. 2013. Источник: ОИФН РАН. – [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.saveras.ru/archives/3691> (дата обращения: 20.10.2020).
59. Основы научной информации [Текст] / А.И. Михайлов, А.И. Черный, Р.С. Гиляревский; [Предисл. акад. А.Н. Несмеянова]; Акад. наук СССР. Гос. ком. по координации науч.-исслед. работ СССР. Всесоюз. ин-т науч. и техн. информации. – Москва: Наука, 1965. – 655 с. ил.
60. Писляков, В.В. Методы оценки научного знания по показателям цитирования / В.В. Писляков // Социологический журнал. – 2007. – № 1. – С. 128-140.
61. Писляков, В.В. Эффект Матфея в цитировании статей российских ученых, опубликованных за рубежом / В.В. Писляков, Е.Л. Дьяченко // Науч.-техн. информация. Сер. 2: Информационные процессы и системы. – 2009. – № 3. – С. 19-24. [Электронный ресурс] URL: <http://www.hse.ru/data/194/242/1240/Pislyakov2.pdf>
62. Постановление Правительства Российской Федерации от 29 марта 2019 г. № 377 «Об утверждении Государственной программы Российской Федерации "Научно-технологическое развитие Российской Федерации"». – [Электронный ресурс]. – URL: <http://static.government.ru/media/files/AAVpU2sDAvMQkIHV20ZJZc3MDqcTtxt8x.pdf> (дата обращения: 20.10.2020).
63. Приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 30 июля 2019 г. № 544 «Об утверждении Методики оценки результативности деятельности научных организаций, подведомственных Министерству науки и высшего образования Российской Федерации, выполняющих научно-исследовательские, опытно-конструкторские и технологические работы гражданского назначения». Зарегистрировано в Минюсте РФ 23.09.2019 № 56023. – [Электронный ресурс]. – URL: https://minobrnauki.gov.ru/ru/documents/card/?id_4=877&cat=/documents/docs/ (дата обращения: 20.10.2020).
64. Приказ Министерства образования и науки РФ от 14 октября 2009 г. № 406 «Об утверждении типового положения о комиссии по оценке результативности деятельности научных организаций, выполняющих научно-исследовательские, опытно-конструкторские и технологические работы гражданского назначения, и типовой методики оценки результативности деятельности научных организаций,

- выполняющих научно-исследовательские, опытно-конструкторские и технологические работы гражданского назначения». Приложение 2: Зарегистрировано в Минюсте РФ 28.01.2010 № 16115, с изменениями и дополнениями от 17 июля 2015 г., 29 ноября 2017 г. – [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/97371/> (дата обращения: 20.10.2020).
65. Романовский, Ю.М. Публикационная активность организаций естественно-научного профиля в России и за рубежом / Ю.М. Романовский // Вестник РАН. – 2010. – Т. 80. – № 12. – С. 1059-1063.
 66. Рубвальтер, Д.А. Динамика характеристик публикационной активности в российской фундаментальной науке в сопоставлении со странами БРИК / Д.А. Рубвальтер, В.А. Маркусова, И.А. Либкинд и др. // Власть. – 2018. – № 9. – С. 223-235.
 67. Система базы данных SCImago Journal & Country Rank. – [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.scimagojr.com/countryrank.php> (дата обращения: 15.06.2020).
 68. Соколов, А.А. Определение приоритетов научно-технологического сотрудничества стран БРИКС / А.А. Соколов, С.А. Шашнов, М.Н. Коцемир и др. // Вестник международных организаций. – 2017. – Т. 12. – № 4. – С. 32-67.
 69. Сообщение ТАСС. В РАН предложили провести ревизию научных статей российских ученых. Москва, 16 июня 2020 г. – [Электронный ресурс]. – URL: <https://nauka.tass.ru/nauka/8739997> (дата обращения: 20.10.2020).
 70. Стерлигов, И.А. Исследование грантовой поддержки российскими научными фондами отечественных публикаций в ведущих международных журналах (по материалам Scopus и Web of Science, РФФИ и РНФ) / И.А. Стерлигов, Т.Ф. Савина, А.О. Чичкова // Науч.-техн. информация. Сер. 1: Организация и методика информационной работы. – 2020. – № 2. – С. 9-27.
 71. Сычёв, В.В. Живые системы в России: взгляд сквозь призму научных публикаций / В.В. Сычёв, А.В. Колесниченко // Acta natura. – 2009. – № 1. – С. 19-31.
 72. Терехов, А.И. Библиометрический анализ углеродного направления нанотехнологий: 2000–2015 / А.И. Терехов // Экономика науки. – 2017. – Т. 3. – № 4. – С. 262-274.
 73. Терехов, А.И. Развитие научно-исследовательских работ по приоритетному направлению «Индустрия наносистем и материалы»: Анализ и оценка позиций России в области наноматериалов / А.И. Терехов // Вестник РФФИ. – 2006. – № 4. – С. 24-38.
 74. Тишков, В.А. Открытое письмо руководителю ФАНО М.М. Котюкову от Академика-секретаря Отделения историко-филологических наук В.А. Тишкова. 01.08.2014.

- Источник: ОИФН РАН. – [Электронный ресурс]. – URL: <http://hist-phil.ru/events/28/> (дата обращения: 20.10.2020).
75. Указ Президента Российской Федерации от 01.12.2016 г. № 642 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации». – [Электронный ресурс]. – URL: <http://static.kremlin.ru/media/acts/files/0001201612010007.pdf>
 76. Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2012 г. № 599 «О мерах по реализации государственной политики в области образования и науки». – [Электронный ресурс]. – URL: <http://static.kremlin.ru/media/acts/files/0001201205070020.pdf>
 77. Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2018 г. № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года». – [Электронный ресурс]. – URL: <http://static.kremlin.ru/media/acts/files/0001201805070038.pdf>
 78. Указ Президента Российской Федерации от 21.07.2020 г. № 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года». – [Электронный ресурс]. – URL: – <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74304210/>
 79. Хайтун, С.Д. Наукометрия. Состояние и перспективы / С.Д. Хайтун. – М.: Наука, 1983. – 169 с.
 80. Яблонский, А.И. Математические модели в исследовании науки / А.И. Яблонский; Отв. ред. д.э.н. Ю.П. Гаврилец. – М.: Наука, 1986. – 351 с.
 81. Egghe, L. Introduction to Informetrics: quantitative methods in library, documentation and information science / L. Egghe, R. Rousseau // Elsevier Science Publishers. – 1990.
 82. Garfield, E. Citation index for science: a new dimension in documentation through association of ideas / E. Garfield // Science. – 1955. – Vol. 122. – P. 108-111.
 83. Garfield, E. Science Citation Index – a new dimension in indexing / E. Garfield // Science. – 1964. – Vol. 144. – P. 649-654.
 84. Guskov, A.E. Boosting research productivity in top Russian universities: the circumstances of breakthrough / A.E. Guskov, D.V. Kosyakov, I.V. Selivanova // Scientometrics. – 2018. – Vol. 117. – No. 2. – P. 1053-1080.
 85. Hood, W.W. The literature of bibliometrics, scientometrics, informetrics / W.W. Hood, C.S. Wilson // Scientometrics. – 2001. – Vol. 52. – No 2. – P. 291-314.
 86. Kotsemir, M. Measuring, analysis and visualization of research capacity of university at the level of departments and staff members / M. Kotsemir, S. Shashnov // Scientometrics. – 2017. – Vol. 112. – P. 1659-1689).

87. Pislyakov, V. Citation expectations: are they realized? study of the matthew index for russian papers published abroad / V. Pislyakov, E. Dyachenko // *Scientometrics*. – 2010. – Vol. 83. – No. 3. – P. 739-749.
88. Small, H.G. Co-citation in the scientific literature: A new measure of the relationship between documents / H.G. Small // *J. Amer. Soc. Inform. Sci.* – 1973. – Vol. 24. – P. 256-269.

2 Общая характеристика научно-образовательного потенциала Санкт-Петербурга

Город федерального значения Санкт-Петербург (78 регион Российской Федерации) с населением почти 5 400 000 человек занимает площадь, составляющую 0,01 % от территории РФ, по плотности населения уступает только Москве.

Для России Санкт-Петербург, безусловно, является одним из научных кластеров мирового уровня научно-образовательным центром, в котором сосредоточено более 10 % научного потенциала страны, состоящего из более чем 350 научных организаций, среди которых: свыше 60 ФГБУ, более 250 – государственные организации, занимающиеся научными исследованиями и разработками, принадлежат различным ведомствам, здесь же расположены 12 государственных научных центров России (30% от общего числа в РФ). Статус государственного научного центра (ГНЦ РФ) присваивается научной организации, которая имеет уникальное опытно-экспериментальное оборудование, располагает научными работниками и специалистами высокой квалификации, и научная и научно-техническая деятельность которых получила мировое признание [11].

В учреждениях Санкт-Петербурга, подведомственных Минобрнауки России, работают около 14% всех российских исследователей.

Кадровый потенциал науки и образования составляет более 170 тысяч сотрудников научных организаций и высших учебных заведений, в том числе:

- более 9 тысяч докторов наук;
- более 26 тысяч кандидатов наук.

Число образовательных организаций высшего образования ведущих научно-исследовательскую деятельность составило (на 2020 год) 66, среди них – 37 государственных и 29 частных. В них обучается около 300 тысяч российских и иностранных студентов [12]. Число организаций, ведущих подготовку аспирантов, составляло (на 2020 г) 123, среди них: 77 научно-исследовательских института и 44 вуза [13]. В них обучается около 11000 аспирантов и докторантов по направлениям подготовки в различных областях науки.

Система высшего профессионального образования Санкт-Петербурга включает:

- 48 государственных гражданских высших учебных заведения;
- 18 военных высших учебных заведений;
- 45 негосударственных высших учебных заведений;
- 77 учреждений среднего профессионального образования;
- 9 негосударственных учреждений среднего профессионального образования.

Преподавательский состав вузов Санкт-Петербурга включает 4700 докторов наук, 15500 кандидатов наук. В системе высшего профессионального образования Санкт-Петербурга обучается около 14 тысяч иностранных граждан.

Объем научных исследований и разработок, а также научно-технических услуг, выполняемых собственными силами организаций региона, составил более 136 миллиардов рублей [13]. По данным Миннауки и ВО РФ число заявок на получение охранных документов на объекты интеллектуальной собственности, поданных в 2019 году научными организациями региона, составило более 15% от общего числа по стране (153 заявки из 1000 по РФ) [14.].

Следует отметить, что из числа 21 победившего в конкурсе участника Проекта «5 – 100» Миннауки и ВО РФ, среди которых только ведущие вузы страны, три участника – вузы Санкт-Петербурга, среди них:

- Университет ИТМО (Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики),
- СПбГЭТУ «ЛЭТИ» (Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» имени В. И. Ульянова (Ленина)),
- СПбПУ Петра Великого (Санкт-Петербургский Политехнический университет Петра Великого).

Цель Проекта 5-100 – максимизация конкурентной позиции группы ведущих российских университетов на глобальном рынке образовательных услуг и исследовательских программ. [15].

По результатам инновационной деятельности в научно-технической сфере Санкт-Петербург входит в тройку самых развитых регионов страны. В целях содействия развитию малого и среднего наукоемкого бизнеса, внедрению результатов интеллектуальной деятельности образовательных и научных организаций в Петербурге создаются и развиваются специализированные объекты инновационной инфраструктуры, среди них - 12 инновационно-технологических центра и 7 научно-технологических парка [16].

В центрах и технопарках насчитывалось несколько сотен инновационных фирм; общий объем наукоемкой продукции - 2,2 млрд. руб. в год; общее число работающих - 4,5 тыс. чел.; также ведут свою деятельность порядка 37 Центров коллективного пользования уникальным оборудованием [17]. Городские инновационные структуры используют практически все возможные формы финансирования инновационного процесса: федеральные и региональные программы, зарубежные гранты, венчурное финансирование, средства промышленных предприятий.

Следует подчеркнуть, что из 14 Центров компетенций Национальной технологической инициативы РФ [18], пользующихся поддержкой государства и направленных на развитие сквозных технологий в стране, три из них созданы на базе вузов и научных организаций Санкт-Петербурга.

Среди них:

- 1) СПбПУ Петра Великого (Центр «Новые производственные технологии»),
- 2) СПбГУ (Центр «Технологии распределенных реестров»)
- 3) Университет ИТМО «Национальный центр когнитивных разработок»).

Задачами центров компетенций является трансляция результатов фундаментальной науки в инженерные приложения: технологический трансфер через кооперацию с индустриальными партнерами, подготовка лидеров разработки новых технологий через реализацию образовательных программ.

Санкт-Петербург – один из крупнейших промышленных центров России. По объему отгруженных товаров (услуг) обрабатывающей промышленности город занимает одну из лидирующих позиций, обеспечивая 7% от общего объема продукции в стране [19] на долю предприятий города приходится 11% общего объема продукции российского машиностроения.

Промышленность – главный источник формирования доходов бюджета, обеспечивает поступление налоговых платежей и сборов в бюджетную систему РФ на уровне 49%. Основными для экономики города являются следующие виды промышленного производства: судостроение, машиностроение, разработка и производство электротехнической продукции, электроника и приборостроение. Основу промышленности Санкт-Петербурга составляют более 750 крупных и средних предприятий, часть из которых входит в число ведущих организаций России. Из них на долю обрабатывающих производств приходится основная часть – 676 предприятий. Хозяйственную деятельность в сфере промышленного производства также осуществляют более 20 тысяч малых предприятий.

Особая экономическая зона технико-внедренческого типа (ОЭЗ ТВТ) Санкт-Петербурга в 2020 году вошла в рейтинг лучших ОЭЗ мира по версии «Global Free Zones of the year 2020 Award» международного аналитического издания «fDi».

ОЭЗ ТВТ расположена на двух участках – «Нойдорф» и «Новоорловская» с объемом заявленных инвестиций в проекты – 85,8 млрд рублей.

Санкт-Петербург – крупнейший центр академической, вузовской и отраслевой науки, который способен генерировать научно-технические достижения в самых различных

областях, среди них: новые материалы, нано- и биотехнологии, микросистемы, водородная энергетика и другие направления из перечня критических технологий.

Научный потенциал Петербурга в полной мере обладает следующими характерными чертами:

- наличием уникальных научных школ, высококвалифицированного научного, инженерно-технического и производственного персонала, способных генерировать научно-технические достижения в самых различных областях и способного удерживать лидерство в развитии научных направлений и технологий и равноправно участвовать в реализации престижных международных проектов;

- возможностью сочетания перспективных направлений работ общесистемного, фундаментального характера и целевой направленности исследований и разработок с ориентацией на конкретный результат;

- возможностью поддержания высокой динамичности производства, проявляющейся в постоянном обновлении элементов (объектов исследований, разработок и производства, технологий, схемных и конструктивных решений, информационных потоков и т.д.).

При этом необходимо отметить, что Санкт-Петербургский научный кластер имеет существенное отличие от других российских научных кластеров, во многом влияющее на организационно-правовые механизмы формирования, поддержки и развития таких кластеров. Это отличие заключается в том, что в Санкт-Петербурге законодательно закреплено концентрирование на одном уровне управления полномочий как по вопросам регионального значения, так и по вопросам местного значения. В иных же кластерах территориальные органы управления обладают исключительно муниципальными полномочиями.

Регионы, такие как Санкт-Петербург, с высокой концентрацией научно-технического, образовательного и развитого интеллектуального потенциала, играют «локомотивную» роль в деле эффективного развития российской экономики за счет активизации инновационной деятельности. Научно-технический и образовательный потенциал таких регионов имеет региональное, межрегиональное, федеральное и международное значение. Именно на такие регионы приходится «львиная доля нагрузки по решению государственных задач по развитию науки, технологий и техники в стране.

Особенности воспроизводственных процессов в научно-инновационной сфере регионов такого типа состоят в следующем:

– во-первых, всесторонне развитый многообразный потенциал такого региона создает предпосылки для обеспечения полного цикла воспроизводственного процесса во времени (все стадии по конкретной инновации);

– во-вторых, многообразие потребителей инноваций создает предпосылки для обеспечения широкого распространения получаемых инновационных результатов на различных стадиях инновационного процесса в пространстве (в пределах региона);

– в-третьих, многообразие инновационного потенциала и многообразие потребителей инновационных результатов создают предпосылки для выхода инновационных процессов за пределы в межрегиональное и международное пространство.

Все это в целом создает уникальные предпосылки для дальнейшего развития Санкт-Петербургского научного кластера и его сердцевины - научно-технического потенциала - в стремительно глобализирующемся мире за счет более интенсивных вложений в человеческий капитал, широкого использования конкурентных преимуществ научно-технического потенциала Санкт-Петербурга, мощного развития международного сотрудничества, в том числе с привлечением интеллектуального потенциала ведущих зарубежных ученых и пр. Кроме того, местоположение Северной Пальмиры имеет стратегическое значение (морской порт, аэропорт, крупный железнодорожный узел) и обеспечивает географическую доступность для более широкого сотрудничества с европейскими партнерами.

3 Исследования в междисциплинарной области материаловедения, механики, прочности

В 2020 году в рамках государственного задания по теме «Разработка теории трансформации научно-инновационного пространства Санкт-Петербурга в контексте инновационного развития российской экономики с учетом теоретико-методологических основ устойчивого технологического развития региона на основе инновационно-инвестиционной деятельности и воспроизводства и формирования научно-образовательного потенциала Санкт-Петербурга» были продолжены работы по междисциплинарному разделу «Материаловедение, механика, прочность» Программы перспективных направлений развития в Санкт-Петербурге фундаментальных научно-исследовательских работ на период до 2030 года, разработанной СПбНЦ РАН.

Объект исследования – научно-технический потенциал Санкт-Петербурга в междисциплинарной области, охватывающей материаловедение, механику, прочность, как элемент инновационного развития российской экономики, обеспечивающий реализацию конкурентных преимуществ, наличествующих в регионе. Следует подчеркнуть, что магистральной направлением всех приоритетных направлений Раздела – создание и использование новых перспективных материалов.

Основные задачи исследования в 2020 году - углубленное изучение текущего состояния и тенденций развития научно-технического потенциала (когнитивный и институциональный аспект) в регионе в приоритетной области создания и использования конструкционных материалов, где Санкт-Петербургская научная школа является одной из ведущих в стране и мире [1].

Исходя из целей Национального проекта «Наука» – вхождение России к 2024 г. в число пяти ведущих стран мира, осуществляющих научные исследования и разработки в областях, определяемых приоритетами научно-технологического развития, было проведено исследование проблем развития научно-технического потенциала региона в привязке к СНТР -2030 и Нацпроекту «Наука» в комплексной междисциплинарной области, охватывающей материаловедение, механику, прочность, как одной из наиболее перспективных областей развития науки и технологии в Петербурге, обладающей конкурентным преимуществом [2] в виде высокоразвитой интеллектуальной составляющей и как фактор развития инновационной среды региона. Рассмотрены особенности научно-технического кластера СПб, институциональный и когнитивный аспекты научного потенциала в этой области, охарактеризованы ведущие научные центры, научные школы, показано, что Санкт-Петербург является одним из основных центров изучения, разработки

и применения материалов, отмечена инновационная составляющая проводимых исследований и разработок, выявлены и обоснованы новые перспективные направления исследований и новые приоритетные направления.

3.1 Особенности (состояние, проблемы, перспективы развития) научного потенциала Санкт-Петербурга

В течение последних нескольких лет СПбНЦ РАН ведет активную работу по изучению, формированию и развитию научно-технического потенциала Санкт-Петербурга в качестве основного фактора осуществления научно-инновационной трансформации региона, обеспечивающего выход или закрепление на уровне национальных приоритетов научно-технологического развития.

Стратегическая необходимость вхождения России в стремительно глобализирующийся мир с высоким уровнем инновационной экономики, исчерпание традиционных средств повышения производительности труда и роста экономики, диктуют необходимость перехода страны на путь инновационного развития экономики [3]. Одной из первоочередных задач, решаемых на этом пути, является задача создания новых источников экономического роста и, в первую очередь, новых производств, обеспечивающих выход на формирующиеся и формирование новых высокотехнологичных рынков [4].

Перевод экономики на инновационные рельсы требует опережающей динамики высокотехнологичных отраслей и радикальное повышение их конкурентоспособности, что влечет дальнейшее совершенствование научно-технической и инновационной политики [5]. Политика инновационного развития должна исходить из опережающего развития научно-технического потенциала, обеспечивающего глобальную конкурентоспособность, в том числе экономики региона.

Наука, её научно-технический потенциал, безусловно, являются ключевым фактором инновационного развития, особенно по отношению к такому высокоразвитому региону как Санкт-Петербург. В соответствии с принятой Стратегией научно-технологического развития РФ [6] в ближайшие годы приоритетами научно-технологического развития страны будут считаться направления, которые способствуют получению научных и научно-технических результатов по созданию технологий, являющихся основой инновационного развития внутреннего рынка продуктов и услуг, с целью обеспечения устойчивого положения России на внешних рынках.

Все ведущие мировые державы стремятся к сохранению и укреплению своих позиций на мировой арене, в том числе, за счет технологического лидерства и повышения

эффективности своих инновационных систем. При этом ни одна страна, включая самые богатые, расходуящие на науку сотни миллионов долларов в год, не может сегодня вести полномасштабные исследования по всем научным направлениям. В этих условиях каждая страна вынуждена определять приоритеты своего научно-технического и инновационного развития, чтобы сохранить лидирующие позиции в наиболее перспективных областях.

Обострение глобальной конкуренции в экономике приводит к сокращению жизненного цикла большинства товаров. Это вынуждает правительства отдельных стран и руководителей крупнейших транснациональных компаний развивать свои конкурентные преимущества в первую очередь за счет разработки и вывода на рынок инновационных товаров и услуг [7]. Формируются специальные программы, определяющие приоритетные области развития науки и технологий. Впервые такая попытка была предпринята в 1950-е годы корпорацией RAND (США), позже эту идею подхватили в Японии, где, начиная с 1970 года, каждые пять лет проводят масштабное исследование долгосрочных перспектив развития технологий [8].

Исключительно высокие темпы изменения рыночной конъюнктуры, особенно в высокотехнологичных, наукоемких сферах, требуют мер по поддержанию конкурентоспособного уровня научных и инженерных разработок. Без адекватного по времени и содержанию развития научно-технического потенциала страны и региона, в частности, достижение этой цели обеспечить невозможно.

Основными уровнями управления реализацией поставленных задач являются региональные экономики. Именно региональный уровень является наиболее восприимчивым к инновациям, и именно инновационное развитие региона требует соответствия интересов региональных субъектов и бизнеса с учетом интересов развития региона. Выявление перспективных для региона областей развития науки и технологий, обеспечивающих реализацию конкурентных преимуществ региона является стратегической задачей.

Для России одним из научных кластеров мирового уровня, безусловно, является Санкт-Петербург, в котором сосредоточено 11% её научного потенциала, в учреждениях науки и образования которого работают около 14% всех российских исследователей.

Указанный комплекс задач определил основную цель данного исследования – выбор приоритетов и определение наиболее перспективных направлений развития в рассматриваемой области науки и техники для региона, обеспечивающих развитие научного потенциала и реализацию конкурентных преимуществ, наличествующих в регионе.

В настоящее время реализовано достаточно большое количество исследовательских проектов, посвященных различным аспектам инновационного развития регионов. Вместе с тем большинство работ не учитывает фактора разнородности регионов по научно-техническому потенциалу.

Инновационное изменение сложившегося облика экономики и общества в мировой практике во многом связывают с широким распространением новых материалов и нанотехнологий в производственных процессах и в секторе услуг.

Мировой рынок композитов, нанокompозитов, в частности, в последние годы динамично развивается: по оценкам международных экспертов мировой рынок композитов в 2016 году составил более 82 млрд. долл. в стоимостном выражении и около 11 млн тонн в натуральном выражении. В период до 2022 года рынок композитов будет расширяться на 8% в год и по стоимости возрастет до 115,43 млрд. долл. [9].

В течение последних нескольких лет СПбНЦ РАН ведет активную работу по изучению, формированию и развитию научно-образовательного потенциала Санкт-Петербурга в качестве основного фактора осуществления научно-инновационной трансформации региона.

С целью осуществления поставленных задач была определена следующая последовательность действий с привлечением в качестве экспертных институтов Объединенных научных советов Санкт-Петербургского научного центра РАН:

- проведение научных исследований по выявлению основных, наиболее перспективных трендов развития соответствующих отраслей мировой науки на период до 2030 г.;
- выявлению перспективных приоритетных направлений развития науки в Санкт-Петербурге, лежащих в русле мировых трендов и соответствующих как приоритетам развития экономики Санкт-Петербурга, установленным Концепцией развития города на период до 2030 года, так и научно-инновационному потенциалу Петербурга;
- формирование Программы развития научных исследований, направленной на формирование и развитие научно-технического и научно-образовательного потенциала Петербурга в интересах инновационного развития региона.

Настоящий отчет подготовлен на основании результатов исследований, проводимых в СПбНЦ РАН в рамках темы Государственного задания, и посвящен исследованию проблем развития научного потенциала региона в комплексной междисциплинарной области, охватывающей материаловедение, механику, прочность, как одной из наиболее перспективных областей развития науки и технологии в Санкт-Петербурге, обладающей

конкурентным преимуществом в виде высокоразвитой интеллектуальной составляющей и как фактор развития инновационной среды региона.

Научный потенциал как государства в целом, так и отдельного региона представляет собой сложную систему, состоящую из когнитивных, материальных и организационных компонент [10]. Основу научного потенциала составляет фундаментальное знание – постоянно обновляющаяся система представлений о природе и обществе. Фундаментальное знание создает базу для инновационного процесса: внедрения в экономику и культуру новых технологий, новых методов приспособления человека к окружающей среде. Ведущей компонентой научного потенциала является кадровый (интеллектуальный) потенциал, совокупность носителей знания, их интеллектуальный и образовательный уровень, степень их мотивации на научное творчество и решение новых задач. Огромную роль играет вооруженность ученого современными средствами исследования: научными приборами, установками и материалами, научной информацией и средствами её обработки и передачи. Затраты на научное оборудование являются основной частью материальных затрат на науку и служат критерием отношения общества к науке. В настоящей работе затронуты составляющие проблемы научного потенциала, основное же внимание уделено его когнитивно-интеллектуальной составляющей, подчеркнуто, чем же может гордиться петербургская фундаментальная наука, в чем её конкурентные преимущества и особенности как фактора научно-инновационного развития региона.

3.2 Санкт - Петербург – один из крупнейших центров научных исследований и разработок в междисциплинарной области создания и использования новых материалов

Современная стратегия научно-технологического развития передовых стран во многом определяется уровнем достижений в области новых материалов [8]. Анализ основных концепций развития исследований и разработок в области новых материалов в деле реализации федеральных программ наиболее развитых стран показывает, что более 80% приоритетных разработок объектов новой техники в 21 веке определяется уровнем созданием новых материалов и высоких технологий их получения.

Новые материалы со значительно улучшенными характеристиками или новыми уникальными свойствами позволяют существенно расширить ассортимент конкурентоспособных изделий, создающих новые ниши на высокотехнологичных рынках [5]. Начиная с конца 20 века новейшие материалы стали объектом государственной

политики стимулирования экономического роста, а также базой трансформации отраслевой и организационной структуры экономики. Например, недостаточная, по мнению американских экспертов, национальная поддержка развития высоких технологий и материалов даже в такой стране, как США – лидере на мировых рынках – привела к резкому усилению конкуренции со стороны Японии и вытеснению американской продукции на мировых рынках электроники, компьютерной техники, автоматике, альтернативной энергетики. Учитывая стратегический характер направления новые материалы, следует подчеркнуть резкое увеличение, начиная с конца 90х годов, в США объемов финансирования НИОКР в области новых материалов. К сожалению, объем финансирования аналогичных задач в России совершенно несопоставим с ними. Однако, существенный задел ведущих материаловедческих центров страны, в том числе находящихся в Санкт-Петербурге, позволяет до настоящего времени сохранять в них значительный научно-технический потенциал и решать сложные и актуальные задачи создания новой техники [20].

Санкт-Петербург располагает уникальными возможностями для научных исследований и разработок в области создания новых материалов и технологий их получения и обработки. Решение ряда важных научно-технических проблем в области создания и применения новых материалов, процессов и технологий, образцов новой техники, определяющих уровень научно-технологического развития страны, является весьма актуальной комплексной задачей, решаемой как в мировых научных центрах, так и в целом ряде научных учреждений Петербурга, таких как Государственные научные центры РФ, академические институты, вузы, отраслевые и ведомственные НИИ. Исследования и разработки, проводимые в них, в области создания и применения новых конструкционных и функциональных материалов, включая наноматериалы, по целому ряду позиций соответствуют мировому уровню или определяют его [21].

Санкт-Петербург является одним из крупнейших центров по созданию, производству и применению конструкционных материалов [1]. В Санкт-Петербурге расположены ведущие институты металлургического, материаловедческого и технологического профиля, разработки которых определяют технический уровень производства и обработки новых конструкционных материалов для новейших образцов техники. В них ведутся работы по созданию сталей и сплавов, в том числе и с использованием нанотехнологий, а также других видов конструкционных материалов, включая композиционные, керамические, полимерные, неметаллические материалы.

Большое число научно-исследовательских институтов, вузов, научно-производственных центров региона профилировано в области получения и использования материалов с разнообразными функциональными свойствами. Это, прежде всего - тугоплавкие и особо твердые неорганические материалы, защитные и изоляционные покрытия, полупроводниковые материалы, сегнетоэлектрики, перспективные оптические материалы, материалы для фотоники и оптоэлектроники, полимерные, композиционные, керамические, резины, материалы для лазерной техники и микроэлектроники, интеллектуальные материалы, с памятью формы, метаматериалы, новые углеродные материалы и многое другое. Особо нужно отметить исследования новых «квантовых» объектов, проводимые в СПБАУ РАН, ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, университете ИТМО - радикально изменяющих технологию получения и обработки информации и определяющих основу новых поколений компонентов микро- и оптоэлектроники 21 века.

На базе основных научных дисциплин - математики, физики, химии, машиноведения и науки о материалах в ряде научных центров Санкт-Петербурга, прежде всего, в ГНЦ «ЦНИИ КМ «Прометей», профилированных в исследованиях в области науки о материалах, развиты междисциплинарные исследования и разработки, обеспечивающие получение новых фундаментальных знаний в области конструкционной прочности, прикладной механики и наноструктурированных конструкционных и функциональных материалов. Полученные научные результаты реализуются в виде технических решений для ряда изделий различных наукоемких отраслей промышленности страны и зарубежья. Междисциплинарный подход способствует успешному решению весьма сложных научно - технических проблем, обеспечению надежности ответственных конструкций, в том числе, в экстремальных условиях. Это позволяет решать актуальные проблемы страны и региона, в частности, в области безопасности атомной энергетики, надежности ответственных конструкций, оснащения предприятий города новейшей технологией, развития инфраструктуры городского хозяйства, подготовки научных кадров, создания новых производств, обеспечивающих выход на формирующиеся высокотехнологичные рынки [1].

В Санкт-Петербурге сосредоточен ряд академических институтов, работающих по целому ряду перспективных направлений в междисциплинарной области создания и использования новых материалов. Это, прежде всего, институты Отделения «Химии и науки о материал» РАН (ИВС, ИХС, СПб.Ф ИК СО РАН); Отделения «Энергетики, машиностроения, механики» РАН (ИПМаш РАН). Целый ряд научно-образовательных организаций, среди которых, национальные исследовательские университеты: СПбПУ Петра Великого, ИТМО и др. В Петербурге расположены также Государственные научные

центры, ведущие фундаментально-прикладные работы по целому ряду перспективных направлений в этой области (ЦНИИ КМ «Прометей», РНЦ ПХ «ГИПХ», ЦНИИМ и др.).

3.3 Научный потенциал ведущих научных и образовательных центров в междисциплинарной области создания и использования новых материалов (материаловедение, механика, прочность)

В подразделе приведены краткие характеристики научного потенциала ведущих организаций Санкт-Петербурга, принадлежащих к различным ведомствам, проводящих исследования и разработки в различных направлениях междисциплинарной области, охватывающей материаловедение, механику, прочность.

В Санкт-Петербурге расположен флагман отечественного материаловедения, один из крупнейших многопрофильных материаловедческих центров страны, разработки которого направлены на развитие ключевых отраслей промышленности (судостроение, атомной, тепловой и гидроэнергетики, газодобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности, машиностроения и военной техники), там, где изделия, конструкции и оборудование работают в экстремальных условиях эксплуатации. Это – Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов (ЦНИИ КМ) «Прометей» имени академика И. В. Горынина, имеющий статус Государственного научного центра РФ.

Указом президента РФ ЦНИИ КМ «Прометей» включен в «Перечень стратегических предприятий и стратегических акционерных обществ».

Институт является:

- государственным научным центром Российской Федерации (статус регулярно подтверждается с 1994 г.);
- ведущим материаловедческим центром по созданию материалов и технологий для кораблестроения, гражданского судостроения, объектов морской техники, в том числе для добычи углеводородов на полярном шельфе России;
- головной материаловедческой организацией в области использования атомной энергии;
- головной организацией по конструкционным наноматериалам в составе национальной нанотехнологической сети.

В сферу деятельности института входят:

- создание прогрессивных конструкционных основных и сварочных материалов - уникальных сталей различных классов и назначения; прочных легких коррозионно-стойких титановых и алюминиевых сплавов; неметаллических и композиционных материалов; наноструктурированных материалов и систем и др.;
- создание технологий производства, обработки и соединения материалов; технологий нанесения защитных и функциональных покрытий;
- разработка методов и средств защиты от разрушений изделий и конструкций;
- оценка функциональной работоспособности и продления эксплуатационного ресурса изделий и объектов техники.

Разрабатываемые ЦНИИ КМ «Прометей» материалы и технологии применяются в судостроении, энергетике, нефтегазодобывающей и перерабатывающей промышленности, металлургии, машиностроении, оборонной промышленности, медицине, сельском хозяйстве и др.

Институт работает:

- по 6 (из 8) приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники в РФ;
- по 11 (из 27) критическим технологиям РФ, направленным на обеспечение конкурентоспособности отечественной промышленности и развитие базовых отраслей экономики.

Институт также участвует в реализации 3 технологических платформ. Среди них: «Материалы и технологии металлургии», направление «Технологии металлургии и новые материалы», «Инновационные лазерные, оптические и оптоэлектронные технологии - фотоника», направление «Фотоника», «Освоение океана».

Институт обладает мощной современной научно-исследовательской и опытно-экспериментальной базой, а также научно - технологическими комплексами, что позволяет проводить полный цикл работ от фундаментальных и поисковых исследований до создания и освоения промышленных технологий и обеспечивать высококачественное выполнение работ по всем направлениям. База включает 5 технологических комплексов, центр коллективного пользования (ЦКП) «Состав, структура и свойства конструкционных и функциональных материалов» и научно-технологический комплекс по разработке конструкционных и функциональных наноматериалов. Исследовательский комплекс института располагает уникальным испытательным оборудованием, позволяющим осуществлять работы по моделированию и оптимизации составов, структуры и свойств разрабатываемых материалов. Оснащенная современным оборудованием научно -

производственная база института позволяет осуществлять НИОКР от поисковых исследований до опытно-промышленных технологий.

Сотрудничество института с образовательными организациями высшего образования закреплено следующими соглашениями:

- совместно с Санкт-Петербургским государственным морским техническим университетом организован и действует научно-образовательный центр (НОЦ) «Новые материалы и современные технологии их получения»;

- Договоры о творческом сотрудничестве с Российским государственным университетом инновационных технологий и предпринимательства, г. Великий Новгород, с Рязанским высшим воздушно-десантным командным училищем им. генерала армии В.Ф. Маргелова.

Для обеспечения углубленной подготовки и сокращения сроков адаптации молодых специалистов на предприятиях, а также из необходимости воспроизводства кадрового потенциала института на основных направлениях научной деятельности ЦНИИ КМ «Прометей» созданы базовые кафедры в ведущих ВУЗах Санкт-Петербурга:

- базовая кафедра "Функциональные материалы и технологии". Кафедра осуществляет свою деятельность по углубленной подготовке молодых специалистов (магистров) в составе Института металлургии, машиностроения и транспорта (ИММиТ) СПбПУ Петра Великого с 1982 г. по направлению «Металлургия», магистерская программа «Материаловедение, технология получения и обработки металлических материалов со специальными свойствами»;

- базовая кафедра "Современные материалы и технологии в судостроении". Кафедра является подразделением Санкт-Петербургского государственного морского технического университета (СПбГМТУ).

Широко представлено в институте международное сотрудничество. ЦНИИ КМ «Прометей» сотрудничает по международным проектам с МНТЦ, МАГАТЭ, Европейской программой TACIS, ЕС P7 и целому ряду других международных научно-исследовательских программ и проектов. Налажено сотрудничество с зарубежными предприятиями и компаниями Китая, Кореи, Индии, Финляндии и др. Институт оказывает научно-техническую помощь при применении и освоении разработок ЦНИИ КМ «Прометей» на их территории.

- ЦНИИ КМ «Прометей» является членом следующих международных организаций;
- Межгосударственная Ассоциация «Титан»;

- IGRDM – Международная группа по радиоактивному повреждению материалов;
- IUMRS – Международный союз материаловедческих обществ.

ЦНИИ КМ «Прометей» ведет активное сотрудничество с ведущими институтами Академии наук, научными центрами и научными организациями различных отраслей промышленности, крупнейшими конструкторскими бюро и промышленными предприятиями России, сохраняет и развивает научно-техническое сотрудничество со многими материаловедческими организациями Европы и Азии.

Институт «Прометей» имеет собственную аспирантуру и докторантуру, где осуществляется подготовка научных кадров. Аспиранты института могут специализироваться в следующих областях научной деятельности:

- разработка новых металлических, полимерных и композиционных материалов, технологий их промышленного производства, выбор материалов для различных условий работы;
- разработка методов и средств обработки поверхностей (покрытия, обработка концентрированными потоками энергии, нанесение лаков, красок, химико-термическая обработка);
- прогнозирование работоспособности и долговечности материалов, в том числе в экстремальных условиях эксплуатации;
- выяснение причин отказа действующих конструкций, разработка мер по их устранению;
- создание новых наноструктурированных материалов и нанотехнологий.

Численность персонала, занятого исследованиями и разработками, составляет более 1300 человек, основой которого являются известные ученые и специалисты в области металловедения, металлургии, сварки, композиционных материалов, нанотехнологий. Среди них: 19 докторов наук, 1 чл.-корр. РАН и 119 кандидатов наук.

Ведущими учеными ЦНИИ КМ «Прометей» созданы и активно функционируют 3 научные школы федерального уровня [22], известные и признанные в России и за её пределами. В декабре 2015 г. они включены в *реестр ведущих научных и научно-педагогических школ Санкт-Петербурга* регионального уровня.

- «Фундаментальные и научно-прикладные работы в обеспечение создания перспективных высокопрочных свариваемых сталей, полимерных композиционных материалов, средств защиты от коррозии и многофункциональных покрытий для широкого

применения в надводном и подводном кораблестроении»

Научный руководитель: академик, д.т.н., профессор Горынин Игорь Васильевич;

– «Фундаментальные и научно-прикладные работы в обеспечение создания перспективных хладостойких и нержавеющей сталей для морских сварных конструкций, эксплуатирующихся в Арктике». Научный руководитель: Заслуженный деятель науки РФ, д.т.н., профессор Малышевский Виктор Андреевич;

– «Фундаментальные и научно-прикладные работы по созданию перспективных конструкционных материалов (сталей, никелевых и титановых сплавов) для оборудования атомной энергетики, работающего в экстремальных условиях»

Научный руководитель: чл.-корр. РАН, д.т.н., профессор Орыщенко Алексей Сергеевич;

Сохранение преемственности научных школ и укрепление лидирующего положения России в материаловедении – области знаний, где позиции нашей страны традиционно сильны – одна из важнейших задач института.

В институте создан и действует центр коллективного пользования (ЦКП) научным оборудованием «Состав, структура и свойства конструкционных и функциональных материалов». В его составе более 100 единиц уникального и современного научного оборудования. Среди них:

- Научно-технологический механоактивационный комплекс установок для получения, обработки и исследования свойств нанокристаллических дисперсных материалов с управляемым фракционным составом и эксплуатационными свойствами;
- Аналитический комплекс на базе растрового двулучевого электронно-ионного микроскопа, позволяющий получать информацию нанометрового масштаба изображений высокого разрешения;
- Программно-аппаратный комплекс для оценки микроструктуры;
- Рентгено-телевизионная система для проведения неразрушающего контроля;
- и др.

Основные направления научных исследований, проводимых с использованием УНУ - это, прежде всего: получение и исследование наноструктурированных композиционных порошковых материалов для получения функциональных покрытий с качественно улучшенными эксплуатационными характеристиками; получение и исследование наноструктурированных магнитомягких порошковых материалов для создания радиопоглощающих композиционных материалов; дезинтеграция и активация материалов различных классов и назначений; механосинтез композиционных порошковых материалов; биологическая деструкция и активация биоорганических объектов и др.

ЦКП ЦНИИ КМ «Прометей» зарегистрирован как объект инфраструктуры в информационно-аналитической системе РФФИ и предоставляет необходимую инфраструктуру и оборудование для выполнения проектов по грантам РФФИ по мероприятию «Проведение исследований на базе существующей научной инфраструктуры мирового уровня» президентской программы исследовательских проектов [23].

Следует подчеркнуть, что создание конструкционных материалов нового поколения с качественно новыми эксплуатационными характеристиками стало возможным благодаря расширению и углублению фундаментальных знаний о природе материалов.

В ЦНИИ КМ «Прометей» учрежден и издается с 1995 г. общероссийский научно-технический журнал «Вопросы материаловедения», освещающий актуальные проблемы современного материаловедения. С 2006 г. журнал включен в российский индекс научного цитирования (РИНЦ). С 01 июля 2015 г. журнал включен в новый перечень ведущих периодических изданий, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией (ВАК) Министерства образования и науки Российской Федерации, для публикации научных результатов диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук. С 2011 г. отдельные, наиболее рейтинговые статьи журнала за предшествующий год переводятся на английский язык и публикуются издательством “Pleiades Publishing, Ltd” в виде специального выпуска № 6 в составе объединенного журнала “Inorganic Materials: Applied Research” (ISSN PRINT:2075-1133, ISSN ONLINE:2075-115X) [24].

ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей» в России занимает одну из ведущих позиций в области конструкционной прочности и механики разрушения. Направление «Материалы и вопросы безопасности энергетических установок» ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей» обеспечивает разработку новых конструкционных материалов (основных и сварочных), включая технологию их производства и контроля, в соответствии с Программой развития атомной отрасли:

- для корпусов водо-водяных атомных реакторов АЭУ повышенной единичной мощности и длительного срока службы, а также для корпусов реакторов нового поколения,
- для перспективных реакторов и парогенераторов с теплоносителем натрия повышенной единичной мощности и длительным сроком службы АЭС с реакторами БН-800, БН-1200;
- для перспективных реакторов с теплоносителем свинец или свинец-висмут для новых АЭС с реакторами типа БРЕСТ и СВБР-100;
- для высокотемпературных газоохлаждаемых реакторов типа ВГ 400 и газовых реакторов применительно к космической технике;

- для изготовления чехлов тепловыделяющих элементов (ТВЭЛ) атомных энергетических установок;
- и др.

В Санкт-Петербурге функционирует ряд академических институтов, относящихся к разным отделениям РАН, исследования которых направлены на создание фундаментальных заделов в междисциплинарной области материаловедения, механики, прочности. Среди них, относящийся к отделению ОЭММПУ РАН, Институт проблем машиноведения РАН (ИПМаш РАН), проводящий фундаментальные, поисковые и прикладные научные исследования, направленные на получение и применение новых знаний в области механики и процессов управления, физики, химии. Институт является одним из ведущих центров в области механики, прикладной математики, проблем материаловедения.

Исследования Института направлены на повышение надежности машин и конструкций, работающих в экстремальных условиях. Основными направлениями интересов института являются механика, термодинамика, кинетика переходных процессов в наноматериалах и "умных" материалах, фазовые переходы и дефекты структуры, проблемы динамики вибрационных, волновых и виброударных процессов, теории и методы процессов управления в сложных физических и технических системах, нано - и микротрибология.

Стратегической целью Института является упрочение лидирующей исследовательской позиции в области фундаментальной механики в части проведения междисциплинарных исследований по механике материалов и конструкций в совокупности с современными подходами управления. Благоприятные условия для обеспечения национального лидерства в этом направлении созданы, основанными в институте школами членов РАН: академика Н.Ф. Морозова в области динамики и устойчивости [22], чл.-корр. РАН Индейцева А.Д. в области механики многокомпонентных сред, чл.-корр. РАН Ю.В. Петрова в области экстремальных состояний материалов и конструкций, чл.-корр. РАН А.М. Кривцова в области молекулярной динамики и чл.-корр. РАН Г.А. Леонова в области управления. Одним из перспективных направлений, развиваемых в институте, является изучение поведения материалов и конструкций в экстремальных условиях, что представляется чрезвычайно важным для предотвращения техногенных катастроф [25]. Интеграция научных исследований статического и динамического поведения материалов на нано-, микро-, мезо- и макроуровнях позволит не только прогнозировать свойства, но и

создавать фундаментальные основы проектирования материалов с требуемыми механическими свойствами.

Основные научные направления ИПМаш РАН:

- прочность, разрушение и структурные превращения в материалах и конструкциях при экстремальных воздействиях;
- разработка фундаментальных принципов образования новой фазы в многокомпонентных системах с целью создания управляемого синтеза новых материалов и гетероструктур на основе широкозонных полупроводников и диэлектриков для микро, нано- и оптоэлектроники;
- ударно-волновые процессы в сплошных средах и конструкциях.
- термодинамика и кинетика структурных превращений и накопления повреждений в процессах деформирования и разрушения многокомпонентных твердых тел;
- развитие комплексного подхода моделирования физико-механических процессов в конденсированном веществе на различных масштабных уровнях с использованием дискретных и континуальных методов;
- механика новых материалов, в том числе наноматериалов;
- нелинейная динамика машин и механизмов. Вибрационная механика и виброреология;
- разработка основ единой теории управления синхронизацией сетевых систем с учетом информационных ограничений;
- управление безопасностью и риском в сложных системах;
- теоретические и экспериментальные исследования интеллектуальных электромеханических систем;
- управление социально-экономической безопасностью.

Кадры института представлены 160 сотрудниками, среди них - научных сотрудников – 139, в том числе: 66 докторов наук, 73 кандидата наук, 1 академик, пять чл.-корр. РАН.

Базовые кафедры, научно-образовательные центры института:

- научно-образовательный центр ИПМаш РАН "Искусственный интеллект в киберфизических системах" (НОЦ ИИ-КФС) с пятью профильными отделениями создан для объединения усилий различных научных групп ИПМаш РАН, работающих в области развития и применени интеллектуальных систем управления и систем искусственного интеллекта. Центральной задачей НОЦ ИИ-КФС является научное обеспечение Национальной стратегии развития искусственного интеллекта (Указ Президента РФ №490 от 10.10.2019), проведение фундаментальных и прикладных исследований в области

алгоритмов, математических методов и технологий искусственного интеллекта. Основная область применения разрабатываемых решений — кибер-физические системы, включающие вычислительные и физические компоненты;

- на базе СПбПУ Петра Великого создан и функционирует базовый Научно-образовательный центр ИПМаш РАН "Моделирование и идентификация сложных механических систем".

Институт имеет свою аспирантуру, ведется обучение по программе подготовки научно-педагогических кадров по направлениям:

- "Математика и механика" направленность "Механика деформируемого твердого тела" и направленность "Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры",
- "Машиностроение" направленность "Трение и износ в машинах",
- "Управление в технических системах" направленность "Информационно-измерительные и управляющие системы в машиностроении.

В институте действуют специализированные советы:

- Диссертационный совет, специальности:
 - 1) Механика деформируемого твёрдого тела, физико-математические науки, технические науки.
 - 2) Трение и износ в машинах, технические науки.
- Диссертационный совет, специальности:
 - 1) Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры, технические науки.
 - 2) Информационно-измерительные и управляющие системы в машиностроении, технические науки.

Институт ведет широкое международное сотрудничество. Целый ряд известных ученых ИПМаш РАН являются членами редакционных советов ряда престижных международных журналов: ZAMM, Acta Mechanica, Structural Control and Health Monitoring, Mechanics of Advanced Materials and Modern Processes и др.

Институт сам является учредителем и издает следующие международные журналы:

- MATERIALS PHYSICS AND MECHANICS (MPM). ISBN 1605-2730, индексируемый в международных базах: Chemical Abstracts, Cambridge Scientific Abstracts, Web of Science Emerging Sources Citation Index (ESCI) and Elsevier Bibliographic Databases (in particular, SCOPUS);

- Journal "REVIEWS ON ADVANCED MATERIALS SCIENCE" (RAMS) За 2017 г. журнал имел Impact factor: 2.172 [26];

- CYBERNETICS AND PHYSICS Open Access Journal (CAP);
- Proceedings of the International Summer School–Conference (APM).

Результатом, проводимой институтом политики международной кооперации, стало избрание ряда сотрудников института в руководящие органы и комитеты ключевых международных научных организаций, а именно, в Международный союз теоретической и прикладной механики (IUTAM) и Европейское общество механиков (EUROMECH).

Особо следует подчеркнуть, что за период с 2013 по 2018 гг. сотрудники ИПМаш РАН опубликовали в научных журналах первого квартала (Q 1) 342 научные статьи.

Показатели результативности научно-исследовательской работы ИПМаш РАН (данные 2016 г.).

Общее число публикаций за пять лет – 1138.

Число публикаций входящих в *WOS* и *Scopus* – 605.

Число цитирований в РИНЦ – 2188.

Средневзвешенный импакт-фактор журналов, опубликовавших статьи – 0,940.

Общее число публикаций в расчете на одного автора – 3,99.

Индекс Хирша (*h* – индекс) – 48.

В результате анализа наукометрических показателей, проведенного ФАНО в 2017 г. ИПМаш РАН в референтной группе организаций Отделения энергетики, машиностроения, механики и процессов управления РАН по профилю деятельности «Производственные технологии и технологии машиностроения. Приборостроение и механика» занимает позицию «лидера». В частности, по показателю «Число публикаций в журналах, входящих в *WOS* и *Scopus* отнесенных на одного сотрудника», институт занимает 3-е место в группе из 15 организаций Отделения ОЭММПУ РАН [27].

Уникальное научное оборудование института:

1) Комплексная установка «Физика, химия и механика кристаллов и тонких плёнок». В состав установки входит ультрафиолетовый эллипсометр J.A. Wollam VUV-VASE. Эллипсометр имеет уникальные характеристики по определению качества, состава и политипа тонких плёнок и гетероструктур широкозонных полупроводников и является одним из нескольких экземпляров, действующих в Европе. Также в комплекс входят экспериментальные установки-реакторы для роста тонких плёнок методом замещения атомов, разработанные коллективом ИПМаш РАН. Комплекс предназначен для полной характеристики тонких плёнок, дающий возможность изучать за короткий промежуток времени: морфологию поверхности, толщины, механические свойства, электрические и

электрооптические свойства, химический состав, структуру и кристаллическое совершенство;

2) Лаборатория мехатронных и сетевых систем, состоящая из квадрокоптерного стенда «Комекс -1», мехатронного вибрационного стенда СВ-2М, экспериментального комплекса для испытания алгоритмов управления электроэнергетическими сетями и нейросетевого стенда НС-1;

3) Экспериментальный стенд «Аэродинамическое крыло летательного аппарата с адаптивно изменяющейся поверхностью». Стенд подготовлен в рамках проекта РНФ 16-19-00057 «Адаптивное управление с прогнозирующими моделями при переменной структуре пространства состояний с приложением к системам сетевого управления движением и автоматизации медицинского оборудования»;

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» (ФГАОУ ВО «СПбПУ»)

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого – старейший технический многофункциональный вуз России, входит в число национальных исследовательских университетов, выпускает специалистов, востребованных в исследовательской, проектной деятельности и в бизнесе. С момента основания университета в 1899 году многие выпускники получили мировое признание в различных областях деятельности, стали лауреатами престижных премий, включая Нобелевскую премию.

СПбПУ в рейтингах университетов мира.

В престижном институциональном рейтинге вузов мира: *QS World University Rankings* по состоянию на 2020 год СПбПУ занимает 401 место [28], 8 место среди всех вузов России и 4 среди технических, уступая МГТУ им. Баумана, МФТИ и НИЯУ МИФИ. Следует отметить, что в рейтинг включены 1002 ведущих вуза мира из 80 стран. Россию в нем представляют 28 университетов. По результатам международных предметных рейтингов вузов 2020: *QS WORLD UNIVERSITY RANKINGS BY SUBJECT* Политех вошел в четыре новых предметных рейтинга: *Civil & Structural Engineering* (TOP-200), *Materials Science* (TOP-350), *Mathematics* (TOP-450), *Economics & Econometrics* (TOP-450). В рейтинге *Civil & Structural Engineering* Политех дебютировал в списке 200 лучших вузов

мира по версии QS и занял первое место в России. СПбПУ занимает престижные позиции также в двух отраслевых рейтингах: TOP-200 - Engineering & Technology, TOP-400 - Natural Sciences. Эти успехи служат подтверждением статуса университета в качестве глобального центра сборки политехнических компетенций.

В международном рейтинге: Times Higher Education (THE 2021) СПбПУ Петра Великого занимает 4-е место в РФ и 301-350 в мире [29].

СПбПУ предлагает обширный выбор образовательных программ разного уровня: бакалавриат, специалитет, магистратура, аспирантура; программы академической мобильности; программы двойных дипломов.

Преподавательский состав университета насчитывает 25 академиков и чл.-корр. РАН, свыше 600 профессоров, докторов наук, свыше тысячи кандидатов наук, более 200 иностранных преподавателей. Общее число преподавателей приближается к 2000 человек.

Всего обучается в СПбПУ свыше 30000 студентов бакалавриата, специалитета, магистратуры (более 10% по субъекту РФ), в том числе более 20000 студентов очной формы обучения.

Общее количество иностранных студентов (основные и дополнительные программы обучения) – 7500.

Количество иностранных преподавателей – 210.

Международные программы двойного диплома – 20.

Международная студенческая академическая мобильность, выезд/ въезд – 440/600.

Количество стран, охватывающих иностранный контингент студентов – 118.

С 2019 года с целью объединения всех подразделений в составе СПбПУ создана структура из 11 научно-образовательных институтов, каждый из которых имеет в своём составе высшие школы или высшие школы и кафедры. Институт университета является основным научно-образовательным структурным подразделением, объединяющим высшие школы, отдельные лаборатории, центры и вспомогательные службы в единый образовательный и научно-исследовательский комплекс, обеспечивающий выпуск специалистов с высшим образованием по определенной группе направлений и специальностей. Политехнический университет, как это и было задумано при его создании, имеет в своем составе технические, физические и гуманитарно-экономические институты. Среди них в настоящее время:

- Инженерно-строительный институт.
- Институт биомедицинских систем и биотехнологий.

- Институт компьютерных наук и технологий.
- Институт машиностроения, материалов и транспорта.
- Институт передовых производственных технологий.
- Институт прикладной математики и механики.
- Институт физики, нанотехнологий и телекоммуникаций.
- Институт физической культуры, спорта и туризма.
- Институт энергетики.
- Институт промышленного менеджмента, экономики и торговли.
- Гуманитарный институт.

Также в СПбПУ функционируют подразделения дополнительного образования, среднего профессионального образования, Высшая школа международных образовательных программ, комплекс научно-исследовательских подразделений, научно-образовательные центры, ряд специализированных научно- производственных структур и пр.

СПбПУ Петра Великого в сфере научной деятельности - крупный многопрофильный научный центр, занимающий по ряду научных направлений ведущие позиции в России и мире. За 120 лет существования университета ученые-политехники внесли заметный вклад в развитие фундаментальной и прикладной науки. Всемирно известны труды А.Ф. Иоффе, П.Л. Капицы, Н.Н. Семенова, М.А. Шателена, А.А. Байкова, Ж.И. Алферова и многих других ученых, чья творческая жизнь связана с университетом.

Высокий статус Политехнического университета в научных исследованиях подтвержден отнесением в 2010 г. к категории «Национальный исследовательский университет», включением СПбПУ в 2013 году на конкурсной основе в число вузов - участников Программы повышения международной конкурентоспособности университетов – Программы «5-100-2020» [15.], а также получением в декабре 2017 года по результатам конкурсного отбора гранта на создание и развитие Центра компетенций Национальной технологической инициативы «Новые производственные технологии» (Центр НТИ СПбПУ) [30].

Научные исследования в Политехническом университете носят мультидисциплинарный характер и сосредоточены в следующих областях науки, техники и технологий:

- механика, конструкционные материалы, наноматериалы и нанотехнологии, физико-химические основы металлургических процессов,

- ядерная физика, физика конденсированного состояния, физика плазмы и управляемый термоядерный синтез, радиофизика и электроника,
- физико-химические основы организации биологических систем, медицинская физика и техника, физическая химия,
- физико-технические проблемы энергетики, рациональное использование природных ресурсов, системы городского хозяйства и жизнеобеспечения,
- вычислительная техника, управление и кибернетика, робототехника,
- новые производственные технологии, виртуальные полигоны, цифровая экономика,
- телекоммуникационные системы, фотоника,
- экономика и управление народным хозяйством, мировая экономика, финансы, управление в социальных и экономических системах.

В университете активно развиваются комплексные надотраслевые научные направления и технологии: аддитивные технологии, суперкомпьютерные технологии, космические исследования. В структуру научной части университета входит также Центр перспективных исследований, на базе которого ведутся фундаментальные исследования в различных областях знаний, тематика которых на стадиях прикладных исследований и разработок передается в лаборатории институтов университета.

С целью создания условий для обеспечения *лидерства* на новых высокотехнологичных рынках в рамках программы Национальная технологическая инициатива (НТИ, проектный офис АО «РВК») на конкурсной основе подписан договор с Фондом поддержки проектов Национальной технологической инициативы об образовании *Центра компетенций НТИ* по направлению «Новые производственные технологии» (Центр НТИ СПбПУ). Центр создан на базе Института передовых производственных технологий СПб ПУ, является ведущим российским центром компетенций с крупнейшим проектным консорциумом по направлению «Новые производственные технологии» (цифровое проектирование и моделирование, цифровые двойники, новые материалы, аддитивные технологии) и является частью экосистемы инноваций СПбПУ Петра Великого.

Центр НТИ является инфраструктурной основой взаимодействия научных, образовательных и промышленных организаций в целях обеспечения глобальной конкурентоспособности отечественных компаний-лидеров на рынках НТИ и в высокотехнологичных отраслях промышленности [30]. Ключевая деятельность – разработка решений для создания высокотехнологичных изделий мирового уровня с

применением новых производственных технологий и кросс-отраслевых и мультидисциплинарных компетенций инженеров и ученых СПбПУ, а также членов проектного консорциума, который по состоянию на февраль 2020 года насчитывал 74 участника и более 25 компаний-партнеров.

Ключевые компетенции Центра

- 1) Цифровое проектирование и моделирование, цифровые двойники, бионический дизайн, умные цифровые двойники.
- 2) Новые материалы (композиционные материалы, наноматериалы, метаматериалы, металлопорошки для аддитивного производства).
- 3) Аддитивные технологии и аддитивное производство, включая 3D-принтеры, технологии, подходы и способы работ с исходными материалами, разработка и производство металлопорошков и набор услуг по 3D-печати.
- 4) Smart-Manufacturing-технологии и гибридные производственные технологии.

Приведем показатели результативности реализации программы Центром НТИ СПбПУ в 2019 г.:

- количество заключенных лицензионных соглашений на результаты интеллектуальной деятельности Центра – 53;
- размер дохода, полученного Центром от реализации деятельности – 910 млн. руб.;
- количество созданных результатов интеллектуальной деятельности -61;
- количество докторских и кандидатских диссертаций – 12;
- количество публикаций в изданиях, индексируемых в Scopus, WOS – 250.

Университет является лидером в области цифровых технологий и внедрения компьютерного инжиниринга в производство. В августе 2020 Политехнический университет получил статус Научного центра мирового уровня (НЦМУ) «Передовые цифровые технологии».

Политехнический университет координатор консорциума на базе четырех организаций. Основной целью программы НЦМУ «Передовые цифровые технологии» является обеспечение научно-технологического прорыва на основе фундаментальных и прикладных исследований мирового уровня, формирование условий для перехода на принципиально новый уровень применения наукоемких технологий и эффективности современного цифрового производства.

Основные научные направления НЦМУ «Передовые цифровые технологии»:

- передовые цифровые технологии (цифровое проектирование, математическое и суперкомпьютерное моделирование, управление жизненным циклом изделия или продукции (Smart Design) и технологии «умного» производства (Smart Manufacturing),
- искусственный интеллект,
- роботизированные системы,
- материалы нового поколения и аддитивные технологии,

Разработка и применение этих технологий лежат в русле мировых стратегических направлений развития и играют ключевую роль для экономики и промышленности РФ. Следует отметить, что результативность НЦМУ «Передовые цифровые технологии» обусловлена высокими наукометрическими показателями результатов НИР участников консорциума, в том числе - более 600 статей Q1 или Q2 Scopus за последние три года (2017-2019 годы).

Университет также активно участвует на конкурсной основе в реализации Программы Правительства РФ об организации лабораторий ведущих ученых, в рамках этой программы выполняется 5 проектов:

- 1) Лаборатория «Астрофизики объектов с экстремальным энерговыделением» под руководством ведущего ученого Павлова Г.Г., проф. Пенсильванского государственного университета (США). Срок реализации проекта 2010-2012 гг.;
- 2) Научная лаборатория физики улучшенного удержания плазмы токамаков под руководством ведущего ученого Вагнера Ф, почетного директора Института физики плазмы общества им. Макса Планка (Германия). Срок реализации проекта 2010-2012 гг.;
- 3) Лаборатория молекулярной нейродегенерации под руководством ведущего ученого Беспрозванного И.Б., профессора Юго-Западного медицинского центра Университета Техаса (США). Срок реализации проекта 2011-2015 гг.;
- 4) Научная лаборатория молекулярной микробиологии под руководством ведущего ученого Северинова К.В., заведующего лабораторией Института молекулярной генетики РАН и Университета Ратгерса (США). Срок реализации проекта 2013-2017 гг.;
- 5) Лаборатория легких материалов и конструкций под руководством ведущего ученого Михайлова В.Г., директора Исследовательского центра легких материалов Бранденбургского технического университета, Германия. Срок реализации проекта 2014-2017 гг.

Из пяти перечисленных лабораторий - три последние после окончания периода государственной поддержки успешно развиваются на базе грантов РФФИ, РНФ, проектов ФЦП и хоздоговоров.

СПбПУ является партнером многих ведущих университетских центров мира, деловое сотрудничество поддерживается с университетами более чем 40 стран, свыше 70 компаний и организаций из 19 стран мира работают с Политехническим университетом на основе прямых контрактных отношений.

В университете функционируют международные исследовательские центры, осуществляющие научные разработки совместно со специалистами фирм Motorola (США), Microsoft (США), Siemens AG (Германия), Samsung Electronics (Южная Корея) и др. Налажено сотрудничество с крупными международными организациями, такими как: Electrolux (Италия), General Motors Corporation (США), General Electric Corp (США), Philips (Венгрия), MAN Turbomaschinen AG Schweiz (Швейцария), Kawasaki (Япония). Среди них - 95 компаний, в том числе, ведущих компаний - лидеров в своей отрасли – 13.

Количество структур, созданных совместно с зарубежными партнерами (специализированные научно-образовательные, технологические и исследовательские центры и научно-исследовательские лаборатории) – 31. Среди них - 10 Международных научно-образовательных центра (МНОЦ).

Объем финансирования научно-проектной деятельности (поступления от зарубежных источников на 2018 г.) составил более 167 млн. рублей.

СПбПУ в 2020 г. выиграл мегагрант ГК «Росатом» по созданию новых материалов для госкорпорации. Первый этап НИОКР «Разработка и материаловедческое обоснование создания материалов и изделий на основе сплавов с памятью формы с управляемой структурой и пьезоэлектрической керамики с применением аддитивных 4D-технологий» получил годовое финансирование 200 миллионов рублей. Проект рассчитан на пять лет, а всего ГК «Росатом» планирует вложить в него один миллиард рублей.

Выполнение данной работы позволит печатать методом 3D-печати уникальные изделия, которые могут под воздействием температуры, излучения или давления изменять форму и электрические свойства. Руководитель научной группы, директор Института машиностроения, материалов и транспорта СПбПУ А.А. Попович так прокомментировал содержание и цели данного проекта: - *«Сплавы с эффектом памяти формы создавались давно, но, в основном, классическим способом: литье, прокат, формование, механическая обработка. А в этом проекте мы включились в принципиально новую технологию. Изначально мы разрабатываем порошковые сплавы для 3D-печати, потом – технологию*

3D-печати, затем апробируем ее на образцах, исследуем их свойства, в том числе функциональные. После этого переходим к созданию изделий для ГК “Росатом”. И в конце проекта с помощью 4D-технологии получаем сложнопрофильные изделия и “умные” материалы. Сегодня в мировом материаловедении этот метод считается прорывом, поскольку здесь совмещаются цифровые аддитивные технологии и новые материалы, обладающие интеллектуальными свойствами».

Показатели результативности научно-исследовательской деятельности СПбПУ:

- публикационная активность:
 - 1) Статьи преподавателей и сотрудников в ведущих периодических изданиях в 2019 г. (индексируемые в Scopus) - более 2000;
 - 2) Общее число цитирований публикаций организации в Scopus – около 1100;
 - 3) Статьи преподавателей и сотрудников в ведущих периодических изданиях в 2019 г. (индексируемые в WOS) - более 1000;
 - 4) Общее число цитирований публикаций организации в WOS – немногим менее 1000;
 - 5) Распределение публикаций Scopus по областям знаний (2018 г.): наибольшее количество статей приходится на следующие области в указанной последовательности - физика и астрономия, инженерные науки, материаловедение, химия, компьютерные технологии, математика и пр.;
 - 6) Распределение статей преподавателей и сотрудников в ведущих периодических изданиях WOS (2006-2016 гг.) следующее: Progress in Materials Science, Nature, Cell, IEEE Journal on Selected Areas in Communications и пр.;
- Объекты интеллектуальной собственности (ОИС):
 - 1) Число зарегистрированных ОИС в 2018 г. – около 100.
 - 2) Число зарегистрированных ОИС по видам в 2018 г.:
 - а) Наибольшее число составляют программы для ЭВМ, затем идут изобретения, полезные модели и замыкают перечень базы данных.

Уникальное научное оборудование СПбПУ Петра Великого:

- 1) Гибридный суперкомпьютерный комплекс петафлопсной производительности (СКЦ «Политехнический»);
- 2) Лабораторный комплекс для исследования процессов получения и преобразования биогазов из органосодержащих отходов;

- 3) Комплексный электролизный агрегат (КЭА) для обеззараживания воды и стоков;
- 4) Автоматизированный многопараметрический стенд для экспериментальных исследований образцов деталей авиационных двигателей из труднообрабатываемых материалов;
- 5) Научно-технологический комплекс установок для измельчения, обработки, компактирования и исследования свойств порошковых материалов с управляемыми физическими свойствами и фракционным составом;
- 6) Установка атомно-слоевого осаждения Picosun R-150 с камерой для нанесения тонких слоев на порошковые материалы РОСА-200;

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук

В сферу деятельности Института высокомолекулярных соединений РАН входит широкий круг вопросов, таких как, фундаментальные и прикладные научные исследования и разработки в области полимерной, органической, физической, биоорганической химии, экспериментальной и теоретической физики высокомолекулярных соединений.

Основные научные направления деятельности института в настоящее время:

- 1) химия высокомолекулярных соединений, изучение закономерностей образования, химических и структурных превращений высокомолекулярных соединений.
- 2) разработка принципов создания функциональных полимерных материалов, в том числе высокопрочных и высокотермостойких конструкционных материалов, а также нанокompозитов.
- 3) теоретическая и экспериментальная физика и механика полимеров, компьютерное моделирование сложных макромолекулярных систем.
- 4) разработка научных основ синтеза нового поколения биоактивных полимеров; направленная модификация природными и синтетическими высокомолекулярными соединениями лекарственных и биологически активных веществ для их применения в медицине, биоинженерии и биотехнологии.

Общая численность сотрудников института превышает 200 человек.

Таблица № 3.2 – Характеристика публикационной активности ИВС РАН

Год	Статьи, индексируемые в базах данных WOS и/или Scopus, шт.	Статьи, индексируемые в базе данных РИНЦ, шт.	Патенты, шт.
2018	197	105	4
2019	188	62	-

Уникальное научное оборудование ИВС РАН:

- 1) Жидкостной хроматограф “Shimadzu LC-20 Prominence” с рефрактометрическим и спектрофотометрическим (на основе диодной матрицы) детекторами,
- 2) Сканирующий электронный микроскоп SUPRA 55 VP фирмы Carl Zeiss, Германия,
- 3) Спектрометр ЯМР AVANCE II -500 WB фирмы Bruker, США,
- 4) Разрывная машина для механических испытаний Shimadzu AGS-100kNXD,
- 5) Ультрацентрифуга XLI Proteomelab, США,
- 6) Газовый хроматограф "Shimadzu GC-2010Plus" и др.

В ИВС РАН создана базовая кафедра медицинской физики Санкт-Петербургского государственного политехнического университета имени Петра Великого и функционируют четыре научно-образовательных центра (НОЦ):

- 1) «Физика полимеров, биополимеров, жидких кристаллов и дисперсных систем» совместно с физическим факультетом Санкт-Петербургского государственного университета,
- 2) «Полимеры в биотехнологии и медицине» с Санкт-Петербургским государственным политехническим университетом им. Петра Великого,
- 3) «Технологии создания и модификации природных и синтетических полимеров и их физико-химические исследования» с Санкт-Петербургским государственным университетом растительных полимеров,
- 4) «Компьютерное моделирование наносистем в науке о материалах и биологии» с Московским государственным университетом им. М.В. Ломоносова и Санкт-Петербургским государственным университетом.

ИВС РАН является обладателем 61 действующего патента.

За период с 2010 по 2019 гг. молодые ученые ИВС РАН отмечены следующими наградами:

- Стипендией Президента РФ молодым аспирантам.
- Стипендией Правительства РФ молодым аспирантам.
- Грант Президента РФ молодым российским ученым – кандидатам наук.
- Стипендия Президента РФ молодым российским ученым.
- и др.

Международное сотрудничество

В ИВС РАН в период с 2014 по 2018 гг., в рамках Программы мегагрантов Правительства РФ, созданы три международных лаборатории, возглавляемые ведущими зарубежными учеными:

1) Лаборатория многомасштабного экспериментального исследования и моделирования полимерных композитов на основе перспективных термопластов для промышленного применения. Руководитель лаборатории - ведущий европейский ученый, профессор Хосе Кенни (Jose Kenny), заведующий лабораторией Университета г. Перуджи, Италия, и директор Европейского центра наноструктурированных полимеров (ECNP), г. Мадрид, Испания. Профиль лаборатории - многомасштабное экспериментальное исследование и моделирование полимерных композитов на основе перспективных термопластов для промышленного применения;

2) Лаборатория полимерных биоматериалов и систем, руководитель - ведущий ученый, профессор Микко Карттунен (Финляндия, Кафедра химии и прикладной математики, Университет Западного Онтарио, Лондон, Канада.). Профиль лаборатории - разработка новых бионанокompозитных материалов с использованием методов многомасштабного компьютерного моделирования для прогнозирования их свойств и структуры, проведение комплексных химических и физических экспериментов для получения и оптимизации конечных продуктов;

3) Лаборатория биомиметических полимеров, руководитель – ведущий ученый Сергей Шейко, США. Профиль лаборатории - разработка полимерных сеток (эластомеров и гелей) на основе молекулярных щеток для создания материалов, которые точно копируют механическое поведение биологических тканей, от мягких (мозга) до прочных (кожа).

Институт высокомолекулярных соединений РАН как один из ведущих центров в области химии и физики высокомолекулярных соединений регулярно проводит международные симпозиумы, конференции молодых ученых и семинары, которые

привлекают ведущих ученых из зарубежных стран, а также научную общественность российских научных и учебных организаций. ИВС РАН является организатором одного из главных международных форумов о полимерах в России: «Молекулярный порядок и подвижность в полимерных системах», который проводится раз в три года, и ежегодных Международных конференций молодых ученых «Современные проблемы науки о полимерах» и Международной конференции по термопластичным полимерам. ИВС РАН также входит в число организаторов «Всероссийской конференции по органической химии» с международным участием.

Учеными ИВС РАН проводятся совместные исследования в рамках 26-ти межакадемических соглашений, Седьмой Европейской Рамочной программы (проекты FP7-NMR-2011 и FP7-SPIDER), программы трехстороннего сотрудничества с Францией и Чехией, международных грантов РФФИ с Финляндией, Румынией и Белоруссией, научных программ немецкого научно-исследовательского общества (DFG) с Ганновером, Германия и немецким центром синхротронных и электронных исследований (HASYLAB DESY, Гамбург), программы КОНТАКТ с Чешской республикой. Примерами длительного плодотворного сотрудничества являются работы ИВС РАН с Институтом макромолекулярной химии АН Чешской республики, Институтом исследования полимеров им. Лейбница в г. Дрезден (Германия), Институтом химии макромолекул им. П. Пони Румынской Академии, Отделением материаловедения Горного института Парижа.

Ряд сотрудников ИВС РАН являются членами редколлегии иностранных журналов, таких как: Eurasian Chemico-Technological Journal; Research & Reviews in Polymer; Advances in Analytical Chemistry; Journal of Applied Polymer Science; Journal of Applied Polymer Science; Carbon Journal, Elsevier.

Индустриальные партнеры института

В апреле 2016 года был подписан Меморандум о сотрудничестве с АО «Объединенная судостроительная корпорация» (АО «ОСК»). Признавая ведущую роль ИВС РАН в Российской Федерации в области разработки и исследований и характеристик полимеров и материалов на их основе, в рамках данного меморандума о сотрудничестве, АО «ОСК» делегирует ИВС РАН координацию работ по выявлению и формированию научно-технического задела и инноваций в области разработки и использования новых полимерных, композиционных и гибридных материалов, конструирования изделий на их основе, технологий их производства для решения соответствующих индустриальных задач современного судостроения.

В 2019 г. в Институте начал работать Центр Химии материалов для судостроения. Центр создан в рамках меморандума о сотрудничестве между ИВС РАН и АО «ОСК», подписанного в 2016 году, на базе ИВС РАН при активном участии АО «Средне-Невский судостроительный завод» (АО «СНСЗ») и Санкт-Петербургского композитного кластера. Деятельность Центра направлена на разработку и испытания уникальных образцов изделий из полимерных композитных материалов. Одним из первых проектов Центра стал проект создания композитного крепежа, в котором нуждается для своих судов АО «Средне-Невский судостроительный завод». В августе 2019 года Институт выиграл открытый конкурс Министерства промышленности и торговли РФ на проведение опытно-конструкторских работ по направлению «Разработка технологии крепления элементов насыщения судового оборудования и систем к конструкциям из ПКМ с использованием термопластов и высокопрочных адгезионных составов», шифр «Композитный крепеж». Объём финансирования работ по государственному контракту — 90 миллионов рублей. Конечной целью является разработка технологии формования высокопрочных крепежных элементов из термостойких полимерных композитов и клеевых составов для монтажа крепежа к корпусу судна, а также передача технологии на завод для разворачивания полноценного производства. На базе Центра будет создано опытное производство изделий из ПКМ.

Европейская научно-промышленная палата (European Scientific-Industrial Chamber) опубликовала рейтинг Российских научно-исследовательских организаций - World Research Institutions Ranking – WRIR-2017 РФ, согласно которому Институт высокомолекулярных соединений РАН получил результат категории «А+» (уровень исследовательской деятельности высокого качества), заняв 3-е место среди 64-х институтов со специализацией «Химия», преодолевших уровень С.

Как показано, Санкт-Петербург располагает уникальными возможностями для научных исследований и разработок в области создания новых материалов и технологий (процессов) их получения и использования.

В данной главе изложены результаты проводимых в СПб НЦ РАН исследований перспектив развития фундаментальных знаний в междисциплинарной области создания и использования новых материалов и процессов (материаловедение, механика, прочность) по актуальным междисциплинарным направлениям: конструкционные материалы и нанотехнология, композиты, механохимия и механохимические технологии, конструкционная прочность и механика разрушения, экстремальные состояния материалов, конструкций и сплошных сред, в обеспечение реализации конкурентных преимуществ

региона как для подъема традиционных секторов экономики, так и для прорыва на рынках высоких технологий. Дан анализ современного состояния и тенденций развития фундаментальных научных исследований в изучаемой области, рассмотрены ведущие научные центры в стране и за рубежом, представлены направления фундаментальных научных исследований, соответствующих глобальным научно-технологическим приоритетам. Выделены наиболее перспективные направления развития на среднесрочную перспективу, дана характеристика участия научных коллективов и научных организаций Петербурга в мировых трендах развития, представлены возможные направления использования наиболее перспективных направлений для развития наукоемких отраслей экономики региона.

3.4 Исследования в междисциплинарной области (материаловедение, механика, прочность) по приоритетным направлениям, проводимые в Санкт-Петербурге

В 2020 г. были продолжены работы в рамках государственного задания, часть работ была реализована в развитие соответствующих пунктов раздела 3 разработанной СПбНЦ РАН, до 2030 года Программы развития приоритетных направлений фундаментальных научно-исследовательских работ в Санкт-Петербурге на период до 2030 года, по включенным в Программу приоритетным направлениям раздела 3, а именно;

Приоритетное направление «Нанокompозиты и покрытия».

Нанокompозиты представляют собой совершенно уникальные структуры, с материаловедческой точки зрения, позволяющие реализовать композиции, невозможные с точки зрения обычных представлений. В последние годы наблюдается повышенный интерес в мире к использованию нанокompозитных материалов в различных областях, начиная от ракетно-космической техники и заканчивая медициной.

В Санкт-Петербурге в целом ряде организаций, таких как ЦНИИ КМ «Прометей», СПбПУ Петра Великого, СПбГЭТУ «ЛЭТИ», СПбГТИ (ТУ), СПбГУ и других развернут широкий фронт работ в области создания и использования нанокompозитов, работы по инжинирингу поверхности с целью достижения качественно нового уровня свойств по вибродемпфированию, экранированию от электромагнитных излучений, защите от коррозии и износа в различных средах и др.; интенсивные исследования и разработки в области создания интеллектуальных композиционных материалов (метаматериалы, адаптивные материалы, сенсорные материалы и др.).

Эффективная реализация этих путей развития требует проведения целого комплекса фундаментальных исследований и разработок, что и предлагается в рамках данного приоритетного направления (основного мероприятия) в виде семи взаимоувязанных проектов:

- создание научных принципов и разработка инновационной технологии получения композиционных порошковых материалов на основе управляемого механохимического синтеза и самораспространяющегося высокотемпературного синтеза для аддитивных технологий.

В данном проекте на основании изучения механизма взаимодействия матричного пластичного дисперсионного материала с высокотвердыми наноразмерными частицами при высокоскоростном ударно-волновом воздействии разрабатываются основы инновационной технологии получения композиционных порошковых материалов для аддитивных технологий, что составит конкуренцию уже имеющимся зарубежным производителям материалов по традиционной технологии (распыление расплава). На данный момент наблюдается дефицит производства исходных материалов для аддитивных технологий в России;

- разработка физико-химических основ и высокоэффективных методов получения наноструктурированных композиционных функционально-градиентных покрытий (ФГП) с рекордно высокими механическими, термическими, адаптивными и коррозионными свойствами для работы в экстремальных условиях.

В данном проекте на основании установления общих закономерностей формирования композиционных ФГП с управляемым комплексом свойств, изучения процессов физико-химического взаимодействия дисперсных материалов системы «металл-неметалл» в высокотемпературном потоке при формировании ФГП с аномально высоким комплексом свойств, планируется разработка основ их получения для перспективных изделий прецизионного машиностроения, энергетики, транспортной, строительной, сельскохозяйственной техники и другой продукции;

- изучение принципов создания метаматериалов на базе композиционных периодических (квазипериодических) структур, эффективно взаимодействующих с электромагнитным излучением широкого диапазона частот.

Задачи, поставленные в данном проекте, преимущественно имеют фундаментальный характер, вместе с тем их решение является ключевым для получения важных прикладных результатов, позволяющих осуществить разработку новой наукоемкой продукции для широкого спектра гражданских и специальных применений, а именно,

метаповерхностей для формирования заданного фазового фронта электромагнитной волны для использования в качестве отражательных элементов и для фокусировки электромагнитного излучения;

– разработка нового класса температуростойких полимерных композиционных материалов на основе наномодифицированных термопластичных матриц и полифункциональных покрытий для защитных экранов спецтехники от воздействия электромагнитного излучения. Разработка физико-химических основ создания антиобледенительных и радиационно-стойких покрытий для образцов новой техники (органосиликатные и реакционно-связанные покрытия).

Разрабатываемый кластер научных основ технологических процессов предназначен для создания производства новых многофункциональных температуростойчивых полимерных композиционных материалов и органосиликатных покрытий специального (антиобледенительного и радиационно-стойкого, дезактивируемого и электроизоляционного) назначения с улучшенным комплексом свойств для использования при создании изделий машиностроительного и ВПК комплекса;

– биоразлагаемые полимерные композиционные материалы для медицины.

Данная работа приведет к расширению ассортимента исходных полимерных биodeградируемых материалов для регенеративной медицины, созданию новейших перевязочных средств, комплексно воздействующих и ускоряющих процесс заживления. Это создаст задел для разработок в области абсорбирующих изделий медицинского назначения;

– биосовместимые нанокompозиты для замены костной ткани.

В данной работе формируются научные основы новых биосовместимых материалов для замены поврежденных или отсутствующих фрагментов скелета, а также направленной регенерации костной ткани в ортопедии и черепно-челюстно-лицевой хирургии у нас в стране. В настоящее время исследования по биосовместимым нанокompозитам развиваются в мире очень динамично и перспективны для применения в области биомедицинского материаловедения;

– материалы с улучшенными функциональными характеристиками: свойства, применение, перспективы.

Будут разработаны новые теоретические методы моделирования нано-композитных материалов и других функциональных материалов с улучшенными свойствами (сплавов с памятью формы различных составов, керамических и пр.); созданы рабочие модели, позволяющие прогнозировать эффективные свойства перспективных материалов в

зависимости от их структуры и состава и давать рекомендации для получения материала с заданными свойствами, разработаны научные основы получения новых материалов. Одним из центральных направлений проекта является создание новых численных схем расчета, позволяющих надежно предсказывать разрушение и фазовые превращения в сплошной среде.

Приоритетное направление «Конструкционная прочность и механика разрушения».

На современном этапе развитие механики разрушения, физики прочности, микро- и нано-структурных исследований механизмов деградации и разрушения конструкционных материалов, а также методов расчета физических, тепловых и механических полей позволяет выйти на новый уровень постановки и решения комплексных задач в области конструкционной прочности - задач, лежащих на стыке разных научных дисциплин. Комплексные междисциплинарные исследования наиболее востребованы в атомной энергетике, где конструкционные материалы атомных реакторов сильно деградируют под воздействием длительного нейтронного облучения, повышенных температур, что является их принципиальным отличием от большинства конструкций, для которых свойства материалов слабо изменяются со временем.

Традиционный подход к созданию конструкционных материалов позволяет (при соответствующей материаловедческой и технологической проработке) совершенствовать известные и создавать новые конструкционные материалы, удовлетворяющие возрастающим требованиям конструкторских разработок. Вместе с тем такой подход в материаловедении является явно недостаточным для сложных ответственных конструкций, работающих в экстремальных условиях эксплуатации, к которым относятся не только атомная энергетика, но и космическая, ракетная техника и другие. Для конструкционных материалов, используемых в таких ответственных конструкциях, требуется не только обеспечить заданные «исходные» свойства материала, но и учесть их изменения, вызванные деградацией материала в процессе эксплуатации. В настоящее время решение этой проблемы традиционными способами для современных конструкционных материалов, используемых в ответственных конструкциях, работающих в экстремальных условиях, признано явно недостаточным.

Это определяется несколькими обстоятельствами, среди которых, прежде всего, создание и использование в настоящее время для элементов конструкций ответственного назначения новых конструкционных материалов с разным уровнем структурной

дисперсности и гомогенности, включая структурно-гетерогенные материалы с ультрадисперсной и наноструктурой, а также необходимость прогнозирования расчетных характеристик материала с учетом их изменения при эксплуатационных воздействиях, таких, например, как нейтронное облучение и термическое старение.

Эффективная реализация этих путей развития требует проведения целого комплекса фундаментальных исследований и разработок, что и предлагается в рамках данного приоритетного направления (основного мероприятия) в виде семи взаимоувязанных проектов:

В России одну из ведущих позиций в области конструкционной прочности и механики разрушения занимает ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей». Направление «Материалы и вопросы безопасности энергетических установок» ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей» обеспечивает разработку новых конструкционных материалов (основных и сварочных), включая технологию их производства и контроля, в соответствии с Программой развития атомной отрасли.

Эффективная реализация этих направлений развития требует проведения целого комплекса фундаментальных исследований и разработок, что и предлагается в рамках данного приоритетного направления (основного мероприятия) в виде двух взаимоувязанных проектов:

- междисциплинарные исследования в области физики прочности и механики разрушения конструкционных материалов, формулировка на их основе критериев прочности и работоспособности элементов атомных реакторов различного типа, работающих в экстремальных условиях воздействия тепловых и нейтронных полей, жесткого электромагнитного излучения и агрессивных сред.

В данном проекте основная цель - обеспечение безопасности АЭС и снижение риска техногенных катастроф определяет главную задачу механики и физики конструкционных материалов - адекватное прогнозирование расчетных характеристик прочности, изменяющихся при эксплуатационных воздействиях. Постановка и реализация междисциплинарных исследований позволит успешно решать наиболее острые проблемы в области конструкционной прочности оборудования АЭС с традиционными и перспективными реакторами;

- разработка инновационных принципов создания конструкционных материалов с заданными свойствами с учетом механизмов их повреждения и деградации при сверхвысоких дозах облучения для внутрикорпусных устройств (ВКУ) и оболочек твэлов

перспективных реакторов на тепловых и быстрых нейтронах с водяным, жидкометаллическим и газовым теплоносителями.

Эта новая для классического материаловедения задача может быть решена только при комплексном подходе совместными усилиями специалистов в области прочности, физики металлов, материаловедения, технологии производства конструкционных материалов, а также специалистов конструкторских институтов. Разработка инновационных принципов создания конструкционных материалов с учетом механизмов их повреждения и деградации позволит, прежде всего, успешно решить острые проблемы в области создания новых материалов для атомной энергетики, в первую очередь, материалов для ВКУ и оболочек твэлов для традиционных реакторов на тепловых и быстрых нейтронах с водяным и натриевым теплоносителями.

Создание конструкционных материалов с учетом механизмов их повреждения и деградации позволит также решить насущную проблему реализации проектов перспективных реакторов с жидкометаллическими теплоносителями (свинец, свинец-висмут), что в настоящее время сдерживается проблемой отсутствия требуемых материалов. Очевидно также, что разработанные инновационные принципы создания конструкционных материалов не только на основе прямой связи «проектная конструкция – исходный материал», но и с учетом обратной связи «материал в процессе эксплуатации – ресурс конструкции» будут широко востребованы и в других передовых технологиях.

Целесообразность проведения теоретических, расчетных и экспериментальных исследований в указанных выше приоритетных направлениях в Петербурге, в том числе, специалистами ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей», обусловлена как их лидирующим положением среди европейских коллективов и специалистов, работающих в данной области, так и теми обстоятельствами, что данные исследования являются фундаментальной основой для обеспечения безопасности различных ответственных конструкций, работающих в экстремальных условиях, и снижения риска техногенных катастроф.

Выбранные перспективные направления открывают возможности для тесного взаимодействия как с производственными, так и с научными и научно-образовательными организациями. К числу первых относятся судостроительные, энергетические, машиностроительные и металлургические предприятия, такие как ОАО «Судостроительный завод «Северная верфь», ОАО «Балтийский завод», ОАО «Адмиралтейские верфи», ОАО «Средне-Невский судостроительный завод», ОАО «Пролетарский завод», ОАО «Ижорские заводы», проектные организации, такие как ОАО

ЦМКБ «Алмаз», ОАО ЦКБ «Рубин», «Невское ПКБ», «Северное ПКБ», ЗАО «Диаконт». Взаимодействие с научно-образовательными организациями реализуется, в частности, посредством научно-образовательных центров «Новые материалы и современные технологии их получения» и «Конструкционные и функциональные материалы», взаимодействующих с СПбГМТУ, СПбПУ и др.

Приоритетное направление «Экстремальные состояния материалов и конструкций. Разрушение и структурные превращения в сплошных средах»

Поиск и создание новых конструкционных материалов, которые в период эксплуатации могут испытывать динамические нагрузки высокой интенсивности является одной из важнейших задач. Изучение подобного рода процессов связано с большими трудностями в связи с их скоротечностью. Изучение процессов, возникающих в сплошных средах при экстремальных динамических условиях, имеет большое значение как для фундаментальной науки, так и для развития современных промышленных технологий.

В рамках данного направления развиваются две темы.

1) Динамика структурных превращений в сплошных средах при экстремальных воздействиях техногенного и природного характера.

Создание экспериментально-аналитического аппарата прогнозирования поведения твердых тел в условиях высокоскоростной деформации обеспечивает качественно новые возможности при фундаментальных и прикладных исследованиях в экспериментальной механике и физике твердого тела, конструировании новых объектов авиационной, космической и военной техники, теплоэнергетике, машиностроении, при разработке технологий получения новых конструкционных материалов с повышенными физико-механическими характеристиками за счет управления их гетерогенной структурой на нано-, мезо- и макроуровнях. Основную роль при рассмотрении динамики скоростного взаимодействия играют инкубационные процессы, отражающие специфику микроизменений в структуре материала. Поэтому одним из новых подходов является введение новой системы определяющих параметров, инвариантных к способу и истории нагружения. Теория динамического деформирования разрушения, которая развивается в рамках нового направления, позволяет рассчитывать предельные термомеханические нагрузки, а также скоростные зависимости прочности и вязкости разрушения на основе инвариантной системы материальных констант.

2) Физико-химические аспекты предельных состояний и структурных превращений в сплошных средах, материалах и технических системах.

Данный проект посвящен решению проблемы предотвращения или использования технологического взрыва. Создание методик управления объектом, позволяющих избежать теплового взрыва во время технологического процесса, обеспечение термической безопасности реакционноопасных объектов путем математического моделирования, прогнозирования и оценки вероятности развития теплового взрыва.

В приложении к решению проблем северо-западного региона результаты исследований в области экстремальных состояний сплошных сред, материалов и конструкций позволят внести значимый вклад в развитие наукоемких отраслей экономики северо-западного региона РФ. Прежде всего:

- в решение проблем создания специализированных магистралей для высокоскоростного железнодорожного транспорта;

- решение проблемы образования колейности и сильного износа асфальтобетонного покрытия высокоскоростных автомобильных магистралей (КАД и ЗДС). Требуется научное обоснование высокого износа дорожного полотна, не связанное с качеством асфальтобитумной смеси, рекомендации по изменению состава смеси для снижения износа, разработка методик тестирования, учитывающих динамические свойства процесса нагружения, а также возможное создание новых ГОСТ по эксплуатации дорожного покрытия в северных регионах;

- для внедрения бескорпусных технологий и сложных монтажных элементов («сэндвичей») существует большой интерес к созданию комбинированных материалов полупроводник - диэлектрик с высоким электросопротивлением, при сохранении возможности отвода тепла от разогретых поверхностей;

- для решения проблем термической безопасности, актуальных и для Северо-Западного региона, научно-исследовательским и конструкторским организациям, работающими в области создания новых химических технологий и продуктов (ФГУП «РНЦ Прикладная химия» (Минобрнауки РФ), РФЯЦ-ВНИИЭФ (Росатом), ФБУ НТЦ ЯРБ (Ростехнадзор), ОАО ФНПЦ «Алтай» (Минпромторг), ФНПЦ НИИПХ (пиротехническая промышленность)) необходимо создать научно - методическую и нормативную базу; разработать эффективную технологию прогнозирования, предупреждения и снижения тяжести последствий аварий техногенного характера; вывести на отечественный рынок программно-методический комплекс для исследования термических опасностей; обеспечить методическую основу для подготовки кадров в области химической и термической безопасности.

Наряду с этим, в ходе выполнения работ в рамках госзадания в 2020 г. в результате углубленного изучения современного состояния научно-технического потенциала в учреждениях Санкт-Петербурга по приоритетному направлению «Конструкционная прочность и механика разрушения» выявлено, обосновано и представлено дополнительное предложение – мероприятие (проект), который не были включен ранее в раздел 3 Программы перспективных фундаментальных научно-исследовательских работ на период до 2030 года, а именно проект «Разработка методов расчета прочности материалов и ресурса оборудования арктических шельфовых и глубоководных конструкций для освоения углеводородных месторождений шельфа России и оборудования для производства и транспортировки сжиженных газов».

Говоря об актуальности разработки методов расчета прочности материалов и ресурса оборудования арктических шельфовых и глубоководных конструкций, необходимо отметить следующее. Инженерные подходы, используемые в методах расчета прочности, работоспособности и ресурса указанного оборудования, используют в основном подходы, разработанные для неструктурированной сплошной среды в рамках механики деформируемого твердого тела и механики разрушения. Эти инженерные подходы хорошо проверены в практике расчетов для традиционных конструкционных материалов, которые могут быть адекватно схематизированы в виде бесструктурного континуума. Однако в настоящее время наблюдается существенный прогресс в области создания конструкционных материалов с разным уровнем структурной дисперсности и гомогенности, включая структурно-гетерогенные материалы с ультрадисперсной и наноструктурой. Методы прогнозирования прочности и долговечности таких конструкционных материалов практически не развиты и, соответственно, инженерные методы расчета прочности изготовленного из таких материалов оборудования могут быть неадекватны и требуют уточнения.

Вместе с тем, задачи механики деформируемого твердого тела и механики разрушения для структурированного континуума вполне успешно решены и решаются в рамках глобального и локального подходов в механике кристаллических твердых тел. Таким образом, наблюдается разрыв между академическими подходами и инженерным приложениями, - разрыв, который может и должен быть сокращен, что даст импульс развития как академической школы, так прикладных направлений.

Сформулированное выше перспективное направление призвано сократить этот разрыв между академическими подходами и инженерными методами расчета прочности и

ресурса оборудования арктического и глубоководных исполнения и оборудования для производства и транспортировки сжиженных газов.

Постановка исследований в данном направлении в Санкт-Петербурге обусловлена, с одной стороны, ведущим положением Санкт-Петербургской школы механиков, с другой стороны – развитой научной и промышленной инфраструктурой в области разработки, производства и эксплуатации материалов и оборудования арктических шельфовых и глубоководных конструкций для освоения углеводородных месторождений шельфа России.

Целесообразность проведения теоретических, расчетных и экспериментальных исследований в указанном направлении в Петербурге, в том числе, специалистами ЦНИИ КМ «Прометей», обусловлена как их лидирующим положением среди европейских коллективов и специалистов, работающих в данной области, так и теми обстоятельствами, что данные исследования являются фундаментальной основой для обеспечения безопасности различных ответственных конструкций, работающих в экстремальных условиях, и снижения риска техногенных катастроф.

Наряду с этим, в ходе выполнения работ в рамках госзадания в 2020 г. по изучению развития научного потенциала в учреждениях Петербурга в междисциплинарной области создания новых материалов, проведенных в целях углубления и систематизации тематики выявлено, обосновано и представлено новое приоритетное направление:

«Математическое и компьютерное моделирование и конструирование новых материалов (продуктов) и технологий (процессов)»

В материаловедческой науке и технологической практике получения новых материалов стремительно развивается новое направление – математическое и компьютерное конструирование новых продуктов и технологий. Вопросы методологии математического и компьютерного моделирования, конструирования новых материалов, в том числе и наноструктурированных материалов с заданными свойствами, развития суперкомпьютеров и программного инструментария для решения задач вычислительного материаловедения являются актуальными и требуют научного и технологического осмысления. С их помощью станет возможным моделировать процессы роста, агрегации, самосборки и самоорганизации наноматериалов, обеспечивая требуемую структуру и характеристики при использовании минимального числа реальных экспериментов. К важнейшим вопросам относится вопрос создания национальных программных российских кодов в области математического моделирования и решения задач численного и

имитационного моделирования. В этом перечне и разработка математических моделей применительно к аддитивным технологиям. Необходимо решить вопросы предоставления исходных данных, построения математических моделей, разработки алгоритмов программ для параллельных вычислений, проверки достоверности полученных данных, их верификация и валидация. В настоящее время имеется пример успешной кооперации между ВИАМ и институтами РАН по использованию цифровых технологий при разработке металлических и керамических композиционных материалов. Интенсивно развивается это направление в СПбПУ Петра Великого и в ЦНИИ КМ «Прометей» им. И.В. Горынина.

Другой важной задачей является разработка математических моделей, описывающих и прогнозирующих разрушение полимерных и металлических композиционных материалов. Решение этой задачи имеет принципиальное значение при разработке материалов нового поколения, прогнозирования их срока службы, а также их применения в составе конструкций. Для решения этих вопросов необходимы междисциплинарные исследования в названном направлении с участием специалистов различных областей знания - материаловедов, химиков, программистов и математиков.

В ИВС РАН созданы и действуют лаборатория «Теории и моделирования полимерных систем». Профиль лаборатории - статистическая механика и динамика сложных полимерных систем. В лаборатории ведутся исследования по следующим направлениям:

- теория и компьютерное моделирование разветвленных макромолекул и полимерных щёток;
- самоорганизация амфифильных блоксополимеров;
- теория и моделирование механических свойств отдельных полимерных и биополимерных молекул;
- влияние меж- и внутримолекулярных взаимодействий на структуру и подвижность сверхразветвленных полиэлектролитов и их комплексов;
- структура и динамика линейных и разветвленных полипептидов и полисахаридов;
- компьютерное моделирование сложных биополимерных систем;
- теория и моделирование динамических свойств сетчатых и древовидных полимерных систем Структурные изменения при фазовых переходах в жесткоцепных гетероциклических полиэлектролитах;
- компьютерное моделирование органо-неорганических композитов для биомедицинских применений;

– многомасштабное моделирование термопластичных полиимидов и нанокompозитов на их основе.

Лаборатория «Многомасштабного экспериментального исследования и моделирования полимерных композитов на основе перспективных термопластов для промышленного применения». Лаборатория создана в рамках мегагранта Правительства РФ (2014 г., договор №14.Z50.31.0002). Руководителем лаборатории № 22 является ведущий европейский ученый, профессор Хосе Кенни (Jose Kenny), заведующий лабораторией Университета г. Перуджи, Италия, и директор Европейского центра наноструктурированных полимеров (ECNP), г. Мадрид, Испания. Профиль лаборатории - многомасштабное экспериментальное исследование и моделирование полимерных композитов на основе перспективных термопластов для промышленного применения».

В лаборатории проводятся исследования по следующим направлениям:

- модификация полимерных матриц композитных материалов введением в них наночастиц для создания нанокompозитов со структурой, управляемой нанопополнителями;
- многомасштабное компьютерное моделирование структуры и динамических свойств материалов, поиск связи химической структуры компонентов нанокompозитов и свойств конечных материалов;
- экспериментальное изучение структуры и свойств нанокompозитных материалов, сравнение результатов эксперимента и многомасштабного компьютерного моделирования.

Лаборатория «Полимерных биоматериалов и систем». Лаборатория создана в рамках мегагранта Правительства РФ (договор № 14.W03.31.0014 от 6 марта 2017 года). Руководителем лаборатории № 23 является ведущий ученый, профессор Микко Карттунен (Mikko Karttunen), Кафедра химии и прикладной математики, Университет Западного Онтарио, Лондон, Канада. Профиль лаборатории - разработка новых бионанокompозитных материалов с использованием методов многомасштабного компьютерного моделирования для прогнозирования их свойств и структуры, проведение комплексных химических и физических экспериментов для получения и оптимизации конечных продуктов. Направления исследований лаборатории:

- разработка новых феноменологических моделей высокоэффективных полимерных материалов с использованием современных аналитических и вычислительных методов;

- создание и оптимизация методологического подхода к синтезу бионанокompозитных материалов на основе химически модифицированной бактериальной целлюлозы и полиэфигов: полимолочная кислота, полигидрооксибутират, поликапролактон;

- верификация и калибровка методов получения материалов с помощью соответствующих комплексных химических и физических экспериментов;

- разработка и оптимизация биоразлагаемых и биосовместимых полимерных материалов с химически модифицированной поверхностью, в первую очередь, бионанокompозитов для высокотехнологичных экологически безопасных промышленных и биомедицинских применений;

- разработки инновационных промышленных технологий, в первую очередь, в области создания новых материалов для биосовместимой 3D-печати, экологически чистой упаковки, тканевой инженерии и раневых покрытий.

Суммируя результаты проведенных исследований и исходя из международных трендов развития в данной области и принимая во внимание научный потенциал Санкт-Петербурга, можно назвать следующие приоритеты развития в регионе:

- прогнозирование физических свойств композиционных материалов на основе многомасштабного компьютерного моделирования,

- многомасштабное компьютерное моделирование и процессы производства композиционных материалов,

- новые полимерные связующие как основа композиционных материалов с улучшенными эксплуатационными свойствами,

- наночастицы и нанотехнологии в современном материаловедении.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Горынин И.В. Размышления с оптимизмом. СПб.: Изд-во «СПбПУ», 2014, 525 с.
2. Перспективные направления развития науки в Петербурге/отв. ред. Ж.И. Алферов – СПб. Изд-во: «Пермяков С.А.», 542 с.
3. Аганбегян А.Г. Уроки кризиса: России нужна модернизация и инновационная экономика // ЭКО. 2010. №1. С. 34—60.
4. Розанова Л.И., Тишков С.В. Инновационная модернизация экономики России: потенциал, вызовы, возможности // Теоретическая и прикладная экономика. 2019. № 2. С.55-70. DOI: 10.25136/2409
5. Прогноз научно-технологического развития России:2030. Новые материалы и нанотехнологии/под ред. Л.М. Гохберга, А.Б. Ярославцева. - Москва: Минобрнауки РФ, НИУ ВШЭ, 2014.-52с. URL: https://e-notabene.ru/etc/article_26327.html.
- 6 Стратегия научно-технологического развития РФ на период до 2030 г., утверждена Указом Президента от 1 декабря 2016 г. № 642.
7. Крюков С.В. Форсайт от прогноза к формированию будущего// Terra Economicus, 2010, Том 8, № 3, Часть 2, 130250.
8. Заверский С.М., Киселева Е.Р., Кононова В. Ю. и др. Стратегическое планирование развития экономики: мировой опыт и выводы для России //Вестник ИЭ РАН, №2, 2016, с.22-40.
9. Гавриленко В.А. Композиты 21 века: возможности и реальность// Neftegaz.RU, №2, 2019, с.30-34.
10. Тропп Э.А. Научный потенциал Петербурга: когнитивный аспект// Инновации, №02 (100), 2007, с.28-32.
11. Указ Президента РФ от 22.06.1993 №939 «О государственных научных центрах РФ».
12. Комитет по науке и высшей школе Петербурга. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.knvsh.gov.spb.ru>
13. Наука и инновации Санкт-Петербурга в 2017 году. Статистический сборник. Исх. №ВС -230/872 от 26.10.2018. Санкт-Петербург, СПб.: Из-во «Петростат», 2018 г. 69 с.

14. Министерство науки и высшего образования. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: minobrnauki.gov.ru
15. Проект 5-100. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.5stop100.ru>
16. Ассоциация кластеров и технопарков РФ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.akitrf.ru>
17. Каталог центров коллективного пользования научным оборудованием. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ckp-rf.ru>
18. Центры компетенций НТИ на базе вузов и научных организаций. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.rvc.ru>
19. Промышленность и инновации Санкт-Петербурга, 2018. Справочник. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.cppi.gov.spb.ru>
20. Горынин И.В. Конструкционные материалы – важный элемент надежности и экологической безопасности инфраструктуры Арктики //Арктика: экология и экономика. 2015, 3(19), с.82-87. DOI 10.25283/2223-4594.
21. Горынин И.В. Исследования и разработки ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей» в области конструкционных наноматериалов, 2007.Электронный ресурс – Режим доступа: RNN <http://www.rusnanonet.ru/articles/12841>.
22. Список научных и научно-педагогических школ Санкт-Петербурга, включенных в реестр ведущих научных и научно-педагогических школ Санкт-Петербурга. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.knvsh.gov.spb.ru>
23. Российский научный фонд. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rscf.ru>
24. Журнал «Вопросы материаловедения»
25. Bratov V., Petrov Yu., Semenov B., Darienko I. Modeling the high-speed train induced dynamic response of railway embankment // Materials Physics and Mechanics. 2015, V.22. N 1, С. 69-77.
26. Thomson ISI Journal Citation Reports, 2018.
27. Показатели научной результативности. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.imash.ru> (дата обращения 11 июля 2020).
28. QS World University Ranking – Education index [Электронный ресурс].- Режим доступа: <https://www.topuniversities.com/university-rankings/world-university-rankings/2021>.
29. THE World University Ranking – Education index. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.thewur.com/> 2021.

30. Постановление Правительства РФ от 18 апреля 2016 г. №317 «О реализации Национальной технологической инициативы».

Выводы и апробация результатов исследования

Одной из ключевых задач настоящего времени является задача повышения конкурентоспособности национальной экономики, при этом все большее значение в этом процессе уделяется повышению роли регионов, делегированию им ключевого вклада в становление, развитие и воспроизводство инновационного процесса. Данная работа посвящена исследованию проблемы формирования и развития научного потенциала как основного элемента инновационного развития региона на примере субъекта РФ – города Санкт-Петербурга. Охарактеризовано текущее состояние научно-технического кластера Санкт-Петербурга, показано, что Санкт-Петербург является одним из основных центров создания и использования конструкционных материалов в стране. Санкт-Петербург располагает уникальными возможностями для научных исследований и разработок в области создания новых материалов и процессов. Основным конкурентным преимуществом Петербурга является высокий уровень развития научного и кадрового потенциала. Актуализировано современное состояние научного потенциала основных ведущих научных центров Санкт-Петербурга, проводящих исследования и разработки в междисциплинарной области – материаловедение, механика, прочность в деле создания новых материалов и процессов по приоритетным междисциплинарным направлениям: нанокompозиты и покрытия, механосинтез, конструкционная прочность и механика разрушения, предельные состояния и структурные превращения в сплошных средах, материалах и пр.

Область применения результатов и рекомендации по их внедрению – результаты могут быть использованы при формировании (корректировке) национального проекта «Наука», а также государственной программы Санкт-Петербурга по развитию науки на среднесрочный период.

В 2020 году апробация проведенных исследований в междисциплинарной области «Материаловедение, механика, прочность» проходила в рамках международных, российских междисциплинарных научных конференций, научных семинаров, тематических заседаний Объединенного научного совета по проблемам материаловедения, механики, прочности и его структурных подразделений при СПНЦ РАН, на которых выступали руководители приоритетных направлений и руководители конкретных проектов раздела 3 Программы.:

Организованы и проведены международные научные мероприятия, научные семинары и заседания Совета:

1) В Малом зале СПб НЦ РАН 18 февраля 2020 года в рамках проекта «Физико-химические аспекты предельных состояний и структурных превращений в сплошных средах, материалах и технических системах» проведено заседание структурного подразделения Объединенного совета - Научного совета по горению и взрыву, посвященное обсуждению целого ряда примеров экспериментального подтверждения результатов моделирования теплового взрыва; обсуждена также представленная концепция термодинамического совершенствования энергопреобразующих систем.

2) В Малом зале СПб НЦ РАН 17 марта 2020 г. в рамках того же проекта проведено заседание Научного семинара по проблемам горения и взрыва, посвященное комплексному рассмотрению проблемы создания экологичных методов получения пожаротушающих средств нового поколения.

3) Участие в организации и проведении в июне 2020 года в Санкт-Петербурге XLVIII International Summer School-Conference “Advanced Problems in Mechanics - APM-2020 ONLINE”, St. Petersburg, Russia совместно с СПбПУ Петра Великого, ИПМаш РАН, СПбГУ в режиме on line на площадке СПбПУ Петра Великого. СПб Научный центр входит в число организаторов конференции. Основное внимание на конференции уделено изучению междисциплинарных проблем на стыках между современной механикой и другими областями научных исследований, что стимулирует исследования в таких областях, как микро- мезо и наномеханика, материаловедение, физика твердого тела, молекулярная физика, астрофизика и многие другие, в том числе и решение проблем нефтегазовой отрасли. The conference “Advanced Problems in Mechanics” helps us to maintain the existing contacts and to establish new ones between foreign and Russian scientists. На конференции прочитаны известными учеными пленарные лекции, проведено 10 мини симпозиумов в актуальных областях и целый ряд кратких сообщений.

4) В Малом зале СПб НЦ РАН 20 октября 2020 проведено заседание Объединенного научного совета, посвященное различным аспектам физики, химии, механики предельных состояний и структурных превращений в материалах и сплошных средах.

5) Заседание Научного семинара, 17 ноября 2020 г. online, посвященное проблемам моделирования экологически опасных ситуаций.

Результаты проведенных исследований отражены в публикациях:

1) Пименова Т.Ф. Формирование и развитие научного потенциала как основного фактора инновационного развития региона. СПб., Изд-во СПбГЭУ, 2020.

4 Исследования по направлению физико-математических наук

Стратегия развития научного потенциала Санкт-Петербурга в области физико-математических наук до 2030 г. основана на поддержке фундаментальных исследований бюджетными средствами организаций-исполнителей и государственными целевыми программами.

Подпрограмма Фундаментальных научных исследований СПбНЦ РАН направлена на развитие и поддержку исследований, успешно ведущихся в научных организациях региона, отмеченных выдающимися результатами, находящимися на мировом уровне развития науки или определяющих этот уровень.

В области физико-математических наук выделено 8 направлений:

- 1) Математика
- 2) Астрономия и астрофизика
- 3) Физика элементарных частиц
- 4) Ядерная физика
- 5) Физика конденсированного состояния
- 6) Оптика и лазерная физика
- 7) Физика плазмы
- 8) Геофизика и радиофизика

Основные направления исследований, перспективные темы, основные результаты и достижения сведены в табл. 4.1.

Организации-исполнители, приведенные в табл. 4.1: Санкт-Петербургский государственный университет (СПбГУ), (ПОМИ), Главная астрономическая обсерватория (ГАО), Институт прикладной астрономии (ИПА), Физико-технический институт (ФТИ) им. А.Ф. Иоффе, (САО), Петербургский институт ядерной физики (ПИЯФ), Санкт-Петербургский государственный политехнический университет (СПбПУ) Петра Великого, (ВНИИМ), (ИТМО), Академический университет им. Ж.И. Алферова (АУ), Институт высокомолекулярных соединений (ИВС), ЛЭТИ.

Таблица 4.1 – Основные направления исследований, перспективные темы, основные результаты и достижения

№ п/п	Проект, тема исследования	Организации-исполнители	Основные результаты и достижения	Государственные целевые программы
1. Физико-математические науки				
1.1. Математика				
1.1.1.	Алгебра и теория чисел. Применение алгебро-геометрических, топологических и мотивных методов к решению классических проблем математики.	СПбГУ; ПОМИ	Развитие алгебро-геометрических, топологических и мотивных методов в применении к решению весьма трудных классических арифметических проблем, в частности, проблемы Барратта и Мура.	ФЦП Минобрнауки «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014—2020 годы» ФЦП Минобрнауки «Развитие образования»
1.1.2.	Математический и функциональный анализ. Исследования в области гармонического и комплексного анализа.	ПОМИ; Лаборатория им. Чебышева (СПбГУ)	Переход в области гармонического анализа от конкретных функциональных пространств и конкретных операторов к их классам и обобщениям, изучение пространств Лебега и Соболева с переменным показателем. Гармонический	ФЦП Минобрнауки «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-

	Систематическое использование методов гармонического анализа в теории функций нескольких комплексных переменных.		анализ на сфере, создание теории аппроксимации на сфере.	технологического комплекса России на 2014—2020 годы» ФЦП Минобрнауки «Развитие образования»
1.1.3.	Теория вероятностей и математическая статистика. Решение аналитических проблем теории вероятностей и математической статистики, применение аналитических методов при решении статистических задач.	СПбГУ; ПОМИ	Изучение асимптотических закономерностей, возникающих в задачах теории вероятностей и математической статистики Приложения аналитических методов в физике, биологии, вычислительной математике и других естественных науках.	ФЦП Минобрнауки «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014—2020 годы» ФЦП Минобрнауки «Развитие образования»
1.1.4.	Геометрия и топология. Исследование вопросов, связанных с дискретизацией римановых и	ПОМИ	Разработка и внедрение численных методов при решении геометрических проблем. Решения ключевых проблем, среди которых можно упомянуть гипотезы Новикова,	ФЦП Минобрнауки «Исследования и разработки по приоритетным направлениям

	<p>финслеровых многообразий посредством аппроксимации их сетями.</p> <p>Изучение связи крупномасштабной геометрии некомпактных пространств с геометрией их границ на бесконечности.</p> <p>Исследования по тропической геометрии, гомотопическим инвариантам и случайным блужданиям.</p>		<p>Конна-Баумана, Кэннона, теория гиперболических групп с приложениями к маломерной топологии, гипотеза Терстона о виртуализации и геометризации трехмерных многообразий.</p> <p>Решения классических проблем алгебраической геометрии над полями комплексных и вещественных чисел, построение вещественных алгебраических кривых с контролируемой топологией, и вычисления плоских инвариантов Громова — Виттена.</p>	<p>развития научно-технологического комплекса России на 2014—2020 годы»</p> <p>ФЦП Минобрнауки «Развитие образования»</p>
1.1.5.	<p>Уравнения математической физики и дифференциальные уравнения в частных производных.</p> <p>Изучение уравнений Навье-Стокса и их применимости для описания динамики вязкой несжимаемой жидкости при больших числах Рейнольдса.</p> <p>Получение апостериорных оценок для различных краевых и начально-краевых задач математической физики.</p>	СПбГУ; ПОМИ;	<p>Создание и развитие математического аппарата, позволяющего адекватно моделировать явления, наблюдаемые в жидких и газообразных средах, а также позволяющего проводить качественный анализ и расчет различных параметров и характеристик течений указанных сред.</p> <p>Вычисление расстояния между заданной функцией и точным решением соответствующей краевой задачи, имеющее исключительно важное значение для количественного анализа математических</p>	<p>ФЦП Минобрнауки «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014—2020 годы»</p> <p>ФЦП Минобрнауки «Развитие образования»</p>

			моделей, возникающих в естественных науках.	
1.1.6.	Теоретическая и математическая физика. Исследования в квантовой теории Янга-Миллса.	ПОМИ	<p>Развитие методов квантовой теории поля с использованием опыта решений точно интегрируемых моделей; развитие новых методов, позволяющих анализировать квантовые системы вне рамок обычной теории возмущений; развитие математического аппарата теории квантовых групп и её приложение к квантовому методу обратной задачи.</p> <p>Выяснение основных принципов, лежащих в основе обнаруженной дуальности между теорией калибровочных полей и теорией струн, в частности интегрируемости определенных классических и квантовых моделей, возникающих как со стороны теории поля, так и со стороны теории струн, а также изучение свойств представлений конечномерных и аффинных алгебр Ли, необходимых для исследования квантовых интегрируемых систем и топологических теорий поля.</p> <p>Вычисление корреляционных функций (функций Грина) квантовых интегрируемых моделей и описание их связей с</p>	<p>ФЦП Минобрнауки «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014—2020 годы»</p> <p>ФЦП Минобрнауки «Развитие образования»</p>

			классическими интегрируемыми системами, изучение связей корреляционных функций квантовых интегрируемых моделей с объектами комбинаторики, изучение интегрируемых моделей для описания явлений квантовой нелинейной оптики, изучение связи интегрируемых спиновых цепочек с R-матрицами и изучение уравнения Янга-Бакстера.	
1.1.7.	Теоретическая информатика. Теория сложности алгоритмов, теория схемной сложности, теория сложности вычислений, исследования комбинаторных структур и исследования по теории графов.	ПОМИ	Разработка методов автоматического доказательства верхних оценок для алгоритмов, работающих методом расщепления, новых алгоритмов и оценок сложности для задачи максимальной выполнимости, задачи о максимальном разрезе, задаче о кратчайшей общей надстроке. Новые верхние оценки на DPLL-алгоритмы для задачи выполнимости, улучшающие предыдущие рекордные значения и новые экспоненциальные нижние оценки на выполнимых формулах, которые на данный момент доказаны для ограниченных классов DPLL-алгоритмов. Оценки качества алгоритмов коммутации сетевых пакетов в ограниченном буфере.	ФЦП Минобрнауки «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014—2020 годы» ФЦП Минобрнауки «Развитие образования»

1.2. Астрономия и астрофизика.				
1.2.1.	<p>Физика и эволюция вырожденных звездных объектов (белых карликов и нейтронных звезд). Механизмы энерговыделения пульсаров, взрывных переменных, рентгеновских и гамма-барстеров, повторяющихся и космологических гамма-всплесков.</p> <p>Теоретические исследования внутренней структуры, процессов переноса, тепловой и магнитной эволюции нейтронных звезд.</p> <p>Исследования структуры течения плазмы в окрестности аккрецирующих нейтронных звезд, процессы генерации теплового и нетеплового излучения этих объектов и моделирование процессов ускорения частиц до высоких и сверхвысоких энергий в процессе вспышки сверхновой и гамма-всплесков.</p>	<p>ГАО;</p> <p>ИПА;</p> <p>ФТИ им. Иоффе</p>	<p>Построение модели магнито-левитационной аккреции на нейтронные звезды и черные дыры, объяснение происхождения, тепловой и магнито-ротационной эволюции пульсаров, разработка механизма энерговыделения барстеров и повторяющихся гамма-всплесков.</p> <p>Разработка и создание телескопов гамма-излучения высоких и сверхвысоких энергий космического и наземного базирования. Наблюдения космических источников высоких энергий на крупнейших рентгеновских, оптических и радиотелескопах.</p>	<p>ФЦП Минобрнауки «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014—2020 годы»</p>
1.2.2.	<p>Исследования активных ядер галактик и взаимодействия галактик.</p>	<p>СПбГУ;</p> <p>ГАО;</p>	<p>Изучение глобальной экосистемы галактики и проверка справедливости предположений, лежащих в основе современной модели галактической эволюции. Наблюдения и</p>	<p>ФЦП Минобрнауки «Исследования и разработки по приоритетным</p>

	Всеволоновая синхронная фотометрия, спектроскопия и поляриметрия в оптическом и радиодиапазонах, исследования релятивистских истечений вещества (джеты) из этих объектов вплоть до области их формирования.	ИПА; САО	интерпретация эволюции джетов из активных ядер галактик. Наблюдательная проверка и уточнение сценария взаимодействия галактик.	направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014—2020 годы»
1.2.3.	Исследование межзвездной среды, областей звездообразования и межзвездных молекулярных полос. Моделирование свойств межзвездной пыли, параметров молекулярных облаков и глобул повышенной плотности, являющихся очагами звездообразования. Спектросткопия межзвездных облаков с рекордным отношением сигнала к шуму.	ГАО; ИПА; СПбГУ; САО	Получение информации об эволюции Галактики от момента ее формирования до настоящего времени и построение сценария ее дальнейшего развития. Определение динамических характеристик Галактики, механизма формирования ее структуры и процессов звездообразования.	ФЦП Минобрнауки «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014—2020 годы»
1.3. Физика элементарных частиц.				
1.3.1.	Экспериментальные исследования и феноменологическое описание адронов и их сильных взаимодействий. Исследования спектроскопии адронов. Поиски и изучение экзотических (многокварковых,	ПИЯФ; СПбГУ; СПбГПУ	Углубление понимания свойств сильных взаимодействий и описывающей их квантовой хромодинамики (КХД). Выявление и моделирование тех следствий КХД, которые не поддаются пока прямым расчетам. Возможны приложения, например, к проблеме генерации космических лучей и их влияния на	ФЦП Минобрнауки «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического

	<p>гибридных и др.) адронов, исследование их свойств, взаимодействий и механизмов их рождения.</p> <p>Исследование жестких процессов с участием адронов. Изучение процессов рождения адронов с тяжелыми кварками, которые могут зондировать сильные взаимодействия на малых расстояниях; исследование механизмов этих процессов.</p> <p>Изучение поведения различных процессов и их характеристик (в том числе полные, неупругие и дифференциальные сечения, множественности, близкие и дальние корреляции вторичных адронов в неупругих реакциях, и др.) при высоких и сверхвысоких энергиях, с использованием как различных ускорителей, так и космических лучей.</p>		<p>процессы и объекты в космосе, к созданию атомных реакторов с запуском от ускорителя, и др.</p>	<p>комплекса России на 2014—2020 годы»</p> <p>ФЦП Росатома «Ядерные энерготехнологии нового поколения на период 2010-2015 гг. и на перспективу до 2020 года»</p>
1.3.2.	<p>Экспериментальные исследования и феноменологическое описание электромагнитных и слабых взаимодействий адронов и лептонов.</p> <p>Исследования электромагнитных свойств частиц, например, формфакторов и других характеристик.</p> <p>Извлечение радиусов адронов и выделение вкладов многофотонных обменов. Поиски проявлений</p>	<p>ПИЯФ, СПбГУ, СПбГПУ</p>	<p>Завершение формулировки Стандартной Модели взаимодействий элементарных частиц, уточнение ее параметров. Описание структуры необходимого для нее и лишь недавно открытого Хиггсовского сектора; понимание механизмов смешивания кварков и лептонов. Возможны приложения к физике космических лучей, к астрофизике (в частности, к описанию Солнца и сверхновых звезд), к дистанционному</p>	<p>ФЦП Минобрнауки «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России</p>

<p>электромагнитных взаимодействий нейтрино.</p> <p>Изучение слабых распадов, особенно для адронов с тяжелыми кварками.</p> <p>Изучение нарушения симметрий в слабых взаимодействиях, в особенности CP-нарушения. Поиски электрических дипольных моментов нейтрона и заряженных частиц (протона, электрона, мюона, и др.).</p> <p>Проверка сохранения CPT-инвариантности.</p> <p>Дальнейшее исследование механизма Энглера-Браута-Хиггса и недавно открытого бозона Хиггса. Поиски других Хиггсовских бозонов, нейтральных и заряженных, и изучение их свойств.</p> <p>Исследования различных проявлений нейтринных осцилляций. Поиски путей измерения абсолютных значений нейтринных масс, определения их иерархии, измерения CP-нарушения в смешивании нейтрино и в различных лептонных процессах. Поиски переходов между заряженными лептонами и/или нарушения их симметрии. Экспериментальные исследования с помощью нейтринных пучков от ускорителей и реакторов.</p>		<p>контролю атомных реакторов, к зондированию внутренности Земли, и др.</p>	<p>на 2014—2020 годы»</p> <p>ФЦП Росатома «Ядерные энерготехнологии нового поколения на период 2010-2015 гг. и на перспективу до 2020 года»</p>
--	--	---	---

	Исследования природных источников нейтрино (солнечные, атмосферные, космические). Поиски и исследования геонейтрино, порожденных радиоактивными элементами в толще Земли.			
1.3.3.	<p>Поиски явлений и изучение физики за пределами Стандартной Модели элементарных частиц.</p> <p>Выявление и исследование "пограничных" величин (процессов), которым Стандартная Модель предсказывает очень малые значения (вероятности) или даже запрещает их. Поиски нейтрон-антинейтронных переходов и/или распада протона. Поиски безнейтринных двойных бета-распадов и/или аналогичных процессов (например, двойных К-захватов). Поиски и изучение новых типов нейтрино, например, тяжелых и/или стерильных. Поиски суперсимметрии и связанных с ней частиц. Поиски новых промежуточных бозонов и других неожиданных частиц. Поиски "Великого Объединения" (с более</p>	<p>ПИЯФ;</p> <p>СПБГУ;</p> <p>СПБГПУ,</p> <p>ФТИ им. Иоффе</p>	<p>Выявление границ применимости Стандартной Модели. Определение возможных путей расширения ее или выхода за ее пределы.</p>	<p>ФЦП Минобрнауки «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014—2020 годы»</p> <p>ФЦП Росатома «Ядерные энерготехнологии нового поколения на период 2010-2015 гг. и на перспективу до 2020 года»</p>

	высокой симметрией, чем в Стандартной Модели). Поиски эффектов гравитации, классической и/или квантовой, в мире элементарных частиц. Прямые и косвенные поиски Темной Материи. Выяснение природы Темной Энергии.			
1.3.4.	Теоретические исследования возможностей описания микромира. Построение и исследование различных квантово-полевых и других моделей. Изучение роли размерности пространства, а также различных методов квантования и регуляризации. Суммирование рядов диаграмм Фейнмана и изучение их поведения в различных предельных случаях (в том числе, при высокой энергии). Выявление связей (дуальности) между различными моделями. Поиски путей описания конфайнмента в неабелевых калибровочных теориях.	ПИЯФ, СПбГУ, СПбГПУ	Выявление новых возможностей построения последовательной самосогласованной теории для описания свойств и взаимодействий элементарных частиц, Темной Материи и других объектов микромира.	ФЦП Минобрнауки «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014—2020 годы» ФЦП Минобрнауки «Развитие образования»
1.4. Ядерная физика				
1.4.1.	Изучение структуры атомных ядер. Прецизионные измерения масс и других характеристик ядер (времена жизни,	ПИЯФ, СПбГУ,	Определение верхней границы массы нейтрино с точностью лучше 10 эВ. Углубление понимания структуры ядер при	ФЦП Минобрнауки «Исследования и разработки по

	<p>свойства возбужденных состояний, вероятности переходов, распределение ядерной материи и т.п.). Исследования ядер вдали от полосы стабильности. Изучение влияния ядерной среды на свойства нуклонов и других адронов внутри ядра.</p> <p>Развитие оболочечной и коллективных моделей описания атомных ядер, микроскопического описания коллективных степеней свободы и их взаимодействия с одночастичными степенями свободы. Экспериментальное и теоретическое изучение свойств адронных атомов и мезоатомов.</p> <p>Влияние ядерной сверхтекучести на свойства ядер, в том числе сверхтяжелых и удаленных от полосы стабильности.</p> <p>Изучение симметрии и хаоса в ядерной физике.</p> <p>Поиски и изучение "неканонических" ядер (гиперядра и т.п.). Поиски ненуклонных степеней свободы в ядрах.</p> <p>Изучение динамики короткодействия в ядрах.</p> <p>Расчеты и измерения ядерных характеристик, важных для других разделов физики (астрофизические превращения ядер, ядерные матричные</p>	<p>СПбГПУ, ФТИ, ВНИИМ</p>	<p>малых энергиях как систем взаимодействующих нуклонов (и, возможно, других адронов). Возможные приложения к астрофизике (нуклеосинтез, энергетические циклы звезд, структура и свойства нейтронных звезд, процессы в сверхновых, и т.п.), к энергетике (например, создание атомных реакторов, инициируемых пучком ускорителя), и др.</p> <p>Установление границ островов и полуостровов стабильности атомных ядер за границами полосы стабильности.</p> <p>Повышение точности и предсказательной силы теоретического описания свойств атомных ядер. Разработка на основе ядерной физики критерия квантовой хаотичности и поиск квантового хаоса в других квантовомеханических системах.</p>	<p>приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014—2020 годы»</p> <p>ФЦП Росатома «Ядерные энерготехнологии нового поколения на период 2010-2015 гг. и на перспективу до 2020 года»</p> <p>ФЦП Росатома «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016-2020 годы и на период до 2030 года»</p>
--	---	-----------------------------------	---	--

	элементы в одиночных и двойных бета-распадах, и т.д.).			
1.4.2..	<p>Изучение горячей ядерной материи. Участие в экспериментах по взаимодействию ядер (или отдельных адронов) с ядрами при высоких и сверхвысоких энергиях, на ускорительных установках (в частности, на больших коллайдерах) или с использованием космических лучей. Детальное изучение свойств конечного состояния при таких взаимодействиях (множественности, струи, флейворный состав, угловые распределения и др.) и их зависимости от параметров начального состояния.</p>	<p>ПИЯФ, СПбГУ, СПбГПУ</p>	<p>Развитие представлений о ядрах (и даже отдельных нуклонах) как сгустках новой формы материи - горячей ядерной жидкости. Выяснение свойств этой жидкости при сверхвысоких давлениях и температурах. Развитие методов квантовой статистики для описания горячих ядер. Возможные приложения, например, к астрофизике, в частности, для описания свойств Вселенной на ранней стадии ее развития после Большого Взрыва.</p>	<p>ФЦП Минобрнауки «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014—2020 годы»</p> <p>ФЦП Росатома «Ядерные энерготехнологии нового поколения на период 2010-2015 гг. и на перспективу до 2020 года»</p> <p>ФЦП Росатома «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016-2020 годы и</p>

				на период до 2030 года»
1.4.3.	<p>Исследования ядерных реакций и процессов деления в широком диапазоне энергий и масс. Поиски и изучение корреляций вторичных частиц при спонтанном и/или инициированном расщеплении (делении) ядер. Исследование подпорогового рождения адронов на ядрах. Изучение глубоко-неупругого рассеяния на ядрах, в особенности, в кинематически "запрещенной" области $x > 1$.</p> <p>Получение и использование ускоренных пучков нестабильных ядер, в том числе для ядерно-спектроскопических исследований.</p> <p>Изучение свойств нейтроноизбыточных ядер в реакциях с легкими и тяжелыми (в том числе нейтроноизбыточными) ионами.</p> <p>Изучение реакций, важных для астрофизических исследований.</p> <p>Изучения механизмов взаимодействия ядер в условиях первичного нуклеосинтеза и проверки существующих на сегодняшний день сценариев нуклеосинтеза. Развитие моделей, позволяющих описывать низколежащие подбарьерные</p>	<p>СПбГУ;</p> <p>ФТИ им. Иоффе,</p> <p>ПИЯФ;</p> <p>Радиевый институт;</p> <p>СПбНЦ РАН</p>	<p>Определение механизмов и динамики реакций с нуклонами и атомными ядрами (в том числе нестабильными). Определение слабой нейтральной константы из асимметрии в реакции поляризованных холодных нейтронов на легких ядрах. Новые теоретические и экспериментальные данные о сечениях образования нейтроноизбыточных изотопов Th, U и Pu и их делительных характеристиках.</p> <p>Построение моделей для предсказания свойств новых нейтроноизбыточных нуклидов, делительных характеристик и сечений образования нейтроноизбыточных нуклидов в реакциях многонуклонных передач.</p> <p>Вычисление выходов реакций, имеющих приложение к астрофизическим задачам с применением модифицированных моделей для описания прямых реакций. Улучшение описания звездного нуклеосинтеза, включая проблемные области (нейтронодефицитные ядра, изотопические метеоритные аномалии, ограничения на массу элементов для г-</p>	<p>ФЦП Минобрнауки «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014—2020 годы»</p> <p>ФЦП Росатома «Ядерные энерготехнологии нового поколения на период 2010-2015 гг. и на перспективу до 2020 года»</p> <p>ФЦП Росатома «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016-2020 годы и</p>

	резонансы, ядерные реакции, протекающие при низких и сверхнизких энергиях.		процессов). Определение положений подбарьерных резонансов для легких ядер. Определение спектроскопических факторов и асимптотических нормализационных коэффициентов для изучаемых реакций.	на период до 2030 года»
1.4.4.	<p>Применение ядерно-физических методов для решения фундаментальных и прикладных задач в смежных областях.</p> <p>Применение статистических методов, развитых в ядерной физике, к системам нано-размера. Рентгеновская и гамма-спектроскопия термоядерной плазмы. Создание таблиц и баз данных свойств радионуклидов, создание справочников оценённых данных.</p> <p>Изучение дифракции излучений, электронов и нейтронов в кристаллах и разработка кристалл-дифракционных методов исследования. Исследование эффектов каналирования элементарных частиц в кристаллах.</p> <p>Применение ядерно-физических методов в медицине (исследование циклотронных и реакторных методов получения медицинских радионуклидов, развитие методов адронной терапии, медицинской радиографии). Нейтронные</p>	<p>СПбГУ, ФТИ им. Иоффе, Радиевый институт, ПИЯФ, ВНИИМ; СПбНЦ РАН</p>	<p>Описание термодинамических свойств нано-систем, в том числе возможности возникновения в них высокотемпературной сверхпроводимости. Разработка методов детектирования состояния плазмы в установках типа «Токамак».</p> <p>Постоянно обновляемые базы данных и таблицы свойств радионуклидов.</p> <p>Создание кристалл-дифракционных спектрометров с более высокими характеристиками. Разработка новых методов получения радиофармпрепаратов и новых методов диагностики и лечения заболеваний.</p> <p>Исследования на реакторе ПИК позволят нейтронными методами изучить кристаллическую структуру материалов, атомную динамику, магнитные явления и фазовые переходы в конденсированных средах, процессы в жидкостях и аморфных</p>	<p>ФЦП Минобрнауки «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014—2020 годы»</p> <p>ФЦП Росатома «Ядерные энерготехнологии нового поколения на период 2010-2015 гг. и на перспективу до 2020 года»</p> <p>ФЦП Росатома «Обеспечение ядерной и</p>

	исследования конденсированных сред на реакторе ПИК.		веществах, свойства полимеров, поверхностей, атомных кластеров и наноструктур, биологических объектов на молекулярном уровне. Приложение нейтронных методов к задачам в области материаловедения, экологии и радиационной физики.	радиационной безопасности на 2016-2020 годы и на период до 2030 года»
1.4.5.	Исследования проблем ядерной энергетики. Ядерные технологии. Расчеты и измерения ядерных констант и физико-химических свойств для жидкосолевого реактора, управляемого ускорителем заряженных частиц. Изучение сходства и различия свойств веществ, выстроенных из элементов разного изотопного состава: исследование особенностей процессов переноса и диссипации энергии электронных возбужденных состояний в смешанных системах, содержащих состояния, подчиняющиеся статистикам Бозе-Эйнштейна и Ферми-Дирака; изучение возможных запретов на перенос энергии, обусловленных сверхтонкими взаимодействиями, в средах, содержащих элементы разного изотопного состава.	Радиевый институт	Разработка концепции гибридного жидкосолевого реактора, управляемого ускорителем заряженных частиц. Изучение первичных фотофизических процессов в средах с разным изотопным составом дает возможность проектирования последующих химических процессов, т.е. фотохимических реакций, с целью осуществления макроскопического разделения изотопов.	ФЦП Минобрнауки «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014—2020 годы» ФЦП Росатома «Ядерные энерготехнологии нового поколения на период 2010-2015 гг. и на перспективу до 2020 года»

				ФЦП Росатома «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016-2020 годы и на период до 2030 года»
1.5. Физика конденсированного состояния.				
1.5.1.	Физика полупроводников и полупроводниковых гетероструктур. Создание полупроводниковых гетероструктур и исследование их физических свойств.	ФТИ им. А.Ф. Иоффе, СПбГУ, СПбГПУ, НИУ ИТМО, АУ НОЦ НТ	Создание полупроводниковых структур с заданными физическими свойствами. Открытие новых оптических и транспортных эффектов.	ФЦП Минобрнауки «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно- технологического комплекса России на 2014—2020 годы»
1.5.2.	Физика твердотельных наносистем. Получение нанообъектов и изучение их физических свойств.	АУ НОЦНТ, ФТИ им. А.Ф. Иоффе,	Создание наноматериалов и наноструктур. Обнаружение новых физических эффектов, обусловленных нанометровыми размерами системы.	ФЦП Минобрнауки «Исследования и разработки по приоритетным направлениям

		ИВС		развития научно-технологического комплекса России на 2014—2020 годы»
1.5.3.	Магнетизм и спинтроника. Управление спинами и намагниченностью в конденсированных средах. Создание магнитных материалов.	ФТИ им. А.Ф. Иоффе, СПбГУ, НИУ ИТМО, ПИЯФ	Демонстрация возможности управления спиновыми и магнитными свойствами конденсированных сред оптическими, магнитными и электрическими способами.	ФЦП Минобрнауки «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014—2020 годы»
1.6. Оптика и лазерная физика.				
1.6.1.	Солнечная энергетика. Разработка и исследование кремниевых и концентраторных солнечных элементов на основе гетероструктур A^3B^5	ФТИ им. Иоффе,	Достижение КПД >45% концентраторных солнечных элементов и срока службы космических батарей >20 лет на геосинхронных орбитах за счет создание новых типов квантово-размерных гетероструктур с увеличенным (до 4-5) числом p-n переходов и создания гетероструктур со множественными Бреговскими отражателями для повышения КПД и радиационной стойкости	ФЦП Минобрнауки «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России

			космических солнечных элементов. Достижение КПД >20% кремниевых солнечных элементов за счет разработки технологий НИТ (Heterojunction with Intrinsic Thin Layer).	на 2014—2020 годы»
1.6.2.	Мощные светодиоды на основе соединений A^3N . Разработка и исследование высокоэффективных и сверхярких монолитных и гибридных белых светодиодов A^3N .	ФТИ НТЦ Микроэлектроники Софт-Импакт Светлана-Рост	Разработка технологий эпитаксиального роста квантовых точек для светодиодов, создание монолитных, в том числе безлюминофонных, белых светодиодов и энергоэффективных динамически управляемых светодиодных источников излучения для регулирования спектрально-цветовых и яркостных характеристик освещения с целью оптимизации световой среды для жизнедеятельности человека	ФЦП Минобрнауки «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014—2020 годы»
1.6.3.	Мощные полупроводниковые лазеры и лазерные линейки ближнего ИК диапазона. Разработка и исследование полупроводниковых лазеров на базе квантоворазмерных гетероструктур с классической конструкцией резонатора Фабри-Перо, излучающих в диапазоне 700-2000нм.	ФТИ им. Иоффе, СПбАУ СПбПУ Коннектор Оптикс	Решение прикладных и фундаментальных научно-технических задач и создание лазерных излучателей для широкого спектра применений, в т.ч. для оптической накачки, медицинских приборов и систем специального назначения	ФЦП Минобрнауки «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014—2020 годы»

1.6.4.	<p>Полупроводниковые лазеры видимого и УФ диапазона.</p> <p>Разработка и исследование полупроводниковых лазеров на основе соединений A^2B^6 и A^3N</p>	<p>ФТИ им. Иоффе, НТЦ Микроэлектроники Софт-Импакт</p>	<p>Создание полупроводниковых лазеров и лазерных конвертеров на основе соединений A^2B^6 с УФ и электронной накачкой для систем проекционного телевидения, навигации и локации, а также полупроводниковых лазеров на основе соединений A^3N для перспективных систем лазерного освещения, биомедицинских и специальных применений.</p>	<p>ФЦП Минобрнауки «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014—2020 годы»</p>
1.6.5.	<p>Светодиоды, лазеры и фотоприемники в средней ИК области спектра.</p> <p>Разработка и исследование полупроводниковых фотоприемников, светодиодов и лазеров на базе сурьмянистых наногетероструктур для диапазона 1.6-5мкм. Разработка фотонных технологий обработки сигналов для создания энергоэффективных сенсоров и сенсорных систем микроволновой фотоники</p>	<p>ФТИ</p>	<p>Создание перспективных средств экологического мониторинга и спектроскопии газов (метана, двуокиси углерода, окиси углерода и др.). Разработка фундаментальных основ оптоинформатики и оптических принципов измерений с оценкой их предельных возможностей. Разработка одно- и многоэлементных сенсоров в области среднего ИК с рекордными параметрами по чувствительности (до 10^{-11} смГц^{1/2}/Вт) и быстродействию до 10^{-9} с. Создание малофотонных позиционно-чувствительных сенсоров с рекордным разрешением до 5×10^{-6} от поля зрения.</p>	<p>ФЦП Минобрнауки «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014—2020 годы»</p>

1.6.6.	<p>Поверхностно-излучающие лазеры с вертикальным резонатором.</p> <p>Разработка и исследование лазеров VCSEL (vertical-cavity surface-emitting lasers) и VECSEL (vertical external cavity surface-emitting lasers)</p>	<p>ФТИ</p> <p>НТЦ Микроэлектроники</p> <p>СПБАУ</p> <p>СПБПУ</p>	<p>Решение задачи «последней мили» в волоконно-оптических линиях связи (совместно с пластиковыми оптическими волокнами), а также применение в оптических межсоединениях в суперкомпьютерах и в автономных навигационных системах. Создание мощных источников постоянного и импульсного лазерного излучения с высоким качеством луча.</p>	<p>ФЦП Минобрнауки «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014—2020 годы»</p>
1.6.7.	<p>Полупроводниковые микролазеры.</p> <p>Разработка конструкции микролазеров и методов формирования активной области на основе полупроводниковых наногетероструктур. Разработка методов управления спектральными характеристиками, модовым составом, направленностью излучения микролазеров. Разработка методов вывода излучения из микролазеров в оптические волноводы. Исследование переходных процессов и быстродействия микролазеров. Повышение температурной стабильности, повышение предельной рабочей температуры, снижение</p>	<p>СПБАУ</p> <p>ФТИ</p> <p>ИТМО</p>	<p>Развитие научных и технологических основ полупроводниковых микролазеров с активной областью на основе массивов квантовых точек и квантовых ям. Новые данные о физических процессах, протекающих в микроизлучателях, и возможностях целенаправленного управления их свойствами. Создание микролазеров с параметрами, позволяющими использовать их в качестве активных излучателей в системах оптической передачи и обработки информации, реализующих свою функциональность в пределах микрочипа.</p>	<p>ФЦП Минобрнауки «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014—2020 годы»</p>

	рабочих токов, миниатюризация геометрии лазерных излучателей.			
1.6.8.	<p>Генерация сверхкоротких импульсов при помощи полупроводниковых лазеров.</p> <p>Изучение динамики полупроводниковых лазеров для получения сверхкоротких оптических импульсов, а также определения причин ограничения мощности при сверхвысоких уровнях токовой накачки в импульсном режиме и поиск путей их преодоления</p>	ФТИ ИТМО	Изучение динамики излучательной рекомбинации, заполнения состояний и насыщения усиления в полупроводниковых лазерах при сверхвысоких уровнях токовой накачки в импульсном режиме. Создание компактных и эффективных источников коротких лазерных импульсов для перспективных направлений в области обработки материалов и биомедицинских применений, включая генерацию белков теплового шока и лазерные адъюванты вакцин.	ФЦП Минобрнауки «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014—2020 годы»
1.6.9.	<p>Твердотельные и газовые лазеры.</p> <p>Разработка новых конструкций твердотельных и газовых лазеров</p>	ИТМО	Создание новых конструкций твердотельных лазеров с полупроводниковой накачкой и системами управления и коррекции лазерных пучков большой энергии (мощности) для информационных систем и прецизионных технологических применений; газовых лазеров с оптической, в т.ч. солнечной, накачкой, предназначенных для обработки материалов и утилизации солнечной энергии; лазеров безопасного для глаз диапазона с диодной накачкой; нового	ФЦП Минобрнауки «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014—2020 годы»

			поколения лазеров на основе параметрической генерации света для прецизионной хирургии; лидаров на основе малогабаритных твердотельных лазеров с диодной накачкой и генерацией гармоник.	
1.6.10.	Коллоидные квантовые точки. Разработка методов создания коллоидных квантовых точек и приборов на их основе	ЛЭТИ ИТМО ФТИ им. Иоффе	Создание перспективных светоизлучающих приборов, дисплеев и солнечных элементов на основе коллоидных квантовых точек.	ФЦП Минобрнауки «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014—2020 годы»
1.6.11.	Квантово-каскадные лазеры. Разработка и исследование квантово-каскадных лазеров для среднего инфракрасного и терагерцового диапазонов.	ФТИ СПБАУ Коннектор Оптике	Создание компактных и эффективных лазерных источников для систем высокоскоростной беспроводной связи в атмосфере, локации, мониторинга окружающей среды, медицинской диагностики и систем специального назначения.	ФЦП Минобрнауки «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014—2020 годы»

1.6.12.	<p>Сверхфокусировка излучения многомодовых полупроводниковых лазеров.</p> <p>Разработка новых методов фокусировки многомодового лазерного излучения.</p>	ФТИ	<p>Развитие т.н. «прямых» применений полупроводниковых лазеров за счет снятия непреодолимых до настоящего времени ограничений на предельно достижимый размер фокусного пятна многомодового луча с высоким параметром распространения M^2.</p>	<p>ФЦП Минобрнауки «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014—2020 годы»</p>
1.6.13.	<p>Метаматериалы, фотонные кристаллы и топологические изоляторы.</p> <p>Разработка и исследование метаматериалов, фотонных кристаллов и топологических изоляторов для управления потоками электромагнитного излучения.</p>	ФТИ ИТМО	<p>Создание элементной базы нового поколения для оптических средств передачи, обработки и хранения информации, отличающихся высоким (субпикосекундным) быстродействием, долговременной стабильностью характеристик, малым энергопотреблением, повышенной механической устойчивостью.</p>	<p>ФЦП Минобрнауки «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014—2020 годы»</p>
1.6.14.	<p>Компактные излучатели терагерцового диапазона.</p> <p>Разработка и исследование новых методов генерации терагерцового излучения.</p>	ФТИ ИТМО ЛЭТИ	<p>Создание новых систем медицинской диагностики, систем безопасности, экологического мониторинга и контроля качества, а также развитие применений терагерцового излучения во многих других областях науки и техники.</p>	<p>ФЦП Минобрнауки «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-</p>

				технологического комплекса России на 2014—2020 годы»
1.7. Физика плазмы.				
1.7.1.	<p>Физика высокотемпературной плазмы и управляемый ядерный синтез.</p> <p>Развитие методов микроволновой диагностики для крупномасштабных установок, включая токамак-реактор ИТЭР в режиме термоядерного горения.</p> <p>Моделирование и оптимизация сценариев разряда ИТЭР на сферическом токамаке «Глобус-М».</p> <p>Разработка нейтронных источников для лабораторных исследований процессов деградации элементов конструкций, первой стенки и blankets токамак-реактора ИТЭР в условиях интенсивного нейтронного облучения.</p>	ФТИ, НИИЭФА	<p>Участие России в программе Международного экспериментального токамак-реактора (ИТЭР) - разработка методов нагрева, генерации стационарного тока и диагностики высокотемпературной плазмы.</p> <p>Разработка альтернативных систем управляемого термоядерного синтеза с магнитным удержанием (сферические токамаки, токамаки с сильным полем, стеллараторы, прямые магнитные ловушки).</p>	<p>ФЦП Минобрнауки «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014—2020 годы»</p> <p>ФЦП Росатома «Ядерные энерготехнологии нового поколения на период 2010-2015 гг. и на перспективу до 2020 года»</p>

1.7.2.	<p>Физика низкотемпературной плазмы.</p> <p>Управление параметрами низкотемпературной плазмы с большим удельным энергокладом, в интересах новых технологий.</p>	<p>ФТИ, ИЭЭ, НИИЭФА, СПбГУ, СПбГПУ</p>	<p>Развитие физических принципов и методов создания импульсной и квазистационарной неравновесной низкотемпературной плазмы разрядов высокого давления с большим удельным вкладом энергии на единицу массы газа; исследование плазменных микрополей и элементарных процессов в их присутствии, исследование динамики низкотемпературной плазмы в условиях интенсивной эмиссии заряженных частиц из плазмы и транспортировки сильноточных пучков через плазму.</p> <p>Разработка плазменных технологий для создания новых, в том числе композиционных и наноструктурированных, материалов с заданными физико-химическими свойствами.</p> <p>Исследование импульсных разрядов в плазме щелочных металлов, вакуумных дуг и относящихся к ним катодных явлений.</p> <p>Разработка и создание источников плазмы и заряженных частиц с заданными физическими свойствами.</p>	<p>ФЦП Минобрнауки «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014—2020 годы»</p> <p>ФЦП Росатома «Ядерные энерготехнологии нового поколения на период 2010-2015 гг. и на перспективу до 2020 года»</p>
1.7.3.	<p>Пламенные процессы в геофизике и астрофизике.</p> <p>Определение основных параметров плазмы и физических процессов в межпланетной и межзвездной среде, областях звездообразования,</p>	<p>ФТИ, ГАО, ИПА, СПбГУ,</p>	<p>Исследование плазменных процессов в геофизике, в том числе с помощью активных спутниковых экспериментов.</p> <p>Исследование атмосферного электричества и разработка методов управления его характеристиками.</p> <p>Разработка методов диагностики воздействия высокоэнергичных</p>	<p>ФЦП Минобрнауки «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического</p>

	<p>магнитосферах нейтронных звезд и черных дыр.</p> <p>Динамика плазмы, ускорение частиц и генерация электромагнитного излучения в астрофизической плазме.</p> <p>Исследование электрических явлений в атмосфере.</p>	СПбФ ИЗМИИРАН	<p>геофизических процессов на ионосферу, исследования влияния высотных электрических разрядов (спрайтов, эльфов) на ионосферу, генерации тепловых структур в запыленной плазме нижней ионосферы, воздействия атмосферной волновой динамики на ионосферу.</p> <p>Интерпретация наблюдаемых спектральных и временных особенностей излучения космических источников, диагностика физических условий в окрестности компактных объектов, анализ кинетических процессов в плазме релятивистских джетов и ударных волн, построение моделей аккреционных дисков, источников гамма-всплесков, микроквazarов и активных ядер галактик.</p>	<p>комплекса России на 2014—2020 годы»</p> <p>ФЦП Минторгпром «Поддержание, развитие и использование системы ГЛОНАСС на 2012-2020 годы»</p>
1.8. Геофизика и радиофизика.				
1.8.1.	<p>Геофизика.</p> <p>Проведение глобальной геомагнитной съемки территории России.</p> <p>Организация непрерывных наблюдений геомагнитных вариаций в опорных точках. Палеомагнитные исследования.</p> <p>Исследования физической природы конвекции и теплопереноса,</p>	СПбФ ИЗМИИРАН, СПбГУ, ГАО	<p>Создание современной базы геомагнитных данных. Развитие теоретических представлений о процессах генерации магнитного поля Земли и его вариаций в широком диапазоне частот. Уточнение шкалы инверсий магнитного поля Земли. Развитие магнитной навигации и ориентации в Мировом океане. Выделение краткосрочных предвестников сильных землетрясений и раннего оповещения цунами.</p>	<p>ФЦП Минобрнауки «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014—2020 годы»</p>

	<p>электропроводности недр Земли, других планет и их спутников.</p> <p>Мониторинг электромагнитной активности вулканов.</p> <p>Разведка месторождений полезных ископаемых.</p>			<p>ФЦП Минторгпром «Поддержание, развитие и использование системы ГЛОНАСС на 2012-2020 годы»</p>
1.8.2.	<p>Радиофизика.</p> <p>Исследования особенностей распространения и дифракции радиоволн в атмосфере и околоземном пространстве.</p> <p>Радиозондирование и активное воздействие на ионизированную среду мощным радиоизлучением.</p> <p>Изучение нелинейных процессов, выявление оптимальных условий преобразования энергии пучка в волновую энергию.</p> <p>Радиотомография.</p>	<p>СПбФ ИЗМИРАН, СПбГУ</p>	<p>Развитие теории нелинейных волновых процессов в неоднородных средах.</p> <p>Развитие теории излучения и распространения радиоволн в средах со сложными границами.</p> <p>Повышение точности приема радиосигналов со спутниковых систем навигации.</p> <p>Развитие электродинамических представлений литосферно-атмосферно-ионосферных связей для создания спутниковой системы мониторинга краткосрочных предвестников землетрясений, катастрофических извержений вулканов и динамики тайфунов.</p>	<p>ФЦП Минобрнауки «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014—2020 годы»</p> <p>ФЦП Минторгпром «Поддержание, развитие и использование системы ГЛОНАСС на 2012-2020 годы»</p>

Одним из основных направлений исследований является физика атомного ядра и элементарных частиц, традиционно представляющая фундаментальные исследования в области физико-математических наук. Эта область предполагает как экспериментальные и теоретические исследования, так и их информационное обеспечение, приложение современных информационных технологий.

Основной прогресс в области ядерной физики связан с созданием установок мега-класса и участием больших коллективов, состоящих из представителей большинства научных учреждений соответствующего профиля. К таким установкам относятся:

- реактор ПИК в НИЦ Курчатовский институт – ПИЯФ (ориентирован на нейтронные исследования);
- ускоритель НИКА в Объединенном институте ядерных исследований (обеспечивает изучение экстремальных состояний вещества (ядерной материи) при рассеянии тяжелых ионов с большой энергией). Участие в соответствующих коллаборациях определяет новизну и актуальность научной тематики и уровень исследований.

Выполненная в 2020 г. в СПбНЦ РАН НИР относилась к обоим направлениям исследований.

В области нейтронной физики были выполнены расчеты и проведены эксперименты с использованием позиционно-чувствительного ^3He -наполненного детектора производства ПИЯФ (60×60 см), как с целью поверки пакета RNiTs, так и в рамках подготовки детектора к использованию на реакторе ПИК.

В этих измерениях не удалось добиться контрастного 2-D изображения, которое можно было бы однозначно сравнивать с расчетом (из-за сильного рассеяния нейтронов в помещении и нестабильной работы детектора), хотя качественно результаты моделирования соответствовали наблюдаемым изображениям. Одна из причин заключается в составе материалов, который в точности не известен и может содержать некоторое количество поглотителя нейтронов, не учтенного в модели. Тем не менее, некоторые данные дают основания для более тщательно исследования соответствия используемого в пакете сечения поглощения бора и экспериментальных результатов.

Сопоставление расчетных и экспериментальных данных позволяет сделать следующие выводы: а) использован достаточно надежный способ моделирования детектора; б) совпадение результатов данного эксперимента и расчетов зависит только от средневзвешенной энергии нейтронов, а не от распределения их по энергиям; в) для подтверждения спектра Pu-Be-источника необходим детектор быстрых нейтронов, и такой

эксперимент планируется; г) концентрация бора в защите имеет значение, близкое к оптимальному.

1) Л.А.Аксельрод, С.Е.Белов, Г.П.Диденко, В.Г.Зиновьев, К.В.Ершов, И.А.Митропольский. Сравнение потоков нейтронов, измеренных с помощью ^3He -пропорциональных газовых детекторов и рассчитанных с помощью пакета PHiTs. //Известия РАН, сер. физ., 2020, т.84, №8, с.1094-1097.

2) L.A.Axelrod, S.E.Belov, G.P.Didenko, K.V.Ershov, I.A.Mitropolsky, V.G.Zinoviev. Comparison of Neutron Fluxes Measured by ^3He -Gaseous Proportional Detectors and Calculated with the PhiTs Package. //Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics, 2020, v.84, no.8, pp.902–905.

Второе направление исследований – описание процессов испускания частиц при столкновениях тяжелых ионов, планируемых для изучения на ускорителе НИКА. Применение гидродинамического подхода с неравновесным уравнением состояния позволяет связать особенности спектров испущенных частиц с ядерными процессами при экстремальных условиях.

Локальное термодинамическое равновесие в процессе столкновений тяжелых ионов устанавливается не сразу, поскольку на стадии сжатия важна неравновесная компонента функции распределения, приводящая к формированию бесстолкновительной ударной волны, и было предложено совместно с уравнениями гидродинамики решать кинетическое уравнение.

При описании экспериментальных данных для упрощения расчетов рассматривается гидродинамическая эволюция выделенной области локального нагрева hot spot, что приближает наш подход к моделям файерболла и файерстрика, позволившим в первом приближении описать выходы высокоэнергетических и странных частиц.

Поправка на микроканоническое распределение проявляется на “хвостах” импульсных спектров вторичных частиц, обрезая их степенным образом вблизи кинематического предела реакции. Подобные результаты проявляются и при учете микроканонического распределения при высоких энергиях в pp- и AA-столкновениях, а также при учете неэкстенсивной статистики. Мы дополнили свои расчеты учетом вклада от фрагментации из области перекрывающихся частей сталкивающихся ядер и из области неперекрывающихся частей на основе статистического механизма фрагментации. Показано хорошее согласие найденных нами спектров с экспериментальными данными, в отличие от

монте-карловских расчетов по модели молекулярной динамики и других каскадных моделей.

3) А.Т.Дьяченко, И.А.Митропольский. Рождение подпороговых пионов в столкновениях тяжелых ионов в гидродинамическом подходе с неравновесным уравнением состояния. //Известия РАН, сер. физ., 2020, т.84, №4, с.508-514.

4) A.T.D'yachenko, I.A.Mitropolsky. Production of Subthreshold Pions in Heavy-Ion Collisions Using a Hydrodynamic Approach with a Nonequilibrium Equation of State. //Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics, 2020, v.84, no.4, pp.391-396.

5) А.Т.Дьяченко, И.А.Митропольский. Эмиссия высокоэнергетичных протонов и фотонов в столкновениях тяжелых ионов в гидродинамическом подходе с неравновесным уравнением состояния. //Ядерная Физика, 2020, т.83, с.317-325.

6) A.T.D'yachenko, I.A.Mitropolsky. Emission of High-Energy Protons and Photons on the Basis of a Hydrodynamic Approach with a Nonequilibrium Equation of State. //Physics of Atomic Nuclei, 2020, v.83, no.4, pp.558-566.

Полученные результаты свидетельствуют о правильности выбора методов, необходимости продолжать исследования и о способности авторов решать поставленные задачи. Внедренческие перспективы имеет созданная в результате исследований программа (РИД):

И.А.Митропольский, Л.П.Кабина, С.С.Лисин. Программа оценки схем ядерных уровней на основе ритцевских комбинаций. //Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020610321, Роспатент, 2020,

Написано учебно-методическое пособие:

И.А.Митропольский. Вторичное квантование и функциональные методы в теории ядра. //Учебное пособие для аспирантов. Гатчина, Изд-во НИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ, 2020 – 46 с

1. Мероприятия, проведенные с участием Объединенного научного совета по физико-математическим наукам:

1) В феврале 2020 г. утвержден новый состав экспертного совета по присуждению премии Правительства СПб и СПбНЦ РАН им. А.Ф. Иоффе за выдающиеся научные результаты в области физики и астрономии. 19 марта прошло первое дистанционное заседание экспертного совета. На конкурс была представлена только одна кандидатура, но экспертный совет решил конкурс проводить.

2) 9 сентября 2020 г. было проведено второе дистанционное заседание экспертного совета, на котором рекомендовано присудить премию им. А.Ф.Иоффе Правительства Санкт-Петербурга за выдающиеся научные результаты в области науки и техники (физика и астрономия) 2020 г. **ЛЕБЕДЕВУ Александру Александровичу**, доктору физ.-мат. наук, профессору, руководителю отделения твердотельной электроники ФТИ им.А.Ф.Иоффе РАН за исследования электрофизических свойств карбида кремния и разработку приборов на его основе.

3) 27-30 апреля 2020 г. в Академическом университете им. Ж.И.Алферова прошла 7 Международная школа-конференция «Saint-Petersburg OPEN 2020» <http://ru.spbopen.spbau.com/>. По материалам конференции подготовлен сборник трудов.

4) 11-17 октября 2020 г. в СПбГУ прошла LXX Международная конференция по ядерной физике «Ядро-2020. Физика атомного ядра и элементарных частиц. Ядерно-физические технологии». По материалам конференции подготовлен сборник тезисов докладов.

Участие И.А.Митропольского в конференциях с докладами:

1) И.А.Митропольский. Нечеткая логика и гибридные нейронные сети в систематике ядерных данных. 9-я Школа по физике поляризованных нейтронов «ФПН–2020», 10-11 декабря 2020 г., НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ, Гатчина.

2) V.G.Kalinnikov, V.I.Stegailov, I.N.Izosimov, A.A.Solnyshkin, I.A.Mitropolsky, A.V.Sushkov, A.D.Efimov, I.A.Krpyachko, T.N.Tran. The structure of high-spin (9+) isomers and the nature of rotational bands in odd-odd N_o nuclei with $A=156,158,160$. //LXX International conference “NUCLEUS – 2020. Nuclear physics and elementary particle physics. Nuclear physics technologies”, Saint Petersburg, Russia, 12-17 October 2020. Book of Abstract, Saint Petersburg, VVM, 2020, p.31.

3) A.T.D'yachenko, I.A.Mitropolsky. Describing pion production in collisions of heavy ions at intermediate energies in the hydrodynamic approach with a non-equilibrium equation of state. //LXX International conference “NUCLEUS – 2020. Nuclear physics and elementary particle physics. Nuclear physics technologies”, Saint Petersburg, Russia, 12-17 October 2020. Book of Abstract, Saint Petersburg, VVM, 2020, p.84-85.

4) A.T.D'yachenko, I.A.Mitropolsky. On the proton spectra in collisions of heavy ions $^{12}\text{C} + ^9\text{Be}$ at energies of 0.3 – 2.0 GeV/nucleon in the framework of the hydrodynamic approach. //LXX International conference “NUCLEUS – 2020. Nuclear physics and elementary particle

physics. Nuclear physics technologies”, Saint Petersburg, Russia, 12-17 October 2020. Book of Abstract, Saint Petersburg, VVM, 2020, p.90.

Учебно-методические пособия:

И.А.Митропольский. Вторичное квантование и функциональные методы в теории ядра. //Учебное пособие для аспирантов. Гатчина, Изд-во НИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ, 2020 – 46 с.

Экспертная деятельность И.А.Митропольского:

Подготовлено экспертное заключение по верификационному отчету РАДИОНУКЛИДЫ – $^{228, 231, 232, 233, 234}\text{Th}$, $^{231, 233, 234\text{m}}\text{Pa}$, $^{232, 233, 234, 235, 236, 237, 238, 239}\text{U}$, $^{236, 236\text{m}, 237, 238, 239}\text{Np}$, $^{238, 239, 240, 241, 242}\text{Pu}$, $^{241, 242, 242\text{m}, 244, 244\text{m}}\text{Am}$, $^{242, 243, 244, 245, 246}\text{Cm}$, ^{252}Cf . ЭНЕРГИЯ, АБСОЛЮТНАЯ ВЕРОЯТНОСТЬ ЭМИССИИ АЛЬФА-ЧАСТИЦ, ЭЛЕКТРОНОВ, ПОЗИТРОНОВ, ГАММА- И ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЙ И ПЕРИОД ПОЛУРАСПАДА. АКТУАЛИЗИРОВАННЫЕ ДАННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИК РАСПАДА РАДИОНУКЛИДОВ представленному Центром радионуклидных данных АО «Радиевый институт им. В.Г. Хлопина» по договору с Госкорпорацией по атомной энергии «Росатом» № 1/17842-Д от 26.09.2019.

Публикации в 2020 г.

5) А.Т.Дьяченко, И.А. Митропольский. Рождение подпороговых пионов в столкновениях тяжелых ионов в гидродинамическом подходе с неравновесным уравнением состояния. //Известия РАН, сер. физ., 2020, т. 84, №4. - С. 508-514.

6) A.T.D'yachenko, I.A. Mitropolsky. Production of Subthreshold Pions in Heavy-Ion Collisions Using a Hydrodynamic Approach with a Nonequilibrium Equation of State. //Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics, 2020, v.84, no.4, pp.391-396.

7) А.Т.Дьяченко, И.А. Митропольский. Эмиссия высокоэнергетичных протонов и фотонов в столкновениях тяжелых ионов в гидродинамическом подходе с неравновесным уравнением состояния. //Ядерная Физика, 2020, т.83, с.317-325.

8) A.T.D'yachenko, I.A.Mitropolsky. Emission of High-Energy Protons and Photons on the Basis of a Hydrodynamic Approach with a Nonequilibrium Equation of State. //Physics of Atomic Nuclei, 2020, v.83, no.4, pp.558-566.

9) Л.А.Аксельрод, С.Е.Белов, Г.П.Диденко, В.Г.Зиновьев, К.В.Ершов, И.А.Митропольский. Сравнение потоков нейтронов, измеренных с помощью ^3He -

пропорциональных газовых детекторов и рассчитанных с помощью пакета PHiTs.
//Известия РАН, сер. физ., 2020, т.84, №8, с.1094-1097.

10) L.A.Axelrod, S.E.Belov, G.P.Didenko, K.V.Ershov, I.A.Mitropolsky, V.G.Zinoviev. Comparison of Neutron Fluxes Measured by ^3He -Gaseous Proportional Detectors and Calculated with the PhiTs Package. //Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics, 2020, v.84, no.8, pp.902–905.

5 Исследования в области биологии и медицины

На передовые рубежи биомедицинской науки стремительно вышло изучение микробиома человека. Прогресс в изучении микробиома с точки зрения влияния его на поддержание здоровья человека рассматривается как одно из наиболее значимых достижений современной биологии и медицины. Редакция журнала Science в 2010 г. назвала изучение микробиома человека одним из десяти наиболее важных научных направлений первого десятилетия XXI в. Изучение населяющих организм бактерий, понимание закономерностей взаимодействия человека с миром микроорганизмов помогут определить их роль в общем метаболизме, сформировать точное представление о патогенезе ряда заболеваний, стать основой для осуществления микробной терапии инфекций, профилактики инфекционных осложнений, в формировании новых персонализированных подходов к терапии многих заболеваний человека и в разработке методик лечения в рамках концепции точной медицины.

Научная проблема, решаемая в рамках данного направления, заключается в изучении комплексной микробиоты человека в различных участках организма в норме и в условиях патологии с последующим созданием принципиально новых терапевтических подходов, основанных на восстановлении естественного микробиоценоза. Предлагается разработать ряд инновационных подходов, направленных на быстрое восстановление индивидуальной микробиоты с использованием гетерогенной (пробиотики) или индигенной (аутопробиотики) микробиоты, направленных на адресную вакцинную профилактику инфекций. Созданные подходы позволят осуществлять адресную микробную терапию инфекций пробиотиками, профилактику инфекционных осложнений, обусловленных оппортунистической микробиотой, терапию широкого круга неинфекционных заболеваний.

Результаты решения научной проблемы при должном финансировании неизбежно реализуются в массиве новых фундаментальных знаний, применение которых в практической жизни и медицине приведет к вполне конкретным позитивным социальным и экономическим последствиям.

В 2020 году по разделу исследований в области биологических и медицинских наук были продолжены работы в рамках Госзадания. Междисциплинарные исследования в этой приоритетной области Программы фундаментальных научно-исследовательских работ

СПбНЦ РАН на период до 2035 года, направлены на развитие научного и научно-образовательного потенциала Санкт-Петербурга. Часть работ была реализована в развитие соответствующих пунктов разработанной Программы. Проведена адаптация отдельных мероприятий раздела к основным стратегическим документам, принятым федеральными органами государственной власти (Стратегии научно-технологического развития РФ и Национальным проектам «Наука»). Проведен анализ ряда продолжающихся приоритетных исследований по проектам, включенным в разработанную в СПбНЦ РАН, Программу по разделам:

- 7.1. - «Микробиом и макроорганизм»
- 7.2. - «Молекулярная медицина, Онкология, Иммунология».

По большинству проектов, включенных в Программу по этим направлениям, продолжаются исследования, полученные результаты, соответствующие мировому уровню, публикуются в ведущих профильных журналах, индексируемых ВАК, Scopus и др.

В ходе выполнения работ по Госзаданию, были выявлены и обоснованы новые перспективные проекты, выполняемые учеными Санкт-Петербурга, и которые ранее не были включены в Программу фундаментальных научно-исследовательских работ.

По направлению «Микробиом и макроорганизм», появляется все больше новых актуальных исследований: по современным методам исследований микробиоценозов; микробиому у младенцев; формированию и динамике резистома человека; молекулярно-генетическим механизмам формирования резистентности микромицетов к современным противогрибковым препаратам; механизмам множественной устойчивости бактерий к антибиотикам; связи микробиома и болезней человека; неадекватной терапии антибиотиками сопровождающейся возникновением лекарственной устойчивости бактерий к антибиотикам, вызванной нарушениями в составе микробиоты заболевших; использование пробиотиков и ТФМ для восстановления баланса микробиоты и др.

По направлению «Молекулярная медицина, Онкология, Иммунология», анализ последних исследований ученых позволяет делать выводы о новых возможностях в области диагностики и терапии онкологических болезней, влияния микробиоты на механизмы канцерогенеза, иммунную, генную терапию. Исследованы и проанализированы новые приоритетные проекты, ранее не вошедшие в Программу, и самые последние разработки ученых, связанные с пандемией коронавируса, возможными методами его лечения, созданием вакцин.

По этим направлениям была проведена аналитическая работа, часть материалов использовалась для написания обзорной статьи и монографии.

5.1 Микробиом и макроорганизм

Термин «микробиом» предложил в 2001 г. лауреат Нобелевской премии 1958 г. Джошуа Ледерберг для обозначения суммы всех микробных сообществ, обитающих в организме человека. Размер геномов различных бактерий варьирует в широких пределах — от 0,58 млн п. н. у *Mycoplasma genitalium* до 9,11 млн п. н. у *Bradyrhizobium japonicum*. Как правило, бактерии с наименьшими геномами — это паразиты или симбионты, а организмы с крупными геномами обитают в сложных по структуре экосистемах с широким диапазоном условий.

Интерес мировой науки к изучению микробиома человека неуклонно возрастает.

В 2007 г. Национальный институт здоровья США инициировал масштабный фундаментальный научный проект «Микробиом человека» (Human Microbiome Project), который объединяет разработки ученых из различных стран мира, в т. ч. США (NIH), Австралии (CSIRO), Канады (CIHR), Китая (MOST), стран Европейского союза (MetaHIT Consortium), Сингапура и др. Итоги более, чем десятилетней работы привели к серьезным изменениям во взглядах ученых на биологию человека и развитие многих заболеваний.

Общее количество микроорганизмов, населяющих различные отделы человеческого организма, более чем на порядок превышает численность его собственных клеток. Только в кишечнике здоровых людей, свыше 500 видов микроорганизмов. Микробиом человека имеет дискретную организацию и распределен по всем органам, сообщаясь с внешней средой. Фактически любая открытая поверхность человеческого тела заселена микроорганизмами, которые играют важную роль в поддержании иммунитета, обмене веществ, пищеварении и реализации других важных функций.

Ротовая полость, желудок, кишечник, верхние дыхательные пути, мочеполовая система, кожа, глаза, волосы, нос, уши содержат свой собственный уникальный специфический и очень сложный микробный комплекс, состоящий из отличающихся друг от друга видов с определенным набором функций. Специфические микробиомы недавно обнаружены также в плаценте, легких и крови, то есть в органах и средах, ранее считавшихся стерильными. Большинство микроорганизмов сконцентрировано

в пищеварительном тракте (в ротоглотке, желудке и кишечнике содержится до 75% микробных популяций).

В разных отделах желудочно–кишечного тракта количество бактерий различно.

Большинство микроорганизмов обнаруживается в толстой кишке (около 10¹⁰–10¹² КОЕ/мл), и составляет 35–50% ее содержимого. Общая масса микрофлоры кишечника составляет от 1 до 3 кг. Мочеполовые пути у мужчин заселяют до 2-3% микроорганизмов, у женщин – до 9-12%; 13-23% микробиоты колонизирует все остальные биотопы. Каждый локальный микробиом характеризуется индивидуальным составом и функциями, на которые оказывают влияние анатомические и физиологические особенности заселяемого органа. Специфическая для конкретной экосистемы симбиотическая микробиота посредством конкуренции за сайты адгезии и путем стимуляции иммунных ответов защищает свой биотоп от патогенной колонизации посторонними микробами. Вместе с тем все микробные сообщества, обитающие в различных локусах тела человека, находятся в постоянном взаимодействии между собой и макроорганизмом, образуя единую надорганизменную систему. Достижения современной биологии и медицины позволяют рассматривать микробиом как дополнительный орган человека, который оптимизирует условия для нормального функционирования организма человека в целом.

Основные эффекты нормальной микробиоты человека заключаются в регуляции множества физиологических функций организма - участие во всех видах обмена веществ, пищеварении, детоксикации, синтезе витаминов и независимых аминокислот, водно-солевом обмене, регуляции иммунитета, поддержании целостности эпителиального барьера, формировании колонизационной резистентности, и др.

Давно признан факт, что традиционные микробиологические методы не в состоянии предоставить объективную информацию относительно видового разнообразия и популяционного уровня различных представителей микробиома человека, поскольку преобладающая часть прокариотических микроорганизмов (бактерий и архей) не культивируется в лабораторных условиях. С помощью классической методологии невозможно также проанализировать механизмы популяционных взаимодействий микробиоты, основанных на специфических сигнальных системах общения как внутри микробного сообщества, так и в ходе его взаимодействия с организмом человека.

Еще сравнительно недавно наши знания о составе симбиотической микробиоты, населяющей тело человека, были весьма скудными и противоречивыми. Использование

новых методов для изучения микрофлоры, ранее недоступных для исследований, изменило многие устоявшиеся взгляды на состав микробиома человека. Было установлено, что в организме человека обитает >10 тыс. видов различных микробов, включая бактерии, археи, грибы, простейшие и вирусы. При этом большинство видов бактерий и архей оказались некультивируемыми *in vitro*. Общая масса клеток всех представителей микробиома в среднем составляет 3% от массы тела человека. *Таким образом, микробиом является одним из самых крупных органов человека.* Суммарное число генов микробиома (метагеном), по крайней мере, в 100 раз больше человеческого генома. Микробиом добавляет к 30 тыс. генам человека примерно еще около 12 млн дополнительных генов микробной природы.

Исходя из результатов исследований микробиома, человек представляет собой «суперорганизм», где только 10% клеток принадлежит телу человека, а 90% – микробиому. Обмен веществ этого «суперорганизма» в значительной степени определяется ферментами, гены которых локализованы не в человеческих хромосомах, а в геномах симбиотических микробов. Микробные симбионты человека обладают колоссальным ферментативным потенциалом. Благодаря удивительному видовому многообразию и огромному количеству клеточных популяций кишечный микробиом функционирует как мощный биореактор, контролирующий многочисленные метаболические функции, многие из которых все еще не распознаны. Он продуцирует тысячи важных и уникальных веществ, полезных для организма человека.

Симбиотические бактерии: осуществляют метаболизм плохо перевариваемых полисахаридов; продуцируют необходимые витамины; регулируют липидный обмен; способствуют развитию и дифференциации эпителия и иммунной системы; обеспечивают защиту от инвазии оппортунистических патогенов; выполняют ключевую роль по поддержанию гомеостаза эпителиальной ткани. Недавние исследования показали также, что микробиом человека влияет на развитие и гомеостаз других тканей организма, в том числе, костной ткани.

Разработка и внедрение в исследовательскую практику методов молекулярно-генетического анализа существенно расширили представления, касающиеся таксономии симбиотической микрофлоры человека. Применение новейших методов исследований, в частности геномного и метаболомного анализа, позволило достичь значительного прогресса в расшифровке таксономического и генетического разнообразия, понимании

структуры и функциональной активности микробиоты человека, его роли в поддержании или расстройстве здоровья.

У здорового человека доминируют бактерии, принадлежащие к типам *Firmicutes* (65-80% всех клонов), *Bacteroidetes* (около 23%) и *Actinobacteria* (около 3%). В меньших количествах присутствуют бактерии типов *Proteobacteria* (1%) и *Verrucomicrobia* (0,1%). Представители *Actinobacteria* и *Firmicutes*, к которым принадлежат роды *Lactobacillus*, *Bifidobacterium* и *Propionibacterium*, почти исключительно грамположительные, тогда как представители типов *Bacteroidetes* и *Proteobacteria* в основном являются грамотрицательными. Бактериальная флора действительно занимает самый большой сектор любого микробиоценоза. Однако при этом незаслуженно недооценивается значимость других микроскопических обитателей биотопов, в частности архей, грибов, простейших и вирусов, которые при нормальном состоянии микробно-иммунологической системы вносят определенный вклад в выполнение микробиомом своих физиологических функций. Например, во всех биотопах человека в высокой концентрации содержатся вирусы. Расшифровка генома человека выявила в нем огромное количество вирусного генетического материала: не менее 11% генома человека составляют вирусные гены. В 2010 г. группа ученых из США и Австралии установила, что каждый человек обладает уникальным набором вирусов, обитающих в толстом кишечнике. С момента формирования микробиома ребенка одновременно с заселением биотопов бактериями происходит контаминация слизистых оболочек вирусами-симбионтами. Предположительно, вирусные представители биоценозов защищают макроорганизм от своих болезнетворных сородичей и повышают общую сопротивляемость ко многим неблагоприятным воздействиям.

Сегодня известно, что процесс формирования микробиома начинается задолго до рождения ребенка и в этом процессе задействованы многочисленные механизмы, связанные со здоровьем матери (особенно с состоянием ее микробиоценоза, условиями протекания родов, формой вскармливания ребенка), а также факторы окружающей среды. По мере взросления и старения организма в составе микробиома наблюдаются заметные изменения, которые наиболее отчетливо проявляются в пожилом и старческом возрасте. Физиологические изменения, происходящие в теле человека с возрастом, в первую очередь выражаются в снижении биологических функций и способности приспосабливаться к стрессовым воздействиям. Все эти возрастные процессы протекают на фоне серьезных изменений в составе и функциональной активности микробиома. Человек преклонного возраста особенно уязвим к болезням, и в первую очередь, связанным со снижением функциональной активности микробиома.

Микробиом каждого человека индивидуален и уникален по составу. Ученые обнаружили, что не существует какого-то основного состава микроорганизмов, выполняющих определенные функции. Их могут осуществлять разные по составу микробные сообщества, обладающие подобными активностями. Индивидуальные таксономические характеристики микробиома формируются под воздействием многих факторов: местности, где проживает человек, его пищевых привычек, рода занятий, приема лекарственных средств и др. Микроорганизмы одного вида могут заменяться другими, используя при этом идентичную метаболическую стратегию.

Полноценный микробиом человека обладает огромным биологическим потенциалом для защиты макроорганизма и его метаболической поддержки. Здоровый микробный орган способен компенсировать достаточно высокий потенциал негативных факторов. И только в случае серьезного повреждения микробиома нагрузка переходит на иммунную систему и другие защитные органы, в которых при потере содействия со стороны физиологической микробиоты происходят патологические изменения, что и приводит к возникновению различных заболеваний и их серьезным осложнениям. Установлено, что поврежденный микробиом становится фактором развития ожирения, жировой дистрофии печени, инсулинорезистентности, гиперхолестеринемии, аутоиммунных болезней (ревматоидного артрита, рассеянного склероза, псориаза и др.), воспалений в кишечнике, аллергии, отдельных видов рака и многих других острых и хронических патологий. Все больше появляется доказательств, которые дают основание признать связь между расстройствами психического здоровья и нарушениями микробиома. Установлено, что ряд психиатрических заболеваний сопровождается микробиомными расстройствами, окислительным стрессом и увеличением уровня воспалительных цитокинов, в частности, фактора некроза опухоли, интерлейкина-1 и -6. Предполагают, что на когнитивные способности и поведение благоприятное воздействие могут оказывать методы лечения, предусматривающие восстановление микробиома. Патологически измененный микробиом зачастую служит пусковым механизмом в развитии болезни, способствует затяжному, хроническому ее течению с развитием метаболических и иммунных расстройств.

Микробиом и макроорганизм

Остановимся на проектах, включенных в Программу фундаментальных научно-исследовательских работ СПбНЦ РАН на период до 2030 года, направленных на развитие научного и научно-технического потенциала Санкт-Петербурга. Исследования в рамках

этих проектов продолжают, разработаны новые, усовершенствованные методики исследований, получены фундаментальные результаты, которые внедряются в практику, публикуются в ведущих индексируемых журналах.

Микробиом человека

Проект «Микробиом человека» (руководитель- Суворов А.Н., член-корр. РАН, Институт экспериментальной медицины). является продолжением и расширением исследований микробиоценоза, способам лечения, восстановления микробиоты, включенный в Программу СПбНЦ РАН. Исследования опираются на сформировавшемся к настоящему времени пониманию ведущей роли нарушений микробиоценоза человека в формировании большинства патологий инфекционного и неинфекционного характера. Поэтому разработка технологий, направленных на своевременное восстановление микробиоценоза посредством введения в организм отдельных микроорганизмов или их консорциумов, станет ключом к терапии данных патологий.

Важной частью данного направления является оценка специфических свойств отдельных микробных штаммов – пробиотиков, что позволит конкретизировать сферы их реального клинического применения. Другой важной составляющей проекта является возможность с использованием новых знаний о микробиоте и характере формирования и распространения инфекционных патологий осуществлять эффективную диагностику и профилактику социально значимых инфекций путем адресного выявления и контроля актуально значимых возбудителей с использованием новых диагностикумов и рекомбинантных химерных вакцин, позволяющих элиминацию конкретных штаммов-возбудителей с определенным набором факторов патогенности. Будет осуществлен поиск новых способов профилактики и лечения опухолевых заболеваний за счет бактериальных компонентов, а также создание новых диагностикумов на основе бактериальных рецепторных белков.

Микробиологи Института экспериментальной медицины (ИЭМ) Санкт-Петербург, совместно с учеными из Московского НИИ общей генетики подходят к завершению доклинических исследований первого российского лекарственного препарата на основе трех видов бактерий: энтерококков, лактобацилл и бифидобактерий. Каждый из микроорганизмов прошел полный генетический анализ, который позволил изучить их иммунологические свойства и понять, как они влияют на сопротивляемость человеческого организма различным инфекциям. *Подобных препаратов в мире не существует.*

Ни один пробиотик не сертифицирован как лекарство, ученые планируют создать первый фармацевтический препарат, созданный на основе отечественных штаммов.

В этой области еще много удивительного. Сейчас вообще равноправно сосуществуют две и в целом обе правильные – теории, которые между тем подводят к разным выводам:

– врачи учат нас хорошо мыть руки перед едой, что позволяет предотвратить развитие инфекционных заболеваний;

– другая теория утверждает, что если переусердствовать в мерах санитарии и гигиены – например, растить детей в стерильных условиях, не позволять им подбирать игрушки с пола, тут же брать их в рот, то у них в итоге сформируется более слабый иммунитет. Получается, что стремление детей все «пробовать на зубок» оправданно, поскольку благодаря ему возникает иммунологическая толерантность к большому количеству патогенных микроорганизмов.

Гигиеническая теория в настоящее время подвергается большим сомнениям. В мире проводятся исследования, в которых сравниваются уровень развития гигиены, состояние микробиоты человека и распространение тех или иных заболеваний, прежде всего аллергических. В странах с более низким уровнем гигиены генетическое разнообразие внутреннего микромира в организмах людей оказывалось выше, а заболеваемость аллергиями – ниже. Конечно, есть некий политический оттенок в сравнении людей из разных стран, но факт остается фактом: в США до двухсот раз выше частота аллергозов, чем в странах Африки и Латинской Америки.

Конечно, природа всегда стремится к некоему равновесию. Сегодня при формировании внутреннего микромира человека (а рождаемся мы все стерильными, и первое «осеменение» происходит только в родовых путях) генетика, безусловно, важна, но она отвечает лишь за 10 – 15% состава микробиоты. Гораздо важнее – как формировалось исходное расселение микроорганизмов в течение первых двух лет жизни. Потом можно говорить, что ребенок уже является иммунологически достаточно зрелым.

Смысл этого разнообразия с точки зрения важности для человека до конца непонятен. Ясно, что микроорганизмы нам очень нужны: 90% энергии эпителий кишечника получает от бактерий, которые ферментируют пищевые продукты, они регулируют наше взаимоотношение с окружающей средой, не позволяя вредоносным особям проникать в

организм, занимая все потенциальные ниши. А механизмы защиты у них отработывались миллионами лет, задолго до появления человечества.

Определенные бактерии (например, стрептококки) обладают хорошим противоопухолевым эффектом, а серотонин - микроорганизмы вырабатывают в десять раз больше, чем клетки головного мозга, и потому даже настроение подчас зависит от того, сколько и каких микроорганизмов у нас в кишечнике.

Чем раньше в организме стабилизируется состав микробиоты, тем более крепкое здоровье будет у человека. Организм человека находится в тесной эволюционной связи с микроорганизмами, значительная часть которых не изучена. Вирусов в организме больше, чем бактерий, и они живут в нас, взаимодействуют с нашим организмом, влияют на наше здоровье. Общее их количество бактерий в организме человека практически не меняется в ходе всей жизни, но вот степень их разнообразия может меняться. Интересно, что общее количество клеток в нашем организме приблизительно в сто раз меньше, чем количество клеток бактерий, которые в нас живут. Их места обитания – носоглотка, урогенитальная система, легкие и кожа, но больше всего их в желудочно-кишечном тракте. Общий генетический аппарат бактерий в сотни раз превосходит наш собственный по количеству генов и их разнообразию.

Успехи современной медицины увеличили продолжительность жизни в среднем на 25 лет, но в итоге мы получили другие проблемы. В США людям принято назначать антибиотики в 10-кратной концентрации, чтобы быстро поставить человека на ноги и отправить на работу, но теперь государство вынуждено тратить миллиарды долларов, чтобы вылечить больных с так называемым псевдомембранозным колитом. У этих пациентов полностью выходит из строя кишечник, и они довольно быстро гибнут. У нас тоже от этого заболевания, ежедневно умирают люди, просто по понятной причине проблему с антибиотиками никто старается не афишировать. Причина развития этого недуга – как раз нарушение разнообразия микробиоты, когда доминирующим микробным агентом становится бактерия *клостридиум диффициле*. Эти клостридии в норме присутствуют в желудочно-кишечном тракте каждого человека и не вырабатывают токсинов, но имеют способность создавать споры. Когда человек проходит курс лечения антибиотиками, «выметающими» из кишечника все микроорганизмы, спавшие до того споры клостридии начинают занимать освободившиеся «квартиры», поскольку многие бактерии не могут создавать споры и исчезают из организма человека бесследно. Вот и разрастаются доминирующие виды, уже устойчивые к антибиотикам.

Часто единственным выходом остается пересадка микробиоты от родственников. В мире уже выполнено более трех тысяч таких трансплантаций, хотя как медицинская процедура, эта пересадка не узаконена – это просто мера спасения людей.

Для анализа микробиома пациентов осуществляются метагеномные исследования с применением секвенаторов нового поколения и последующей биоинформатической обработкой. Изучение свойств новых про- и аутопробиотических препаратов будет осуществляться с использованием культуральных, спектрометрических и биохимических методов. Результаты работ могут быть применены в фундаментальных научных исследованиях, посвященных проблеме микробиоты, микроэкологии человека, изучению патологических процессов, обусловленных нарушениями в микробной экологии и поиску новых подходов к профилактике и терапии различных отраслей медицины, что позволит существенно снизить общую заболеваемость населения.

Недооценка значения состояния микробиоты клиницистами во многом обусловила широчайшее распространение дисбиотических состояний, большинство из которых носит ятрогенный характер. Так, например, неверное употребление в терапии антибиотиков привело к повсеместному росту таких патологических состояний как метаболический синдром (диабет, гипертония, ожирение), аллергозов, воспалительных заболеваний желудочно-кишечного тракта. Дисбиозы являются триггером большинства современных заболеваний человека. Тоже относится и к инфекционной патологии, когда неверное употребление антибиотиков привело к небывалому росту нозокомиальных инфекций, вызванных эндогенными штаммами бактерий (стафилококков, энтерококков, ацинетобактера) с приобретенной множественной лекарственной устойчивостью. Это усугубляется возникшим кризисом современной фармацевтической науки, оказавшейся неспособной создавать новые антибиотики. Все это обусловило необходимость поиска принципиально новых решений и создания новых научных направлений, связанных с изучением и поиском путей коррекции микробиоценозов.

Научная проблема, решаемая в рамках данного направления, заключается в изучении комплексной микробиоты человека в различных участках организма в норме и в условиях патологии с последующим созданием принципиально новых терапевтических подходов, основанных на восстановлении естественного микробиоценоза. Предлагается разработать ряд инновационных подходов, направленных на быстрое восстановление индивидуальной микробиоты с использованием гетерогенной (пробиотики) или индигенной (аутопробиотики) микробиоты, направленных на адресную вакцинную

профилактику инфекций. Созданные подходы позволят осуществлять адресную микробную терапию инфекций пробиотиками, профилактику инфекционных осложнений, обусловленных оппортунистической микробиотой, терапию широкого круга неинфекционных заболеваний.

Поэтому результаты выполнения данной программы при должном финансировании неизбежно реализуются в массиве новых фундаментальных знаний, применение которых в практической жизни и медицине приведет к вполне конкретным позитивным социальным и экономическим последствиям. В частности, предполагаемое исследование нормального состояния микробиоты позволит лучше разобраться в региональных особенностях состава микробиоты Российского населения, анализ микробиотного состава при различных патологиях позволит лучше понять пути поиска коррекции исследуемых патологий. Важной частью данного направления станет оценка специфических свойств отдельных микробных штаммов – пробиотиков, что позволит конкретизировать сферы их реального клинического применения.

Альтернатива пробиотикам

Для восстановления нормального микробиоценоза можно использовать не только пробиотики. Другое решение проблемы — так называемая фекальная трансплантация. Эта медицинская процедура основана на полной замене микробиоты человека, страдающего дисбиозом, микробиотой здорового донора. К настоящему времени проведено много клинических исследований полной замены микробиоты у пациентов с воспалительным заболеванием кишечника или с псевдомембранозным колитом, обусловленным *Clostridium difficile*. Основной недостаток такого клинического подхода связан со сложностью подбора адекватного донора, ведь знаний о микробиоме и особенно его вирусной составляющей, которая может вызывать отделенные патологические реакции, пока явно недостаточно. И это не единственная опасность, которую может нести донорский микробиом. Другой недостаток фекальной трансплантации заключается в том, что эта процедура не учитывает персональные особенности микробиоты, а это крайне важно для создания устойчивого консорциума бактерий. Альтернативой может быть подход, основанный на штаммах собственных бактерий человека, используемых для восстановления нормальной микробиоты в случае дисбиотических состояний. Этот подход — технология аутопробиотиков, или персонифицированная симбионтная терапия, — предполагает выделение отдельных представителей микробиоты в виде чистых культур, их генетический анализ и возвращение бактерий обратно в желудочно-кишечный тракт после размножения

их вне организма. В идеале штаммы бактерий хотелось бы выделять из микробиоты, заблаговременно сохраненной в криобанках. Но, как показал опыт клинических исследований, штаммы аутопробиотиков можно выделять и у людей с дисбиотическими состояниями. Обычно процедура от забора микробиоты до подготовки аутопробиотика в виде молочнокислой закваски занимает одну неделю, что позволяет пользоваться технологией даже в условиях клиники. В клинических исследованиях ИЭМа, пациентам с синдромом раздраженной кишки, неспецифическим язвенным колитом и пневмонией - аутопробиотики давали значительный положительный эффект. Несомненно, что перспективы коррекции микробиоценоза аутопробиотиками во многом зависят от создания сети криохранилищ для консервации микробиоты здоровых лиц в качестве резерва наиболее клинически эффективных штаммов.

Другой важной составляющей проекта является возможность осуществлять эффективную диагностику и профилактику социально значимых инфекций путем адресного выявления и контроля актуально значимых возбудителей с использованием новых диагностикумов и рекомбинантных химерных вакцин, позволяющих осуществлять элиминацию конкретных штаммов-возбудителей с определенным набором факторов патогенности. Двумя дополнительными группами исследований в рамках предлагаемого направления является поиск новых способов профилактики и лечения опухолевых заболеваний за счет бактериальных компонентов, а также создание новых диагностикумов на основе бактериальных рецепторных белков.

Современные методы исследования микробиоценозов

Давно признан факт, что традиционные микробиологические методы не только не в состоянии дать полную качественную и количественную характеристику микробиоценозов организма человека, но и тем более не позволяют анализировать особенности популяционных взаимодействий микроорганизмов, микробных «сигнальных систем», из которых и должны по большому счету складываться современные представления о микроэкологии человека. В первую очередь это связано с невозможностью культивирования более чем 50% представителей нормофлоры человека, а в случае, когда это возможно, дороговизна классических культуральных и биохимических подходов для характеристики биоценозов накладывает более чем существенные ограничения на их применимость в массовых исследованиях. Кроме того, эти методы практически всегда основаны на получении и изучении чистой культуры микроорганизмов, что полностью исключает возможность получения представления о биоценозе, как о системе.

Изучать микробиоту можно с использованием различных подходов. Например, описательная метагеномика может выявить структуру сообщества, изменение микробиома и относительного микробного разнообразия, основываясь на различных физиологических и экологических условиях. С другой стороны, функциональная метагеномика изучает взаимодействия хозяин-микроб и микроб-микробные. Такие исследования показывают связь между идентичностью микроба или сообщества и их соответствующей роли в окружающей среде. Тем не менее, основной проблемой при исследовании микрофлоры является невозможность культивирования большинства видов микроорганизмов. Для детального и объективного изучения взаимоотношений человеческого организма с его микросимбионтами, в биомедицинскую науку внедрены новые молекулярные, генетические и биохимические методы (т. н. «ОМИК» - технологии): геномика и метагеномика, эпигеномика и метаэпигеномика, транскриптомика, протеомика, метаболомика, феномика.

Новые технологии, прежде всего молекулярно-генетические, создали благоприятные предпосылки к появлению принципиально новых направлений в изучении как самих микробных популяций, так и особенностей межмикробных взаимоотношений и взаимовлияния микро- и макроорганизмов. Но только с разработкой и внедрением в широкую практику методов высокопроизводительного параллельного секвенирования, появилась реальная возможность перейти к осуществлению метагеномных исследований с достаточной для системного подхода глубиной. Использование генетических платформ типа GS FLX (Roche), HiSeq 2000 (Illumina), SOLiD™ 4 System (Applied Biosystems) позволяет проводить глубокие метагеномные исследования не только на основании анализа генов 16S рРНК, но и по результатам полного секвенирования генов микроорганизмов, их плазмид и вирусов, что существенно облегчает создание целостной картины взаимодействия организма человека с кишечным микробиоценозом.

Одной из наиболее заманчивых идей для ученых является возможность напрямую точно влиять на работу клетки. Для этого необходима, в первую очередь, идентификация генов, а далее прицельное воздействие на ДНК именно в области интересующего гена. Воздействие может быть разного характера: включение/выключение гена, внесение мутации и др. Для этого требуется уметь синтезировать белки, узнающие конкретную последовательность ДНК. Этот подход лечения – генная терапия, позволяющая доставлять в организм определенные гены, необходимые для диагностики и лечения, либо вводить малые РНК, «выключающие» гены, усиливающие ряд заболеваний – по мнению большинства ученых, является наиболее приоритетным.

Разработке разных подходов в генотерапии способствуют методики полногеномного скрининга генов методом GWAS (Genome-Wide Association Studies) — это направление генетических исследований, которое устанавливает связь между какими-либо признаками и генетическими маркерами; технологии редактирования генома – CRISPR/Cas; исследования индивидуальных геномов - NGS секвенированием геномов; регуляции функции гипоталамуса; направленной молекулярной коррекция метаболических путей.

Подробнее о методе редактирования генома – CRISPR/Cas и методике полногеномного секвенирования (WGS)

Метод CRISPR-Cas – биотехнологическое и медицинское значение

Большие возможности в генной терапии открывает использование технологии редактирования генома – CRISPR/Cas (от англ. *Clustered regularly interspaced short palindromic repeats* — короткие палиндромные повторы, регулярно расположенные группами). CRISPR – особые локусы бактерий и архей, состоящие из прямых повторяющихся последовательностей, которые разделены уникальными последовательностями (спейсерами). Спейсеры заимствуются из чужеродных генетических элементов, с которыми сталкивалась клетка (бактериофагов, плазмид). РНК, синтезированный с локусов CRISPR, совместно с ассоциированными белками Cas обеспечивают адаптивный иммунитет за счёт комплементарного связывания РНК с нуклеиновыми кислотами чужеродных элементов и последующего разрушения их белками Cas. Методы CRISPR-Cas успешно применяются в генной инженерии самых разных организмов: как многоклеточных и одноклеточных (дрожжи) эукариот, так и прокариот.

Применение CRISPR-Cas у микроорганизмов позволяет модифицировать их метаболические пути, что открывает возможности для развития новых биотехнологических стратегий. Кроме того, значение для биотехнологии имеет создание штаммов технологически важных бактерий, устойчивых к различным фагам за счёт CRISPR-Cas. CRISPR/Cas позволяет очень точно и безопасно изменять ДНК клеток. И если совместить технологию CRISPR/Cas с доставкой при помощи аденоассоциированных вирусов, то это, по-видимому, позволит воздействовать на организм, безопасно изменяя геном очень большого числа клеток. Использование метода CRISPR/Cas превзошло все ожидания и позволило с минимальным числом ошибок как «выключать» нужные гены, так и встраивать новые гены в строго определенные участки генома. Методы редактирования геномов с помощью CRISPR-Cas разработаны для модельных организмов (например, мышей, плодовой мушки *Drosophila melanogaster*, нематоды *Caenorhabditis elegans*, рыбы данио-

рерио и других. Важное значение имеют работы по редактированию генома с помощью CRISPR-Cas культур клеток млекопитающих, в том числе человека. В 2017 году этим методом был отредактирован геном человеческих эмбрионов. Некоторые бактерии способны сохранять фрагменты геномов инфекционных агентов, используя в качестве исходного материала не только ДНК, но и РНК. Такие бактерии могут развивать иммунитет к вирусам с РНК-геномами. Кроме того, благодаря CRISPR-системе, использующей РНК, бактериальный иммунитет учится реагировать на наиболее активные гены патогенов.

Методика полногеномного секвенирования (WGS)

В то время как технологии секвенирования ДНК улучшаются быстрыми темпами, вычислительные подходы, необходимые для анализа метагеномных данных не успевают за ростом объемов и разнообразием генерируемых данных. Для того чтобы разобраться с этой сложной задачей, необходимо иметь эффективные вычислительные инструменты, позволяющие изучать состав микробных сообществ и их свойства. Сборка метагеномных данных осложняется неравномерной представленностью разных микроорганизмов в сообществе, наличием как консервативных областей в последовательностях геномов отдаленных микроорганизмов, так и заметных отличий у близкородственных. В настоящее время не существует эффективных биоинформатических программ, позволяющих осуществлять качественную сборку таких неравномерных геномных данных. В результате чего вся экосистема в совокупности изучается или с помощью анализа 16S рНК генов, или методом полногеномного секвенирования (WGS). Анализ 16S рНК широко используется для построения филогенетических деревьев с целью определения микробного разнообразия. WGS при этом позволяет исследовать функции метагенома.

Благодаря революционным достижениям в области WGS уже накоплено огромное количество метагеномных данных, включая микробиты. Однако, короткая длина прочтений (ридов), повышенная сложность метагеномных данных, их неравномерность и фрагментарность очень осложняют анализ геномов микроорганизмов, входящих в состав сообществ. В итоге для качественной сборки и анализа результатов геномного сиквенса приходится использовать наборы аналитических инструментов, выбирая по ходу анализа оптимальные.

В мировой практике предпринято несколько попыток создать платформы, призванные упростить подбор наиболее подходящих инструментов и организацию их в аналитические цепочки (ex: Galaxy). Однако исследователям приходится вновь и вновь подбирать программы для каждого нового набора данных.

Вплотную подошли к решению этой сложной задачи ученые из Центра Алгоритмической биотехнологии СПбГУ. Ими накоплен богатый опыт разработки программных продуктов для обработки больших объемов данных сложного характера. Опыт исследователей этого центра по созданию геномных сборщиков (SPAdes, dipSPAdes, rnaSPAdes) и программ, помогающих быстро оценивать результаты работы разных сборочных программ (QUAST), позволит создать не только версии программ для анализа метагеномов, но и построить аналитические цепочки, позволяющие собирать, сравнивать, классифицировать микробные сообщества и выводить результаты анализа в виде удобных для использования отчетов и обеспечить исследователей простыми и удобными аналитическими подходами (pipelines), что повысит эффективность исследований в такой важной клинической области.

Сборка метагеномных данных осложняется неравномерной представленностью разных микроорганизмов в сообществе, наличием как консервативных областей в последовательностях геномов отдаленных микроорганизмов, так и заметных отличий у близкородственных. Ученые центра предлагают создать новый сборщик метагеномных данных на основе ранее разработанного ими и используемого в настоящее время в более чем 1000 лабораториях по всему миру сборщика SPAdes. Данный сборщик геномов признан лучшим в мире для сборки геномных последовательностей хромосом, выделенных из клеток культивируемых и некультивируемых микроорганизмов. На его основе создано целое семейство программных продуктов (сборочная программа QUAST) для работы с данными РНК анализа, сборки диплоидных геномов, и т.д., что позволит создать не только версии программ для анализа метагеномов, но и построить аналитические цепочки, позволяющие собирать, сравнивать, классифицировать микробные сообщества.

Задача сборки микробиоты человека в силу своей сложности потребует существенной доработки алгоритма и увеличения мощности программы, что позволит работать с огромным объемом данных, производимых при секвенсе микробиот большого числа пациентов.

Практическая значимость, возможные области применения

Анализ человеческой микробиоты направлен на детальное изучение микробных сообществ, обнаруженных в и на теле человека. Цель исследования человеческой микробиоты заключается в оценке ее влияния на здоровье и болезни людей. Традиционно образцы кожи, стул, кровь исследуются весьма трудоемкими микробиологическими методами, подразумевающими выращивание микроорганизмов в лабораторных условиях,

выделение отдельных организмов с последующим фенотипическим или генотипическим анализом. Однако, далеко не все микроорганизмы, входящие в состав микробиот, можно вырастить в лабораторных условиях. В результате чего состав микробиот остается недообследованным. Как известно, только 2% живущих на земле микроорганизмов поддается на данный момент культивированию.

Современные методы геномного секвенирования (NGS) позволяют анализировать совокупность всех микроорганизмов, обитающих одновременно, скажем, на коже или в желудке человека. При этом производится такое огромное количество данных, которое не представляется возможным анализировать без применения биоинформатических программ. Однако, далеко не всякие уже существующие программные продукты подходят для столь сложного анализа. Несмотря на то, что большие международные консорциумы, изучающие микробиоты в Европе, Америке и Японии, уже довольно долгое время занимаются подобными разработками, до сих пор так и не созданы эффективные и простые программы, позволяющие собирать и анализировать геномные данные микробиот. Исследователям приходится использовать множество различных инструментов в своей работе, что делает ее весьма трудоемкой.

В рамках предлагаемого проекта рассчитывается создать геномный сборщик, позволяющий эффективно работать с метагеномными данными, которыми и являются данные микробиот, и обеспечить исследователей простыми и удобными аналитическими подходами (pipelines), что повысит эффективность исследований в такой важной клинической области.

Микробиом и младенцы

Первые бактерии, с которыми встречается человек в момент рождения — преимущественно аэробные (кишечная палочка, стрептококки, энтерококки, лактобациллы и стафилококки). Но уже в первую неделю жизни новорожденного, питающегося молоком матери, их сменяют анаэробные бифидобактерии (Bifidobacteriaceae). Причины данного явления стали понятны, когда был секвенирован геном *Bifidobacterium longum* spp. In fantis и обнаружен участок, содержащий гены гликозидаз—ферментов, расщепляющих олигосахариды женского грудного молока до моносахаридов. Очевидно, без этих бифидобактерий в желудочно кишечном тракте ребенок не сможет эффективно усваивать поступающую пищу, что отразится на его развитии. С завершением грудного вскармливания рацион ребенка расширяется, и в составе его микробиоты начинают доминировать Bacteroidetes и Firmicutes. В дальнейшем у каждого человека

устанавливается индивидуальный набор микроорганизмов, и больше никаких возрастных изменений в составе микробиоты не происходит.

Значение микробиоты в жизни человека переоценить невозможно: бактерии участвуют почти во всех процессах метаболизма, синтезируют витамины, усиливают катаболизм холестерина до желчных кислот, защищают от патогенных микроорганизмов, влияют на работу иммунной, эндокринной, сердечно-сосудистой систем и даже центральной нервной системы.

Многочисленные вопросы — как способ рождения влияет на формирование микробиома и его видовой состав, какие долгосрочные эффекты он оказывает на формирование иммунной и нервной систем, можно ли использовать пробиотики для восстановления здоровой микрофлоры? Эти и многие другие вопросы стоят перед учеными. Качественный и количественный состав микробиома, от которого во многом зависит будущее здоровье человека, определяется во младенчестве.

Еще до недавнего времени считалось, что плод в утробе матери полностью огражден от контакта с миром микроорганизмов, то есть человек рождается полностью стерильным, а его заселение бактериями происходит позже. Но появились данные о том, что первые колонизаторы осваивают организм человека еще до его рождения. В ряде исследований было выявлено, что в плаценте, околоплодных водах, пуповинной крови и первичном кале — меконии — присутствуют бактерии родов *Enterococcus*, *Escherichia*, *Leuconostoc*, *Lactococcus* и *Streptococcus*, а у недоношенных младенцев — следы *Enterobacter*, *Enterococcus* (в меньшей степени, чем у доношенных), *Lactobacillus*, *Photobacterium* и *Tannerella*. Материнские пробиотические добавки во время беременности и грудного вскармливания снижают риск экземы у младенца.

То, как ребенок появляется на свет, — в ходе естественных родов или через кесарево сечение, — играет ключевую роль в формировании его кишечного микробиома. Исследования показали, что в кишечнике родившихся с помощью кесарева сечения младенцев отсутствуют штаммы кишечных бактерий (ну или их мало), обнаруженные у здоровых детей и взрослых. Вместо этого в их стуле обнаруживают бактерии, распространенные в больницах. К такому выводу пришла группа ученых из Великобритании, проанализировав микробиомы почти 600 новорожденных! У детей, рожденных путем кесарева сечения, риск развития ожирения, астмы и других заболеваний несколько выше, чем у детей, рожденных вагинально. Такие результаты часто объясняют разницей в микробиомах. Эти наблюдения привели к тому, что некоторые родители и врачи

пытаются восстановить «естественную» микробиоту младенцев, используя вагинальную жидкость. Покидая родовые пути естественным образом, доношенный новорожденный в небольших количествах заглатывает представителей вагинальной и кишечной микробиоты матери. В основном это бактерии родов *Prevotella*, *Sneathia* и *Lactobacillus*.

Если же родоразрешение происходит путем кесарева сечения, одними из первых колонизируют организм новорожденного представители кожных микробиомов матери и медицинского персонала, в основном — бактерии родов *Propionibacterium*, *Corynebacterium* и *Streptococcus*. У таких младенцев отмечают замедление заселения кишечника филой *Bacteroidetes* и низкое бактериальное разнообразие в течение первых двух лет жизни. Однако с четырех месяцев различия в бактериальном разнообразии с естественно рожденными детьми начинают стираться, и к 12 месяцам практически исчезают. По-настоящему серьезный контакт с миром микроорганизмов происходит после рождения, и во многом от того, как пройдет эта встреча, зависит будущее здоровье человека. Колонизация кишечника у здоровых детей укладывается в четыре последовательные временные фазы.

Первая длится от момента рождения до двух недель. Микробная популяция в этот период представлена в основном стрептококками и кишечной палочкой. В зависимости от вида вскармливания — грудного или искусственного — через некоторое время присоединяются бифидо- или лактобактерии соответственно. В небольших количествах обнаруживаются и представители родов *Clostridium* и *Bacteroides*.

Через две недели начинается вторая фаза, которая продолжается до введения в рацион прикорма. В это время увеличивается численность представителей рода *Bacteroides*. С момента введения прикорма начинается третья фаза, длящаяся до завершения грудного вскармливания. В эту фазу окончательно формируется микробиом ребенка: постепенно, по мере увеличения в рационе доли твердой пищи и снижения доли грудного молока, растет количество бактериоидов и анаэробных грамположительных кокков (пептококков и пептострептококков). Окончание грудного вскармливания знаменует переход к четвертой фазе. Она характеризуется относительной стабильностью микробного состава, который сохраняется в течение всей жизни индивида.

Не менее важным фактором в формировании микробиома новорожденного является характер питания. Грудное молоко — оптимально сбалансированная пища для младенца, обеспечивающая его нормальное развитие. Как известно, в первые дни жизни именно оно защищает ребенка от инфекционных болезней и способствует снижению смертности

от них за счет содержания множества иммунных факторов: Т- и В-лимфоцитов, плазматических клеток, *иммуноглобулинов* (в первую очередь IgA) и антимикробных ферментов (*лизоцима и лактоферрина*). Установлено, что грудное вскармливание в какой-то мере предотвращает развитие таких хронических заболеваний, как сахарный диабет и ожирение. И, несомненно, грудное молоко способствует формированию «здорового» микробиома. Независимо от того, материнское или донорское грудное молоко используется для вскармливания, у каждого младенца формируется свой особый микробиом. Заслуга в этом принадлежит *олигосахаридам молока человека* (ОМЧ). В составе женского молока около 8% отведено перевариваемым ОМЧ — *пребиотикам*, поддерживающим рост *Bifidobacterium longum subsp. infantis*. При этом профиль ОМЧ у каждой женщины уникален, что обеспечивает, в свою очередь, индивидуальность младенческого микробиома.

Здоровье матери также играет важную роль в формировании микробного состава молока. В первый месяц лактации в молоке страдающих ожирением женщин преобладают *Lactobacillus*, однако через полгода их сменяют представители рода *Staphylococcus*, которые, как показывают исследования, начинают преобладать и в кишечнике тучных младенцев, в связи с чем ученые предположили существование связи между особенностями микробиома женского молока и паратрофией у детей.

Доказательства, связывающие микрофлору кишечника с растущей эпидемией ожирения, являются слишком противоречивыми и неубедительными, чтобы доказать "причину или следствие". Это может быть связано с различиями в методах исследования, контроле диеты, генетической склонности людей к ожирению, и других факторов, связанных с образом жизни.

Недавние эксперименты показали, что изменения микрофлоры относятся к причинам ожирения, а не к его следствиям. Если кишечник гнотобиотических мышей заселить микробиотой мышей с ожирением, животные будут набирать вес быстрее, чем в случае пересадки бактерий от худых мышей. Более того, по составу микробиоты можно с 90-процентной вероятностью предсказать, есть ли у человека ожирение.

Таким образом, в будущем возможно, регулируя изменения состава кишечной микрофлоры человека, регулировать его вес.

Особую тревогу вызывает рост числа детей, страдающих тяжелыми микробиомными расстройствами с раннего возраста. Как известно, становление микрофлоры, происходящее

в первый год жизни, закладывает фундамент для поддержания здоровья ребенка, его нормального роста и развития. К сожалению, в современных условиях характер первичной микробной колонизации претерпел критические изменения, что связано прежде всего с ухудшением репродуктивного здоровья молодого поколения, увеличением контингента женщин с перинатальными факторами риска, нерациональным медикаментозным лечением. Это приводит к неуклонному увеличению детей с первичными нарушениями в микробной экологической системе. Именно с нарушениями становления микробиома связаны многие проблемы со здоровьем ребенка, возникающие на первом году его жизни и осложняющиеся в последующем. Дальнейшему углублению микробиомных расстройств, развитию и хронизации инфекционных и соматических заболеваний способствуют многочисленные факторы экологического, трофического, нервно-эмоционального, медикаментозного и другого характера – они оказывают существенное влияние на состояние микробиома человека любого возраста. Эффективность терапии снижает и применение в лечении больных устаревших подходов, не учитывающих значительный вклад в развитие патологии нарушений в системе микробов-симбионтов. Накапливается все больше фактов, свидетельствующих, что ряд широко используемых фармацевтических препаратов губительно влияют на микробиом и иммунитет пациентов. Вот почему лечение любого заболевания должно быть комплексным и обязательно предусматривать восстановление естественной защитной системы организма, основными составляющими которой являются микробная система, неразрывно с ней связанная иммунорезистентность и антитоксическая защита.

Поддержание физиологического состояния микробиома на всех этапах жизни человека – начиная с внутриутробного развития плода и до глубокой старости – играет значимую роль в улучшении здоровья популяции всех возрастных категорий. Современная наука вполне способна решить эту задачу. Сегодня наиболее признанными средствами оздоровления микробиома, безусловно, остаются пробиотики, которые уже нашли широкое применение в составе многих лечебных и профилактических схем. При этом продолжают совершенствоваться технологии производства пробиотиков в направлении создания инновационных средств, обладающих направленными механизмами действия, что в перспективе позволит повысить эффективность методов лечения больных и поддержания здоровья в нормальном состоянии. Благодаря многочисленным исследованиям, проведенным ведущими специалистами в различных областях микробиологии и медицины, удалось достичь значительного прогресса в изучении микробиома и достаточно успешно

использовать научные достижения при разработке принципиально новых оздоровительных средств, эффективность которых убедительно доказана клинической практикой.

Механизмы множественной устойчивости бактерий к противомикробным препаратам.

Разработка новых технологий эпидемиологического надзора за мультиантибиотикорезистентными штаммами возбудителей

В конце XX в. человечество столкнулось с новыми проблемами, осознание причин которых пришло лишь в начале XXI в. Так, резко возросло количество сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний, увеличилось число людей, страдающих сахарным диабетом и ожирением. Кроме того, стало все труднее лечить инфекционные болезни ввиду появления устойчивых к антибиотикам штаммов бактерий.

Таким образом, в медицине произошли серьезные изменения как в спектре заболеваемости в целом, так и в спектре инфекционных патологий, во многом вызванных возбудителями, ранее относившимися к малопатогенным (энтерококки, кишечная палочка, эпидермальные стафилококки, стрептококки группы В, пилорический хеликобактер) и обладающими широким спектром лекарственной устойчивости. При этом неадекватная терапия антибиотиками часто сопровождается серьезными дисбиотическими состояниями, вызванными нарушением микробиоты заболевших. Таким образом, современная медицина «расплачивается» за чрезмерный энтузиазм, возникший после начала широкого применения антимикробных препаратов.

Оказалось, что бактериальные штаммы, составляя единый глобальный микробиом, обладают возможностью активно «черпать» практически любые гены устойчивости либо от соседей по микробиоценозу, либо из окружающей среды. Поэтому неадресное и неосторожное применение антибиотиков неизбежно приводит к появлению лекарственно устойчивых форм. Инфекционный процесс теперь рассматривается как дисбиотическое состояние с превалированием одного или нескольких возбудителей в составе микробиоценоза. А концепция терапии инфекционного заболевания, направленная на уничтожение возбудителя, меняется на комплекс лечебных мероприятий, направленных на восстановление естественного микробиоценоза, свойственного конкретному индивидууму, и эффективность лечения инфекционного заболевания зависит от точной диагностики возбудителя, выявления у него генов лекарственной устойчивости и вирулентности.

В последнее время выходит все больше публикаций, в которых предлагается создавать вакцины с помощью методов геной инженерии, которые позволяют встраивать ген вирулентного микроорганизма, отвечающий за синтез определенного антигена, в геном безвредного микроорганизма. Такие искусственно созданные (рекомбинантные) вакцины могут нести одну химерную молекулу пептида или целый комплекс различных антигенов бактерий. Поскольку в качестве вакцины используют участки белков, относимых к факторам вирулентности, элиминируются бактерии, относящиеся к наиболее патогенным штаммам. Такого рода селективная вакцинопрофилактика инфекций позволяет адресно менять микробиотный состав без существенного изменения микробиоценоза.

Другим микрoэкологически обоснованным подходом к терапии инфекций можно считать использование естественных врагов бактерий — бактериофагов и антимикробных пептидов бактериоцинов, продуцируемых пробиотиками. Интерес к пробиотикам связан с тем, что они не только обладают антагонистической активностью в отношении патогенов (т.е. не позволяют размножаться нежелательным микробам, подавляют их своим численным преимуществом), но и восстанавливают естественный микробиоценоз человека.

Появление множественной лекарственной устойчивости (МЛУ) ко все более широкому спектру антибиотиков у все большего числа патогенных бактерий представляет на сегодняшний день серьезную угрозу здоровью человечества. Отчасти это связано с бесконтрольным использованием антибиотиков не только в клинической практике, но и в различных отраслях сельского хозяйства. МЛУ обусловлена двумя механизмами: 1) накоплением генов устойчивости в результате интенсивного отбора при действии антибиотиков и 2) активным горизонтальным переносом генов устойчивости. Для понимания причин возникновения полирезистентности бактериальных штаммов к антибиотикам, необходимо знание механизмов действия антибиотиков, механизмов возникновения устойчивости к отдельным антибиотикам и механизмов накопления и передачи генов устойчивости между бактериями.

На сегодняшний день существуют разнообразные способы классификации антибиотиков, в том числе по происхождению, по классам химических веществ, по продуцентам, по мишени действия и т. д.

Действие антибиотиков может быть бактериостатическим и бактерицидным. По механизмам действия антибиотики можно разделить на следующие четыре группы:

- 1) подавляющие синтез клеточной стенки;

- 2) нарушающие функции цитоплазматической мембраны;
- 3) ингибирующие синтез белка на рибосомах;
- 4) ингибирующие синтез нуклеиновых кислот.

Большое разнообразие антибиотиков с широким арсеналом механизмов действия позволяет атаковать разные мишени, охватывая всю клетку. Тем не менее бактерии находят способы противостоять этой атаке.

Устойчивость бактерий к антибиотикам может быть врожденной и приобретенной. Врожденная устойчивость характеризуется отсутствием у микроорганизмов мишени действия антибиотика или недоступностью мишени вследствие исходно низкой проницаемости клеточной стенки или ферментативной инактивации антимикробного агента. Такая устойчивость является видоспецифичной для бактерий. Приобретенная устойчивость возникает вследствие отбора микроорганизмов при действии антимикробного средства либо за счет возникновения мутаций хромосомной или плазмидной ДНК, либо путем горизонтального переноса генов устойчивости. Классификацию типов устойчивости можно проводить по группам антибиотиков

Приобретенная устойчивость — штаммоспецифичный признак. Разные бактерии могут обладать разными механизмами устойчивости к одинаковым противомикробным агентам.

Таким образом, устойчивость бактерий к антибиотикам может зависеть от бактерии, от агента и от механизма устойчивости. Помимо этого, у бактерий есть механизм активного выведения антибиотиков из клетки, связанный с работой специализированных белковых трансмембранных помп, так называемый активный эффлюкс. Таким способом из клетки могут выводиться практически все классы антибиотиков, кроме гликопептидов, что может приводить к множественной устойчивости к антибиотикам у самых разных видов бактерий.

Устойчивость бактериальных клеток к антибиотикам может определяться целым рядом генов, кодирующих специфичные белки, разрушающие антибиотики (бета-лактамазы), защищающие мишень действия антибиотика (гены белков RPP), обеспечивающие активный эффлюкс антибиотиков (локус *mar* и другие гены транспортеров). Кроме того, устойчивость может быть связана с мутациями генов, кодирующих мишени действия антибиотиков. Однако сложно представить себе, что все эти многочисленные варианты генов, придающие бактериям устойчивость к нескольким антибиотикам одновременно, могут возникнуть за короткий срок в одном штамме

благодаря мутационному процессу. Бактерии нашли другой путь достижения МЛУ — разнообразные механизмы горизонтального переноса, позволяющие даже филогенетически отдаленным видам бактерий обмениваться генетической информацией.

Штаммы со множественной лекарственной устойчивостью описаны уже не только в клинических изолятах, но и в естественной природе. Уже можно говорить о природных резервуарах устойчивых к антибиотикам бактерий, грозящих новыми рисками распространения и появления новых патогенных видов бактерий с МЛУ, которые раньше не были клинически значимы.

Бактериальный ответ на антибактериальное «нападение» — это яркий пример адаптации и вершина эволюции. И тем не менее использование антибиотиков остается осознанной необходимостью в клинической практике, а при разработке новых антибиотиков необходимо понимание того, что микроорганизмы будут реагировать на них и устойчивость к ним будет развиваться.

Формирование и динамика резистома человека

Независимо от механизмов формирования резистентности быстро накапливаются данные о существовании в окружающей среде резервуара генов резистентности, оценить объем, которого в настоящее время даже приблизительно не представляется возможным. Гены резистентности удается обнаружить в образцах почвы из вечной мерзлоты в возрасте более 5 000 лет, в пещерах, изолированных от окружающей среды более 1 млн лет назад]. Филогенетический анализ свидетельствует, что эволюция некоторых бета-лактамаз продолжается более 2 млрд лет. Для обозначения совокупности генов резистентности всей глобальной микробиоты, либо микробиоты определенной экологической ниши предложен специальный термин «резистом».

Важным этапом в понимании механизмов распространения антибиотикорезистентности стало формирование представлений о роли в этом процессе резистома кишечника и других локусов организма человека. Подавляющее большинство представителей микробиоты человека необходимы для нормального функционирования организма хозяина и практически полностью лишены патогенного потенциала.

Однако определенная их часть, прежде всего *Enterobacteriaceae spp.*, *Enterococcus spp.* и некоторые другие относятся к типичным условным патогенам, роль которых особенно велика при госпитальных инфекциях. Как и в случае с изучением микробиома человека, принципиальный прогресс в изучении резистома был получен с внедрением в

практику метагеномных технологий. При использовании таких подходов в кишечнике здоровых людей из различных географических регионов удается обнаружить гены резистентности к антибиотикам практически всех классов. При этом частота встречаемости генов резистентности выше в тех странах, где выше общие объемы потребления антибиотиков в медицине и сельском хозяйстве.

Однако эта закономерность не носит универсального характера. Значительный теоретический и практический интерес представляет изучение динамики резистома у пациентов, получающих антибактериальную терапию в стационарах. Оказалось, что интенсивная антибактериальная терапия не всегда приводит к увеличению частоты выделения генов резистентности. Изучение динамики формирования резистома у близнецов выявило, что уже через 2 месяца после рождения, их резистомы различаются между собой и отличаются от резистома матери.

Таким образом, изучение закономерностей формирования и резистома желудочно-кишечного тракта и других локусов организма человека следует признать принципиально важным моментом для выявления закономерностей процессов формирования и распространения антибиотикорезистентности, а также разработке подходов к ее сдерживанию.

Молекулярно-генетические механизмы формирования резистентности микромицетов к современным противогрибковым препаратам

Исследования по изучению молекулярно-генетических механизмов формирования резистентности микромицетов к современным противогрибковым препаратам, проводятся в Северо-Западном государственном медицинском университете им. И.И. Мечникова, в НИИ медицинской микологии им.П.Н. Кашкина. Разработки ученых направлены на определение спектра мутационных изменений генов, кодирующих белки-мишени действия триазолов (ферменты биосинтеза эргостерола) и эхинокандинов (1,3- β -D-глюкан синтазу), характерных для грибов рода *Candida*, распространенных в РФ. Полученные результаты лягут в основу разработки тест-системы для быстрой диагностики резистентности методом ПЦР.

Основная инновационная идея заключается в исследовании генов, кодирующих белки, отвечающие за генетическую стабильность микроорганизма, раскрытия их вклада в патогенез инфекционного процесса, вызванного грибами *Candida spp.*, определения роли их аллельных вариантов в риске развития патологии.

Разработка новых технологий эпидемиологического надзора за мультиантибиотикорезистентными штаммами возбудителей инфекционных заболеваний

Ученые СЗГМУ им. И.И. Мечникова, изучая молекулярно-генетические механизмы формирования резистентности микромицетов, лекарственной устойчивости штаммов возбудителей инфекционных заболеваний, используют комбинации различных методов (методов молекулярной эпидемиологии, популяционной генетики при оценке частотности генотипов, несущих отдельные генетические элементы, методов филогенетического анализа, в т.ч. целых геномов). На основе этих исследований получено целостное представление о роли широко распространенных мобильных генетических элементов, различающихся по функциям, в эволюции эпидемических штаммов возбудителей с множественной устойчивостью к антимикробным препаратам. Полученные данные могут стать основой предложений по совершенствованию системы эпидемиологического надзора за инфекциями, связанными с оказанием медицинской помощи, в частности усовершенствования алгоритмов молекулярно-генетического мониторинга за возбудителями данной группы инфекций.

Исследования по разработке новых технологий надзора за мультиантибиотикорезистентными штаммами возбудителей инфекционных заболеваний направлены на решение фундаментальной проблемы прогнозирования, формирования и распространения эпидемических клонов возбудителей инфекционных заболеваний человека, обладающих устойчивостью к антибактериальным препаратам, на основе комплексной оценки изменений мобильной части генома, локализованных в профагах, островах патогенности и CRISPR-элементах.

Актуальность решения этой научной проблемы определяется нарастающим многообразием патогенных, в том числе обладающих множественной устойчивостью к антимикробным препаратам, вариантов микроорганизмов, происходящим вследствие глобальных социальных и экологических процессов, затрагивающих современное общество.

Проблема устойчивости к лекарственным препаратам наиболее ярко проявляется в отношении возбудителей инфекций, связанных с оказанием медицинской помощи (далее ИСМП). Данные заболевания поражают 5-10% пациентов, находящихся в стационарах, в том числе не менее половины пациентов отделений реанимации и интенсивной терапии. При этом только лишь с одним из антибиотикорезистентных возбудителей ИСМП – метициллин-резистентным *Staphylococcus aureus* (MRSA) в США связано около 19 000

смертей ежегодно, что существенно превышает суммарное число лиц, погибающих от ВИЧ/СПИДа. В России по данным официальной статистики ежегодно регистрируется примерно 30 тыс. случаев инфекций, связанных с оказанием медицинской помощи ($\approx 0,8$ на 1 000 пациентов), однако экспертные оценки, основанные на экстраполяции данных статистики зарубежных стран, в частности США, показывают что их истинное число составляет не менее 2-2,5 млн. человек. Экономический ущерб, причиняемый внутрибольничными инфекциями, огромен: ежегодные затраты на лечение ИСМП в Европе составляют примерно 7 млрд евро, в США – 15 млрд долларов.

Таким образом, инфекции, связанные с оказанием медицинской помощи, в полной мере могут быть отнесены к категории «социально-значимых» заболеваний. Проблема устойчивости бактериальных возбудителей ИСМП к антибиотикам характеризуется глобальным характером распространения детерминант резистентности, при этом значительную угрозу представляет возможность выноса и распространения устойчивых к антимикробным препаратам микроорганизмов или генетических структур, содержащих гены антибиотикорезистентности, за пределы стационаров. Госпитальная среда в данном контексте рассматривается как своеобразный «плавильный котел», в котором формируются новые вирулентные и устойчивые к антимикробным препаратам штаммы возбудителей инфекционных заболеваний. Данное обстоятельство позволяет поставить вопрос о необходимости слежения за госпитальными популяциями микроорганизмов с целью прогнозирования формирования и распространения новых мультиантибиотикорезистентных эпидемических клонов. Востребованность слежения за клональной структурой популяций микроорганизмов с множественной лекарственной устойчивостью обусловлена также необходимостью быстрого реагирования на эпидемические вспышки, обусловленные постоянно появляющимися новыми генотипами возбудителями ИСМП.

Исследования в рамках данного направления, сконцентрированы на разработке теоретической базы для эффективного осуществления молекулярно-генетического мониторинга возбудителей ИСМП в том числе, с использованием технологий, которые позволят получить наиболее полноценную информацию об изменениях в геномах возбудителей инфекционных заболеваний – методов глубокого секвенирования и анализа полных геномов микроорганизмов. На протяжении ряда лет коллективом кафедры эпидемиологии, паразитологии и дезинфектологии ГБОУ ВПО «Северо-западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Минздрава России велись исследования в области молекулярной эпидемиологии инфекций, обусловленных

патогенными и условно-патогенными бактериями, в ходе которых разработан ряд оригинальных методических подходов к использованию методов молекулярно-генетического типирования в эпидемиологии и создана обширная коллекция эпидемических штаммов возбудителей инфекционных заболеваний. В качестве объектов исследования коллектив авторов использовали, актуальные с эпидемиологических позиций, группы микроорганизмов, характеризующиеся способностью к формированию штаммов с множественной лекарственной устойчивостью. Представляется важным отметить, что возбудители всех изучаемых инфекций, несмотря на имеющиеся биологические различия, способны формировать обширные эпидемические сети за счет глобального географического распространения эпидемических (пандемических) клонов. Данное обстоятельство позволяет рассчитывать на разработку универсальных подходов к организации молекулярно-генетического мониторинга в системе эпидемиологического надзора за ними. С другой стороны, учитывая растущую множественную лекарственную устойчивость изучаемых микроорганизмов и их склонность к быстрому эпидемическому распространению, при отсутствии серьезных перспектив этиотропной терапии совершенствование эпидемиологического надзора за ними является насущной проблемой, требующей скорейшего решения. Обобщая насущные проблемы, поставленные исследователями, требующими скорейшего решения, хочется подчеркнуть, что метагеномика открыла двери для беспрецедентного исследования микробных сообществ, обитающих в окружающей среде, включая микробиоту животных и человека.

Пробиотики и ТФМ для восстановления баланса микробиоты

Спектр исследований влияния микробиоты на различные болезни расширяется. Так, недавние исследования проливают свет на поразительное влияние микрофлоры на развитие рака и эффективность некоторых методов лечения, хронический вирусный гепатит С и цирроз печени В руководстве Рахмановой А.Г. и соавторов представлены результаты многолетнего труда исследователей по проблемам вирусных гепатитов, преимущественно прогрессирующих хронических и тяжелых форм с учетом оригинальных исследований выдающихся представителей ленинградской-петербургской школы эпидемиологов-инфекционистов, хирургов, патоморфологов и биохимиков. С новых позиций освещены важнейшие направления лабораторной диагностики и мониторинга противовирусной терапии хронического гепатита разной степени активности, а также в цирротической стадии заболевания и гепатоцеллюлярной карциномы. Приведены оригинальные методы прогноза, лечения и профилактики осложнений портальной гипертензии у больных с

цирротической стадией заболевания, путем совершенствования хирургической тактики и комплексного применения современных эндоскопических и эндоваскулярных технологий.

Обобщая вышеперечисленные исследования многих заболеваний, связанных с нарушением состава нормальной микробиоты, возникает необходимость совершенствования имеющихся и поиск новых методов по восстановлению баланса микробиоты. Общеизвестна роль применения пробиотиков, синбиотиков для восстановления баланса, и в последние годы все чаще используется метод трансплантации фекальной микробиоты (ТФМ).

Глобальное руководство по пробиотикам и пребиотикам Всемирной организации гастроэнтерологов (WGO) от 2011 г. описывает эффективность применения пробиотиков в лечении и профилактике острой диареи, в т. ч. и антибиотик-ассоциированной, лечении аллергической экземы, неспецифического язвенного колита (НЯК), профилактике паучита. Там же указано, что пробиотики улучшают переваривание лактозы у пациентов с лактазной недостаточностью и тем самым улучшают течение заболевания, а синбиотики (комбинация пробиотиков и пребиотиков) – уменьшают проявления печеночной энцефалопатии у пациентов с циррозом печени.

В последнее время выходит все больше публикаций, в которых предлагается создавать вакцины с помощью методов геной инженерии, которые позволяют встраивать ген вирулентного микроорганизма, отвечающий за синтез определенного антигена, в геном безвредного микроорганизма. Такие искусственно созданные (рекомбинантные) вакцины могут нести одну химерную молекулу пептида или целый комплекс различных антигенов бактерий. Поскольку в качестве вакцины используют участки белков, относимых к факторам вирулентности, элиминируются бактерии, относящиеся к наиболее патогенным штаммам. Такого рода селективная вакцинопрофилактика инфекций позволяет адресно менять микробиотный состав без существенного изменения микробиоценоза.

Другим микрoэкологически обоснованным подходом к терапии инфекций можно считать использование естественных врагов бактерий — бактериофагов и антимикробных пептидов бактериоцинов, продуцируемых пробиотиками. Интерес к пробиотикам связан с тем, что они не только обладают антагонистической активностью в отношении патогенов (т.е. не позволяют размножаться нежелательным микробам, подавляют их своим численным преимуществом), но и восстанавливают естественный микробиоценоз человека.

Термин «пробиотик» появился в 1980 х годах, после возрождения интереса к полезным бактериям в США и Западной Европе. К тому времени в нашей стране уже было проведено значительное количество исследований. Были подобраны наиболее эффективные штаммы пробиотиков, установлена их антагонистическая активность по отношению к патогенам, разработан целый ряд уникальных методик, позволяющих оценить действие бактерий в организме. В настоящее время пробиотики как компоненты функционального питания или лечебные препараты широко применяются во всем мире.

Начиная с Мечникова и его сотрудников, исследования пробиотиков были сосредоточены преимущественно на роде *Lactobacillus*. В России более 80% рынка пробиотиков составляют препараты на основе энтерококков «Линекс» и «Бифиформ». Среди других пробиотических штаммов следует отметить бифидобактерии, которые также известны как компоненты многих пробиотических препаратов и пищевых продуктов. Пробиотики содержат разные виды бацилл, кишечной палочки, сахаромицетов и некоторых бактероидов и клостридий. К настоящему времени проведено большое количество клинических исследований пробиотиков, доказывающих их эффективность для лечения различных желудочно-кишечных заболеваний. Но прием пробиотических бактерий (иногда плохо изученных) у отдельных пациентов может приводить к конфликту с их собственной уникальной микробиотой и по-разному действовать на ткани хозяина. Возможные побочные эффекты микробной терапии, которая оказалась эффективной в большинстве исследований, детально обсуждается в современной литературе, причем основной вывод заключается в необходимости правильно применять пробиотики. Точный прогноз функционирования пробиотиков в кишечнике невозможен без понимания физиологии пробиотических штаммов и условий их взаимодействия с организмом хозяином.

Механизмы пробиотического действия

В многочисленных обзорах упоминается несколько требований к пробиотическим штаммам. Они должны:

- быть человеческого или животного происхождения в зависимости от их предполагаемого использования;
- выживать в достаточном количестве, проходя через барьеры желудка и 12 перстной кишки;
- обладать антагонизмом к патогенным бактериям и препятствовать транслокации бактерий через кишечную стенку;

- быть способными активно прилипать к кишечному эпителию (обладать адгезивностью);
- стимулировать иммунную систему.

На деле ни один из известных пробиотических штаммов не отвечает этим критериям в полной мере, либо имеющиеся исследования неубедительны. Принадлежность пробиотического штамма к определенному хозяину часто сомнительна. Адгезивность пробиотика рассматривается сегодня скорее как негативный, а не позитивный признак штамма, поскольку стало известно, что многие адгезины — факторы патогенности. Три наиболее важные функции пробиотических штаммов: антагонистический потенциал, влияние на процесс пищеварения и иммуномодуляция.

Антагонистические свойства бактерий пробиотиков часто характеризуются высокой избирательностью, что определяет необходимость подбора пробиотиков в зависимости от доминирующего инфекционного агента. Появление пробиотиков в желудочно - кишечном тракте вызывает существенные метаболические сдвиги в организме. Однако действие вводимых бактерий, как правило, трудно отличить от активности собственной микробиоты, поэтому такие реакции лучше изучать на моделях, выращенных в стерильных условиях - гнотобионтах или животных с искусственно вызванным дисбиозом. С другой стороны, организмы со «здоровой» микробиотой, как правило, устойчивы к колонизации внешних микроорганизмов. Оценка иммуномодулирующих свойств обычно производится либо на организмах с уже сформированной микробиотой, либо на гнотобионтах, у которых, как известно, не развита врожденная иммунная система.

Для восстановления нормального микробиоценоза можно использовать не только пробиотики. Другое решение проблемы — так называемая фекальная трансплантация. Эта медицинская процедура основана на полной замене микробиоты человека, страдающего дисбиозом, микробиотой здорового донора.

В 2017 г. был выпущен консенсус Европейской рабочей группы по трансплантации фекальной микробиоты (ТФМ) (The European FMT Working Group), в котором ТФМ была рекомендована для лечения рецидивирующей инфекции, вызванной *Clostridium difficile*, умеренной и тяжелой степени, а также резистентных к стандартной терапии форм (уровень рекомендаций: высокий).

Трансплантация фекальной микробиоты заключается во введении микробиоты здорового донора пациентам через естественные пути для восстановления их микробной

экосистемы. Этот метод известен и применяется давно. Первые упоминания об этом методе относятся к 4 веку нашей эры в Китае. В XVII веке о применении фекальной трансплантации для лечения животных сообщал итальянский анатомом Ф. Асқуарпенденде. Потребление верблюжьих фекалий для лечения дизентерии было описано как немецкими солдатами во время Первой мировой войны, так и бедуинами. В научной медицине первое сообщение о ТФМ появилось только в 1958 г., когда американский хирург В. Eiseman с соавт. описали успешное применение фекальных клизм в лечении четырех пациентов с тяжелым псевдомембранозным колитом. Логическим обоснованием применения ТФМ было то, что большинство случаев псевдомембранозного колита развивались после лечения пероральными антибиотиками широкого спектра действия, что могло привести к избыточному росту в кишечнике устойчивых к антибиотикам патогенных бактерий. К концу XX века были опубликованы исследования о применении ТФМ в ряде патологических состояний. Большинство опубликованных к настоящему времени сообщений о применении ТФМ являются описаниями серий случаев и относятся к лечению инфекции *Clostridium difficile* (клостридиальная инфекция), ВЗК и СРК.

Только недавние исследования полностью поддержали ее использование в лечении инфекций, вызванных *Clostridium difficile*, и в настоящее время она рекомендована для лечения этих заболеваний органами здравоохранения. Процедура основана на создании суспензии свежего или замороженного жидкого кала здорового донора, которую вводят в пищеварительный тракт пациента, в основном в нижние отделы ЖКТ с помощью клизмы или в верхние отделы ЖКТ через назодуоденальный зонд (введение в виде более удобных капсул в настоящее время изучается).

Трансплантация фекальной микробиоты эффективна для лечения инфекции, вызванной *Clostridium difficile*, в 80–90 % случаев (в этом случае эффективность определяется как отсутствие рецидивов диареи в течение 10 недель). Эти результаты лучше, чем при применении антибиотиков. Хотя конкретные механизмы данной терапии не до конца понятны, вероятно, что внесение здоровой микробиоты путем трансплантации работает по механизму экологической конкуренции с *Clostridium difficile* за питательные вещества. Изучается использование этого метода и при других заболеваниях: есть данные о применении данной терапии у пациентов с хроническими воспалительными заболеваниями кишечника (ВЗК), а также у пациентов с синдромом раздраженного кишечника (СРК) и ожирением. Однако данная методика была разработана слишком недавно, чтобы можно было оценить возможные побочные эффекты и отдаленную эффективность.

Так, Аллогенная трансплантация гемопоэтических стволовых клеток (Алло-ТГСК), применяемая при лечении онкогематологических заболеваний, часто сопровождается жизнеугрожающими иммунными и инфекционными осложнениями, рефрактерными к стандартной иммуносупрессивной и антибактериальной терапии. К методам восстановления функциональной активности микробиоты и способам преодоления антибиотикорезистентности в таких случаях может быть отнесена трансплантация фекальной микробиоты (ТФМ).

В настоящее время аллогенная трансплантация гемопоэтических стволовых клеток (алло-ТГСК) – один из наиболее эффективных методов лечения злокачественных заболеваний системы крови, ряда солидных опухолей, имеющих высокий риск развития резистентности к химиотерапевтическим и таргетным препаратам, а также наследственных заболеваний. Вместе с тем, данный метод сопряжен с вероятностью развития жизнеугрожающих осложнений. Высокодозная химиотерапия и/или лучевая терапия (режим кондиционирования), предшествующие алло-ТГСК, направлены на элиминацию злокачественных клеток и создание условий иммунологической толерантности, необходимых для приживания донорского трансплантата. Однако, совместно с иммуносупрессивной терапией, они оказывают токсическое воздействие на органы и ткани, в том числе на пищеварительную систему, приводя к их функциональным нарушениям и органическим повреждениям. Длительный период агранулоцитоза, нарушение клеточного и гуморального звеньев иммунитета при алло-ТГСК являются ключевыми факторами риска развития бактериальных, грибковых и вирусных инфекций, в то время как широкое применение антибиотиков на всех этапах лечения приводит к селекции микробиоты, резистентной к антибактериальной терапии. Одним из основных терапевтических механизмов алло-ТГСК является иммунная реакция «трансплантат против лейкоза/опухоли», которая, помимо иммуноадаптивного эффекта, часто сопровождается осложнениями, вызванными реакцией «трансплантат против хозяина» (РТПХ), при которой донорские лимфоциты оказывают повреждающее действие на эпителиальные клетки и другие ткани реципиента. Основными органами-мишенями при острой РТПХ являются клетки кожи, ЖКТ и печени. Острая РТПХ ЖКТ III–IV степени тяжести проявляется секреторной диареей большого объема, высоким риском развития желудочных и кишечных кровотечений, парезом кишечника. В случае неэффективности иммуносупрессивной терапии происходят декомпенсация адаптационных резервов организма и развитие белково-энергетической недостаточности, синдрома множественной органной дисфункции (СМОД), присоединение или усугубление тяжести инфекционных

осложнений, что сопряжено с высокой (до 80%) летальностью. Трансплантация фекальной микробиоты (ТФМ), которая обладает иммуномодулирующим эффектом и направлена на эрадикацию антибиотикорезистентной патогенной микробиоты, может рассматриваться как вариант терапии спасения у пациентов в критическом состоянии при острой РТПХ ЖКТ.

В литературе описаны аналогичные результаты лечения острой РТПХ кишечника с применением ТФМ. Предположительно, механизм действия ТФМ связан с воздействием отдельных классов микробиоты на местный иммунный ответ. Так, некоторые микроорганизмы, например, *Clostridium spp.*, *Bifidobacterium spp.*, синтезируют из пищевых волокон короткоцепочечные жирные кислоты (бутират, ацетат, пропионат), позитивно влияющие на функцию Т-регуляторных клеток, моделирующих иммунный ответ. Другие представители кишечной микробиоты (*E. coli*, *Lactobacillus spp.*, *Bacteroides spp.*) продуцируют индол и его производные, которые лимитируют воспаление и повреждение кишечника, ассоциированное с химиолучевой терапией и/или развитием РТПХ. Таким образом, осуществляется регуляция иммунной системы и местного воспалительного процесса посредством выработки кишечной микробиотой биологически активных веществ, оказывающих влияние на регуляторные клетки. Описан клинический случай, когда у пациента после ТФМ в бронхоальвеолярном лаваже перестала определяться *K. pneumoniae*, экспрессировавшая карбапенемазы NDM- и OXA-48 типов. Однако появился изолят *K. pneumoniae*, чувствительный к карбапенемам. Это наблюдение подтверждает роль кишечной микробиоты в колонизации и инфицировании дыхательных путей пациентов, находящихся в критическом состоянии. Потенциальная деколонизация полирезистентных штаммов микроорганизмов после ТФМ расширяет возможности базовой этиотропной антимикробной терапии. Факт преодоления антибиотикорезистентности за счет колонизации кишечника пациента нормальной микробиотой донора описан в литературе на примере лечения инфекции, вызванной ванкомицин-резистентными энтерококками, карбапенем-резистентными энтеробактериями, а также *E. coli*, продуцирующих карбапенемазу. Возможно, ТФМ, как новая технология, может применяться в условиях реанимационных отделений при инфекционных процессах вызванных поли- или панрезистентной к антибактериальным препаратам флорой, рецидивирующим кишечным кровотечением иммунного и инфекционного генеза, ассоциированных с *Clostridium difficile*, РТПХ кишечника, неспецифическим язвенным колитом, болезнью Крона, острым колитом, кишечным кровотечением, геморрагическим шоком, синдромом холестаза, панцитопенией. Тяжелые респираторные нарушения в описанных клинических случаях не являлись

лимитирующим фактором к проведению ТФМ. Кроме того, по всей видимости, нет необходимости прерывать проводимую антибактериальную и иммуносупрессивную терапию.

Большое значение при проведении ТФМ - возможность быстрого скрининга эффективности метода, особенно у пациентов в критическом состоянии. Для этого можно оценивать уровни фекального кальпротектина – биомаркера с высокой чувствительностью (88,9–100%) и специфичностью от 81,8 до 100%. Данный метод успешно применяется в Первом Санкт-Петербургском государственном медицинском университете им. акад. И. П. Павлова с 2012 г. для диагностики и контроля терапии РТПХ с поражением кишечника.

Однако, несмотря на простоту выполнения и доказанную клиническую эффективность ТФМ, серьезным аспектом остается инфекционная безопасность этого метода для пациента. Существуют данные, свидетельствующие о развитии фатальной аспирационной пневмонии и сепсиса после проведения ТФМ. Эти осложнения закономерно связаны с введением большого числа чужеродных микроорганизмов в организм с ослабленной иммунной системой. Тем не менее опыт российских ученых и других исследователей в целом показывают эффективность ТФМ.

Однако, проблемой использования фекальной трансплантации в клинической практике является фактор гетерогенности микробиоты донора реципиенту. В США и ряде Европейских государств уже созданы криобанки микробиоты доноров. Недостатками данного подхода является два существенных фактора. Во-первых, донорская микробиота по определению не может восприниматься системой иммунитета хозяина как иммунологически родственная, следовательно, будет либо отторгаться организмом, либо, в лучшем случае, изменяться под влиянием реакций врожденного и приобретенного иммунитета. Во-вторых, процедура подбора донора с каждым годом становится все более сложной и дорогостоящей и не может гарантировать не попадания в организм реципиента патогенного материала в виде бактерий или вирусов (включая онкогенные ретровирусы), которые впоследствии станут причиной новых заболеваний пациента, получившего фекальный трансплантат. В этой связи интересной альтернативой фекальной трансплантации является метод аутопробиотической терапии, впервые предложенный профессором Шендеровым, когда для терапии дисбиотических состояний используется микробиота самого человека с дисбиозом. Данный подход в модификации Петербургских профессоров Суворова А.Н. и Симаненкова В.И. был внедрен в клиническую практику при целом ряде патологических состояний и даже был использован для восстановления

микробиоты у космонавтов. Технология аутопробиотиков, или персонифицированная симбионтная терапия, предполагает выделение отдельных представителей микробиоты в виде чистых культур, их генетический анализ и возвращение бактерий обратно в желудочно-кишечный тракт после размножения их внеорганизма. Штаммы бактерий можно выделять из микробиоты, заблаговременно сохраненной в криобанках. Несомненно, что перспективы коррекции микробиоценоза аутопробиотиками во многом зависят от создания сети криохранилищ для консервации микробиоты здоровых лиц в качестве резерва наиболее клинически эффективных штаммов.

Однако, пробиотики имеют значительно более основательную доказательную базу, чем ТФМ и нашли более широкое применение в клинической практике для профилактики и лечения ряда заболеваний ЖКТ, преимущественно ассоциированных с инфекцией, а также патологических процессов, в патогенезе которых важная роль принадлежит иммунологическим расстройствам

Резюмируя обзор клинических исследований, посвященных изучению эффективности пробиотиков и ТФМ в лечении заболеваний ЖКТ, следует прежде всего отметить несопоставимо большую, как по объему, так и по обоснованности и качеству, доказательную базу в пользу пробиотиков по сравнению с ТФМ для профилактики и лечения ряда заболеваний ЖКТ, преимущественно ассоциированных с инфекцией, а также патологических процессов, в патогенезе которых важная роль принадлежит иммунологическим расстройствам. Фактически к настоящему времени убедительные доказательства эффективности ТФМ получены только в отношении рецидивирующей клостридиальной инфекции, а также, хотя и в меньшей степени, язвенного колита. В то же время есть все основания полагать, что ТФМ может оказаться эффективнее пробиотиков в лечении рецидивирующей клостридиальной инфекции. Результаты многих отдельных РКИ, метаанализов и систематических обзоров, хотя и демонстрируют эффективность пробиотиков в профилактике клостридиальной инфекции, все же не дают достаточно убедительных оснований для использования их в лечении. Окончательный ответ о сравнительной эффективности пробиотиков и ТФМ при клостридиальной инфекции, как, впрочем, и при других заболеваниях, может дать только прямое сравнение этих методов в хорошо спланированных РКИ. В отличие от пробиотиков, имеющих давно сформировавшийся правовой статус, существенным препятствием внедрению ТФМ в клиническую практику медицинских учреждений России являются нерешенные вопросы правового регулирования ее применения.

5.2 «Молекулярная микробиология, онкология, иммунология»

Сообщества микроорганизмов, находятся в тесном взаимодействии с нашим организмом. Они могут способствовать нашей жизнедеятельности либо вызвать заболевания, непосредственно изменяя экспрессию генов человека. Очевидно, что в развитии одного определенного заболевания участвует целая группа микроорганизмов, а не один конкретный возбудитель. Именно группа микроорганизмов, возможно, создает дисфункцию посредством вмешательства в процессы обмена человека.

Проведены многочисленные исследования, направленные на поиск механизмов, с помощью которых микробные сообщества желудочно-кишечного, дыхательного трактов и прочих локусов, функционально связаны с процессами метаболизма человека. Предпринимаются шаги, направленные на регулирование процессов, происходящих в микробных сообществах. Цели различных исследований в этом направлении многогранны, начиная с регулирования метаболизма человека, иммунной и воспалительной реакций и до предотвращения канцерогенеза, ингибирования прогрессирования рака и повышения эффективности лечения онкологических заболеваний.

Генотоксические и канцерогенные эффекты, связанные с изменениями бактериальной микрофлоры человека.

Исследования по идентификации и оценке биомедицинской значимости воздействий мутагенных факторов среды в последние десятилетия осуществлялись в рамках основных направлений генетической токсикологии. Перечень факторов среды, способных индуцировать мутации в клетках эукариот, охватывает широкий спектр воздействий физической, химической и биологической природы. В этом обширном списке роль биологических мутагенов, включающих мобильные генетические элементы, экзогенную ДНК, патогенные бактерии, вирусы, противовирусные вакцины, наименее изучена. До настоящего времени генетические токсикологи не уделяли должного внимания большой группе факторов, потенциально способных влиять на возникновение мутаций. Речь идет о многочисленных бактериях, населяющих наш организм и составляющих в целом сложнейшее сообщество, называемое микробиотой. Этот факт хорошо иллюстрирует отсутствие соответствующих целевых направлений в программах крупнейших мировых конференций по генетической токсикологии и мутагенезу. Анализ содержания специализированных научных журналов за последние годы (*Mutation Research, Mutagenesis, Environmental and Molecular Mutagenesis* и др.) также указывает на наличие крайне скудного числа публикаций, хотя бы косвенно затрагивающих данную проблему.

Между тем последние достижения в развитии молекулярных методов исследования бактериальных геномов, в особенности использование методов секвенирования нового поколения, привели к прорывным результатам в области общей и медицинской микробиологии, метагеномики. Все более очевидным становится всеобъемлющее влияние микробиоты на различные аспекты здоровья и жизнедеятельности человека. Ученые выявляют все новые ассоциации состава бактериальной микрофлоры с различными заболеваниями, в том числе со многими формами рака. Во многом благодаря этому в публикациях последнего времени накапливаются сведения, свидетельствующие о том, что не только патогенная, но и «нормальная» (симбиотическая, комменсальная) микрофлора способна индуцировать мутации либо модулировать мутационный процесс в клетках организма-хозяина. В этой связи возникла необходимость сведения воедино современной фактологии, а также гипотез о способности бактериальной микробиоты выступать эффектором или модулятором повреждений ДНК в клетках эукариот. В итоге были сформированы основные группы данных, подразделенных на две категории: *бактериальные генотоксины и другие бактериальные эффекторы повреждений ДНК эукариот.*

Бактериальные генотоксины

Среди большого числа бактериальных токсинов к настоящему времени известны только три генотоксина, напрямую влияющие на целостность ДНК в клетках-мишенях организма-хозяина. Это тифозный токсин (ТТ), продуцируемый *Salmonella enterica serovar Typhi*, цитолетальный растягивающий токсин (CDT), производимый рядом грамотрицательных бактерий (*Escherichia coli*, *Aggregatibacter actinomycetemcomitans*, *Haemophilus ducreyi*, *Shigella dysenteriae*, *Campylobacter jejuni*, *Helicobacter spp.*), и, наконец, третий эффектор — колибактин, продуцируемый штаммами *Escherichia coli*, принадлежащими к филогенетической группе В2. Первоначально CDT был обнаружен в патогенных штаммах *E. coli*, выделенных из пациентов с диареей в качестве эффектора, который вызывал заметное клеточное растяжение (мегацитоз) в пораженных клетках, отсюда и название токсина. ТТ и CDT представляют собой белки, имеющие одинаковую активную субъединицу CdtВ, которая является функциональным и структурным гомологом ДНКазы I млекопитающих. Этот фермент способен расщеплять ДНК как в виде голой плазмиды, так и в высокоорганизованной форме ДНК эукариот. Интересная особенность CdtВ заключается в том, что ее активность примерно в 100 раз ниже, чем активность ДНКазы млекопитающих. Исходя из низкой эффективности CdtВ как ДНКазы, было высказано предположение, что эта субъединица может иметь дополнительные

ферментативные активности, например, Mg^{2+} -зависимых фосфоэстераз, таких как инозитол-5'-фосфатаза. К настоящему времени установлено, что связывание CDT с мембраной происходит на специфических участках плазматической мембраны, обогащенной липидами, а его дальнейшее поступление в клетку — путем динамин-зависимого эндоцитоза. Токсин последовательно переносится через комплекс Гольджи и эндоплазматический ретикулум и только затем попадает в ядро, где оказывает генотоксическое действие. После доставки CdtB в ядро клеток-мишеней токсин индуцирует разрывы ДНК и активирует классический ответ на ее повреждение (DDR), который напоминает реакцию на ионизирующее излучение и приводит к остановке клеточного цикла либо к гибели клеток в зависимости от их типа или дозы токсина. Анализируя варианты типов повреждения ДНК, индуцируемых CDT, Y. Fedor et al. провели подробный кинетический анализ, который показал, что низкие дозы CDT-I *E. coli* (50 пг/мл) индуцируют одиночные разрывы (SSB) от 3 до 6 ч после интоксикации. Эти повреждения далее преобразуются в двойные разрывы (DSB) во время S-фазы клеточного цикла из-за ингибирования репликации вследствие наличия не репарированных SSB. В случае использования более высоких доз токсина (выше 75 нг/мл), наоборот, индуцируются главным образом DSB, при этом данный эффект не зависит от фазы клеточного цикла. Помимо прямого генотоксического действия CDT оказывает сильное влияние на физиологию инфицированных клеток (воспаление, модуляция иммунного ответа, повреждение тканей), и, следовательно, он может потенциально быть вовлечен в развитие некоторых форм рака. В отличие от белковых генотоксинов колибактин является бактериальным ДНК-эффектором, имеющим пептид-поликетидную природу. Установлено, что для проникновения колибактина внутрь требуется тесный контакт бактерий с клетками эпителия и что такой контакт облегчается воспалением. Последние исследования показали, что активные генотоксины (колибактины) представляют собой ненасыщенные имины — мощные повреждающие ДНК агенты, действующие по типу алкилирования и образования поперечных сшивок. Подобно действию CDT, двойные разрывы ДНК, вызванные колибактином, запускают сигнальный каскад DDR с активацией киназ ATM/ATR и формированием репарационных фокусов, содержащих белки 53BP1 и γ H2AX, приводят к остановке клеточного цикла и в конечном счете, к апоптозу и клеточному старению (мегалоцитоз). Gabriel Cuevas-Ramos et al. в экспериментах *in vivo* показали, что однократное низкодозовое воздействие колибактин продуцирующих штаммов *E. coli* на культивируемые эпителиальные клетки млекопитающих (CHO AA8, CHO xrs-6, IEC-6 и ST-116) вызывало индукцию повреждений ДНК с последующей неполной их репарацией,

проявлявшейся в виде хромосомных aberrаций, микроядер и анеуплоидии. Эти эффекты сохранялись в клеточных культурах до 21 суток после заражения, что указывает на появление долговременной хромосомной нестабильности, опосредованной воздействием колибактина. В случае воздействия острой инфекции массивное повреждение ДНК, вызванное колибактином, вызывает преждевременное клеточное старение, выражающееся мегацитозом, необратимой остановкой клеточного цикла и ремоделированием хроматина. Кроме того, эти стареющие клетки секретируют в среду провоспалительные цитокины, хемокины, факторы роста и протеазы. Было показано, что этот, связанный со старением, секреторный фенотип (SASP) способен индуцировать генотоксический эффект свидетеля в интактных клетках-реципиентах. Интересно, что в том же номере журнала *Science*, где в 2006 г. появилось первое сообщение о способности колибактина индуцировать разрывы ДНК, была опубликована статья с немедленной реакцией на эту публикацию, в которой Т. Hayashi пишет о двойственности биологической функции генотоксина в разных штаммах *Escherichia coli*. Оказывается, колибактин является не только фактором вирулентности бактерий, но и при определенных обстоятельствах может выступать в качестве фактора выживаемости и успешной колонизации. Было установлено, что остров *rks* присутствует с высокой частотой не только в патогенных штаммах *Escherichia coli*, но и в комменсальных штаммах бактерий, выделенных из кишечника здоровых младенцев. Даже широко используемый для лечения воспалительных заболеваний кишечника (язвенный колит, болезнь Крона) пробиотический штамм *E. Coli* Nissle 1917 несет остров *rks* и способен продуцировать функциональный колибактин

Другие бактериальные эффекторы повреждений ДНК эукариот

Характерная особенность генотоксин продуцирующих бактерий состоит в наличии в их геномах оперонов, кодирующих синтез данных соединений, способных повреждать ДНК. Последние исследования в этой области показали, что помимо генотоксинов в клетках эукариот существуют и другие бактериальные эффекторы повреждений ДНК. В этих случаях мутагенез в клетках организма-хозяина связан с образованием ДНК-реактивных метаболитов жизнедеятельности бактерий, генерацией радикалов или иммунной модуляцией клеток организма-хозяина. К числу этих бактерий можно отнести *Helicobacter pylori*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Enterococcus faecalis*, *Neisseria gonorrhoeae*, *Bacteroides fragilis*, *Chlamydia trachomatis* и др., при этом следует понимать, что данный список не исчерпан и будет со временем пополняться.

Helicobacter pylori

Эта грамотрицательная бактерия колонизирует желудок почти половины населения Земли. В большинстве случаев колонизация *H. pylori* не вызывает симптомов; только у около 20 % происходят пренеопластические изменения, а примерно в 2 % случаев инфицирование приводит к развитию рака желудка и лимфоме. Поселяясь на слизистой оболочке желудка, эта бактерия вызывает пожизненное воспаление, предрасполагающее к геномной нестабильности и повреждению ДНК, особенно DSB. Было показано, что вирулентные штаммы *H. pylori* индуцируют более высокие уровни экспрессии провоспалительных цитокинов, которые вызывают окислительный стресс и окислительные повреждения ДНК в инфицированной слизистой оболочке, тем самым способствуя геномной нестабильности и канцерогенезу. Метод комет (в щелочной версии) был использован польскими исследователями для оценки повреждений ДНК в клетках слизистой оболочки желудка 22 пациентов, инфицированных хеликобактером, и у 23 контрольных доноров. Уровень щелочно-лабильных сайтов (процент ДНК в хвосте комет) оказался значимо выше в выборке клеток, полученных от НР-позитивных пациентов ($p < 0,005$). Авторы заключили, что инфекция *H. pylori* связана с окислительным стрессом, вызывающим накопление повреждений ДНК в клетках-мишенях, и что эти события можно рассматривать как маркер риска возникновения рака желудка, связанного с инфекцией. Позднее этой же группой ученых было показано, что экспозиция культур клеток слизистой желудка высокоактивным алкилирующим мутагеном (N-метил-N'-нитро-N-нитрозогуанидином), а также тремя наиболее значимыми гетероциклическими аминами (IQ, MeIQx и PhIP) в разных концентрациях также приводит к значимому увеличению повреждений ДНК в инфицированных *H. pylori* клетках. Авторы предположили, что повышенная генотоксичность исследованных аминов в клетках слизистой оболочки желудка обусловлена более высокой скоростью метаболической активации этих соединений в присутствии хеликобактера, то есть бактерия, по сути, выступает модулятором мутагенеза, вызываемого воздействием нитрозаминов. *H. pylori* повышает уровень генных мутаций в эпителии слизистой оболочки желудка у пациентов с хроническим гастритом.

Повышенный уровень микроядер в мукоцитах слизистой оболочки антрального отдела желудка был обнаружен при инвазии *H. Pylori* у больных с хроническим гастритом и атрофический гастрит и иногда образующийся при развитии этого заболевания рак связывают с размножением патогенных штаммов бактерий *Helicobacter pylori*. Таким образом, при инфекции *H. pylori* происходит образование генотоксических продуктов, превышающих границы нормы, характерной для воспалительной реакции у

неинфицированных пациентов, что ведет к значимому повышению числа мукоцитов с цитогенетическими нарушениями. Следует отметить, что имеются результаты как экспериментальных, так и популяционных исследований, свидетельствующие о том, что *H. pylori* также способна индуцировать мутагенез в митохондриальной ДНК, который, по-видимому, усиливает окислительный стресс и способствует развитию рака желудка. Несмотря на то, что большинство разрывов эффективно устранялось после прекращения воздействия хеликобактера, было отмечено, что длительная активная инфекция приводит к истощению возможностей репарации ДНК и влечет за собой увеличение геномной нестабильности. Таким образом, *H. pylori* может воздействовать на ДНК клеток организма-хозяина двумя независимыми путями: либо напрямую (механизм не установлен), либо через воспаление, вызывающее окислительный или нитрозативный (RNS) стресс. Можно также говорить о том, что *H. pylori* является одной из немногих бактерий, непосредственно вызывающих повреждение ДНК клетки организма-хозяина. Например, атрофический гастрит и иногда образующийся при развитии этого заболевания рак связывают с размножением патогенных штаммов бактерий *Helicobacter pylori*.

Pseudomonas aeruginosa (Pa)

Другая широко известная бактерия, которая способна вызвать прямое повреждение ДНК в клетках организма-хозяина, — это синегнойная палочка. Эта грамотрицательная условно-патогенная бактерия является возбудителем нозокомиальных инфекций человека ввиду того, что особенно легко поражает лиц с ослабленным иммунным статусом, в частности пациентов с кистозным фиброзом или с тяжелыми ожогами. В работе были использованы эпителиальные клетки легкого человека линии A549. Показано увеличение повреждений ДНК в инфицированных клетках в зависимости от времени экспозиции культур патогенным штаммом синегнойной палочки (PAO1). При этом в инфицированных клетках выявлялось увеличение экспрессии OGG1 и АТМ-киназы, что указывало на запуск репаративных процессов. Токсин при помощи поверхностного молекулярного комплекса попадает непосредственно в цитоплазму клетки, на которой плотно адгезирована синегнойная палочка. Дальнейшее перемещение токсина к ядру клетки происходит через эндосомы, эндоплазматический ретикулум и аппарат Гольджи. Сам ExoS не обладает нуклеазной активностью, но характеризуется GTPase-активирующим белком (GAP) активности и доменом ADP-ри-бозилтрансферазы (ADP-RT). Таким образом, к настоящему времени конечные механизмы, приводящие к повреждению ДНК под воздействием инфекции *P. aeruginosa*, все еще неизвестны. В связи со способностью *P. aeruginosa* повреждать ДНК в клетках млекопитающих интересным представляется недавнее

сообщение о присутствии синегнойной палочки в опухолевой ткани больных плоскоклеточной карциномой слизистой рта.

Bacteroides fragilis

Некоторые штаммы этого облигатного анаэробного комменсала способны вырабатывать энтеротоксин (Bft), который вызывает острое диарейное заболевание, а также связан с колоректальным раком. На сегодняшний день информация об этом энтеротоксине как о повреждающем ДНК эффе́кторе ограничена единственным исследованием, в котором авторы экспонировали *in vitro* клетки рака толстой кишки человека дозами очищенного Bft. Кроме этого, в опытах *in vivo* кишечник мышей линии ArcMin/+ был колонизирован энтеротоксигенным штаммом *B. Fragilis*. В обоих случаях в экспонируемых энтеротоксином целевых клетках наблюдалось увеличение репарационных фокусов γ H2AX, указывающих на реализацию DSB. Повреждение ДНК было связано с повышением уровня катаболического фермента сперминоксидазы, который активируется воспалением и генерирует ROS. Таким образом, было показано, что *B. fragilis* действует косвенно, вызывая высокие уровни ROS, которые в свою очередь повреждают ДНК клеток организма-хозяина.

Enterococcus faecalis

Еще один распространенный кишечный микроорганизм — фекальный энтерококк. Этот грамположительный кишечный комменсал, входящий в состав нормальной микрофлоры пищеварительного тракта человека, продуцирует внеклеточный супероксид, а также такие производные ROS, как перекись водорода и гидроксильный радикал. Следовательно, инфицирование *E. faecalis* может приводить к геномной нестабильности в клетках кишечника. Способность к индукции хромосомной нестабильности (CIN) в клетках млекопитающих при помощи *E. faecalis* была продемонстрирована в работе X. Wang и M. Nuyske в 2007 г. Помимо CIN типы повреждений ДНК, вызванных внеклеточным супероксидом, включали DSB (показано с помощью анализа фокусов γ H2AX), анафазные мосты, анеуплоидию и тетраплоидию. Было также показано, что инфицирование фекальным энтерококком клеток карциномы желудка человека (линия MKN74) приводит к повышению внутриклеточного ROS через путь, не зависящий от окислительного фосфорилирования (oxphos), при этом, кроме повреждений хромосом в ядре, энтерококк способен вызывать мутации и в митохондриальной ДНК. Как выяснилось, механизм генотоксического действия энтерококков можно сопоставить с хорошо известным в радиобиологии эффектом свидетеля (BSE). В норме макрофаги ободочной кишки находятся в состоянии покоя и помогают поддерживать иммунологическую толерантность

к комменсалам. Однако эти клетки, составляя часть обороны против вторжения патогенных микроорганизмов, могут быть поляризованы в M1- или M2-фенотипы. Известно, что M1-макрофаги вырабатывают значительное количество NO и много активных форм кислорода. Одним медиатором для BSE, который продуцируют макрофаги, инфицированные *E. faecalis*, является мутагенный продукт распада омега-6 полиненасыщенных жирных кислот: 4-гидроксиноненал. Этот реактивный альдегид способен легко диффундировать в соседние клетки, повреждая ДНК.

Neisseria gonorrhoeae

Гонококк Нейссера вызывает у человека гнойное воспаление слизистых оболочек мочеполовой системы. Инфицируя эпителиальные клетки, гонококк действует подобно Sf, оказывая влияние на сигнальный путь p53. К. Вилфорт и др. впервые сообщили, что инфицированные *N. gonorrhoeae* опухолевые и неопухолевые эпителиальные клетки человека, полученные из слизистой оболочки влагалища или шейки матки, имеют SSB и DSB с образованием репарационных фокусов, содержащих γ H2AX и 53BP1. Было также показано, что спустя 1 день после инфицирования в неопухолевых эпителиальных клетках отмечались повышенные уровни p21 и p27 ингибиторов циклинзависимой киназы, в то время как повышения уровня p53 не происходило. Анализ клеточного цикла позволил установить, что гонококковая инфекция приводит к накоплению инфицированных клеток на стадии G1. Авторы предположили, что ингибирование p53 может быть механизмом, эволюционно выработанным *N. Gonorrhoeae* для поддержания выживаемости клеток организма-хозяина, несмотря на присутствие повреждений ДНК. Таким образом, эпителий уrogenитального тракта является защищенной нишей, где гонококки способны выживать и размножаться в цитоплазме клеток организма-хозяина, уклоняясь от внеклеточных иммунных реакций.

Chlamydia trachomatis

Этот облигатный внутриклеточный патоген служит причиной ряда инфекционных заболеваний мочеполового тракта, в частности широко распространенного уrogenитального хламидиоза. Кроме того, наличие инфекции *C. trachomatis* связывают с риском развития рака шейки матки и яичников. Из-за своего небольшого генома, а также в связи с отсутствием собственных митохондрий успешность выживания и репликации этой бактерии зависит от поглощения аминокислот и нуклеотидов из инфицируемой клетки организма-хозяина. Таким образом, подобно большинству облигатных внутриклеточных бактерий, хламидия существует в конфликтной ситуации, поскольку ей необходимы

метаболиты от живого хозяина, хотя она вредит клеткам организма-хозяина, в том числе вызывая в них повреждения ДНК. Исследователями из Института инфекционной биологии Макса Планка было установлено, что острые и постоянные инфекции *C. trachomatis* изменяют гистоновые эпигенетические метки, влияя на активность γ H2AX киназы-маркера DSB и образование ассоциированных с возрастом гетерохроматиновых фокусов (SAHF). Ранее было показано, что ROS, продуцируемые в процессе репликации хламидий, вызывают перекисное окисление липидов мембран. Эти же ROS способствуют образованию DSB, однако выяснилось, что *C. trachomatis* затрудняет нормальное течение DDR в ответ на повреждение ДНК.

Таким образом, инфицированные *C. trachomatis* клетки организма-хозяина с поврежденной ДНК и модифицированным хроматином вынуждены выживать благодаря восстановлению DSB и регуляции клеточного цикла, а хламидии создают для себя среду, благоприятную для успешного выживания и размножения.

Streptococcus pneumoniae

Грамположительный факультативный анаэроб является одним из основных возбудителей внебольничной пневмонии у детей и взрослых. Недавно P. Rai et al. сообщили, что инфекция альвеолярных эпителиальных клеток легкого человека бактериальными штаммами стрептококка, несущими ген пируватоксидазы (SprxB), сопровождается усиленной секрецией перекиси водорода, приводящей к эндогенному окислительному стрессу, с последующей индукцией DSB и апоптоза. Другие исследования продемонстрировали, что ключевой фактор вирулентности *S. Pneumoniae* — это пневмолизин, который представляет собой холестеролзависимый цитолизин (CDC-токсин), образующий литические поры в мембранах клеток организма-хозяина и опосредующий патогенез пневмококковой болезни путем модулирования воспалительных реакций. В 2016 г. была опубликована следующая работа, в которой та же исследовательская группа сообщила о том, что пневмолизин, высвобождающийся во время бактериального лизиса, способен индуцировать DSB. Результаты этого исследования показали также, что повреждение ДНК, вызванное токсином, предшествует остановке клеточного цикла и вызывает апоптоз.

Сульфатредуцирующие бактерии

Эти бактерии обычно колонизируют кишечный тракт человека и участвуют в воспалительных заболеваниях кишечника и возникновении колоректального рака.

Водородные бактерии (*Sulfidogenic bacteria*, *Fusobacterium nucleatum*, и др.) метаболизируют органические и неорганические источники серы и продуцируют сероводород путем восстановления сульфата. Сероводород является как сигнальной молекулой, так и генотоксином, что было показано с использованием анализа комет в клетках яичника китайского хомячка. Позднее было установлено, что при концентрациях сульфидов, типичных в толстой кишке, нетрансформированные эпителиальные клетки кишечника человека имели дозозависимые оксидативные повреждения ДНК и DSB. К настоящему времени появились публикации, в которых продемонстрирована связь между отдельными бактериальными сульфатредуктантами (*Fusobacterium nucleatum*) и эпителиальным колоректальным раком.

Исходя из вышеизложенного, следует отметить, что приведенные сведения о генотоксических эффектах отдельных представителей микробиоты изложены в краткой форме, без детального описания известных или предполагаемых молекулярных механизмов действия бактериальных эффекторов на ДНК клеток организма хозяина.

Следует подчеркнуть, что с учетом длительной коэволюции микробиоты с высшими организмами влияние бактериальной инфекции на целостность генома хозяина не является неожиданным. Бактерии используют различные стратегии для обеспечения собственной выживаемости и репликации, в том числе путем подавления репарации ДНК клеток организма-хозяина, способствуя выживаемости инфицированных клеток, несмотря на наличие в них повреждений ДНК. Таким образом, можно говорить о том, что индуцируемые микробиотой генотоксические эффекты выступают своеобразным «побочным продуктом» реализации этих бактериальных стратегий в организме хозяина. Тем не менее такая «побочность» не умаляет той роли, которую играет мутагенез, индуцируемый и (или) модулируемый бактериями, входящими в состав микробиоты. Повреждения в молекуле ДНК в отсутствие эффективно работающих систем репарации приводят к соматическим мутациям и генетической нестабильности, которые являются признаками рака. Поэтому неудивительно, что исследователи все чаще принимают во внимание бактериальные патогены при изучении эпидемиологии злокачественных новообразований.

Стоит подчеркнуть, что длительная коэволюция бактерий и высших организмов означает, что влияние бактериальной микрофлоры на стабильность генома не является неожиданной. Бактерии используют различные стратегии для обеспечения их собственного выживания и репликации, в том числе подавление репарации ДНК клеток-хозяев, и вклад в

выживание инфицированных клеток, несмотря на наличие поврежденной ДНК. Таким образом, можно сказать, что генотоксические эффекты, индуцированные микробиотой, являются своего рода «побочным продуктом» в результате реализации этих бактериальных стратегий в организме хозяина. Однако, этот побочный эффект не уменьшает роль мутагенеза, который индуцируется и / или модулируется бактериями. Вышеприведенные примеры изменений в таксономическом составе микробиоты, связанных с патологическими состояниями в различных органах и системах, приводят к пониманию того, что при определенных заболеваниях микрофлора пораженных органов может быть обогащена бактериями, которые оказывают генотоксическое (ДНК-повреждение) воздействие на клетки-хозяина. Нет никаких сомнений в том, что микробиота связана с канцерогенезом в различных тканях и органах. Изменения в составе бактерий могут отражать ход конкретных патологических процессов, или наоборот, заболевание может привести к трансформации микробиоты и сделать ее агрессивной. Долгосрочная колонизация органа определенными видами бактерий, создающих локальный генотоксический стресс, может вызвать клеточные трансформации и в конечном итоге спровоцировать рак. Генотоксический стресс, в свою очередь, может быть следствием хронического воспаления, вызванного бактериями и накопления бактериальных метаболитов в тканях и органах. Метаболиты, такие как реактивные виды кислорода и генотоксины, увеличивают повреждение ДНК и блокируют системы репарации. Одной из основных причин бактериального канцерогенеза может также быть нарушение барьера, который предотвращает бактерии от непосредственного взаимодействия с клетками-хозяина. Компромиссный барьер увеличивает прямой контакт микробиоты с клетками-хозяина и, следовательно, он также может вызвать воспаление и запустить механизмы канцерогенеза; в свою очередь, воспаление и канцерогенез также может привести к нарушению барьерных функций. Понимание причин и механизмов, связанных с бактериальным канцерогенезом в определенном органе, скорее всего, приведет к исследованиям измененного состава бактериальной микрофлоры, которые будут учитываться при прогнозировании и профилактике многих видов рака в ближайшем будущем.

Дополнительные перспективы открывает подход к терапии рака с позиций экологической генетики, рассматривающей микробиом человека как неотъемлемый компонент его жизни и здоровья. Знание того, какие микробы способствуют, а какие препятствуют развитию опухолей позволяет использовать их как пробиотики, одновременно с радио- и хемо-терапией рака.

Изучение генотоксического потенциала микрофлоры, тесно связанного с бактериальным онкогенезом, является недостаточно исследованным. При нарушении дисбаланса здоровой микрофлоры под воздействием различных факторов, в том числе мутагенов и экологических канцерогенов, состав микробиоты превращается в агрессивную форму. Было высказано предположение, что такие изменения приводят к функциональным изменениям метаболизма в бактериальных сообществах, что приводит к прогрессированию злокачественного роста в этих частях организма-хозяина. Бактерии способны влиять на патогенные процессы, происходящие в ходе заболевания, производя эффекторы повреждения ДНК в клетках организма-хозяина или изменяя способность организма к метаболизму мутагенов и канцерогенов. Мы представляем в этой работе доказательства и гипотезы о способности патогенных и сопутствующих бактерий с генотоксическим потенциалом привести к развитию онкологических заболеваний. В этой статье рассматриваются отдельные органы (кишки, желудок, дыхательные пути, желчный пузырь и молочные железы), канцерогенез которых находится под влиянием бактерий, которые могут повредить ДНК клеток-хозяев.

На состав микробиоты прежде всего влияют факторы окружающей среды, генетические и иммунные факторы организма хозяина. Дисбиоз кишечника может привести к доминированию некоторых видов бактерий, способствующих активации механизмов канцерогенеза и развитию злокачественных опухолей толстой кишки за счет хронического воспаления или местной иммуносупрессии. В эру иммуноонкологии роль кишечной микробиоты в формировании ответа на иммунотерапию злокачественных новообразований представляет большой интерес для медицинского сообщества. Учитывая, что состав кишечной микробиоты является индивидуальным для каждого человека, ее исследование как нельзя лучше вписывается в набирающую силу концепцию персонализированного медицинского подхода.

Роль кишечной микробиоты в различных аспектах лечения онкологических заболеваний с каждым годом становится все более значимой темой для медицинского сообщества. Это имеет свое отражение в количестве научных публикаций: при поиске работ, содержащих указание на связь состава микробиома с онкологическими заболеваниями, представлено более 1500 статей. Разрабатываются новые методы использования микроорганизмов в диагностике, лечении и прогнозировании отдельных злокачественных новообразований. Изучением роли количественного и качественного состава микрофлоры в формировании ответа на различные терапевтические агенты в настоящее время занимаются исследователи во многих странах мира. Большой интерес

представляют научные работы, посвященные области иммунотерапии онкологических заболеваний. Также определение состава кишечной микробиоты является одной из перспективных задач, которая в будущем позволит оценивать клинический ответ на применение таргетных препаратов.

Участие генетических факторов в индукции опухолевого роста и злокачественном перерождении тканей не подвергается сомнению. Целый ряд фундаментальных фактов свидетельствует о ключевой роли повреждений молекул ДНК в развитии опухолевого процесса. Наиболее значимыми из них являются наличие большого числа хромосомных перестроек и точковых мутаций в опухолевых тканях больных и культивируемых линиях раковых клеток, онкогенное действие ряда вирусов, способных взаимодействовать с геномом хозяина, существование семейных форм раков, в этиологии которых прослеживаются наследственные компоненты и др. Однако наибольшим фундаментальным свойством опухолевых клеток, по-видимому, следует признать огромную генетическую нестабильность, которая проявляется как на хромосомном уровне, так и на уровне отдельных генов. Обнаружение в геноме человека последовательностей, гомологичных онкогенам ретровирусов, явилось толчком для развития молекулярной онкологии. Причем следует подчеркнуть, что генетические нарушения играют ведущую роль в этиологии любых форм онкологических заболеваний. На настоящий момент фундаментальные исследования в области онкологии по большей части направлены на изучение различных уровней молекулярных нарушений, определяющих патогенез злокачественных опухолей. Проводятся многочисленные исследования мутационных изменений на уровне ДНК, экспрессии микроРНК, мРНК и белков. Основной фундаментальной и прикладной проблемой медицины в целом, и онкологии в частности, является индивидуализация лечения, направленная на определение индивидуальных молекулярно-генетических особенностей опухоли, определяющих ее чувствительность к уже имеющимся в арсенале лекарственных препаратам. Одними из возможных путей лечения рака (помимо хирургии, химиотерапии и т.п.) является возможность использования иммунологических методов и генной терапии. С проблемами инактивации иммунной системы и установления толерантности к чужеродным антигенам сталкивается активно развивающаяся отрасль современной медицины – генная терапия. Изучение иммунного ответа на развитие рака является одним из основных направлений современной иммунологии. Согласно теории Льюиса Томаса, рак развивается только в том случае, если раковые клетки теряют ракоспецифические антигены или способны подавить активацию иммунитета. Механизм иммунного ответа на развитие раковых клеток до сих пор остается неясным. Ряд

доказательств свидетельствует о наличии эндогенного иммунного ответа у больных раком. Так, сравнительно простая активация иммунной системы способна приводить к уменьшению размеров раковых опухолей в разных органах. Показано, что антираковый иммунитет можно усилить путем доставки костимуляторных сигналов и/или рекомбинантных цитокинов. Главная проблема состоит в сложности и взаимосвязанности сети цитокинов и невозможности предсказать результат введения одного рекомбинантного цитокина на продукцию других цитокинов. Основной задачей генотерапии при лечении рака и др. наследственных болезней – это доставка генов, способных продуцировать необходимые данному человеку белки, в организм. В настоящий момент вирусы являются лучшим способом доставки генов в клетки. Однако вирусные векторы активируют иммунный ответ, что приводит к разрушению вектора и лишь временной экспрессии доставляемых генов. Поэтому генная терапия сталкивается с задачей противоположной задаче иммунотерапии рака. Таким образом, в настоящее время методы генной терапии и иммунотерапии рака еще далеки от совершенства, а сложность иммунной системы каждого организма обуславливают трудности разработки практических подходов. Учитывая трудности генной терапии и иммунотерапии рака и появление с новых методических возможностей изучения генома, метаболома и протеома человека и бактерий методами секвенирования нового поколения и масс-спектрометрии, использование новых знаний о микробиоте и характере формирования и распространения большинства патологий и, в частности, онкологических заболеваний, необходим поиск новых способов профилактики и лечения опухолевых заболеваний за счет бактериальных компонентов, а также создание новых диагностикумов на основе бактериальных рецепторных белков.

Кишечная микробиота как модулятор ответа на иммунотерапию злокачественных опухолей

Следует учитывать, что кишечный микробиом – модифицируемая единица, что может быть залогом хороших результатов восстановления благоприятного микробиоценоза у онкологических больных. С началом развития методов иммунотерапии в последние годы стала рассматриваться также тема роли кишечной микробиоты в формировании ответа на воздействие различных классов противоопухолевых препаратов. Результаты достаточно большого количества исследований показывают, что при внесении бактериальных образцов от доноров в организм пациентов, страдающих от онкологических заболеваний, стимулируется рост собственной микробиоты у реципиентов, увеличение ее разнообразности, что в свою очередь повышает способность организма осуществлять контроль над механизмами канцерогенеза. Это дает основание дальнейшему исследованию

корреляции между использованием иммунотерапевтических методов лечения злокачественных новообразований и значением состава микрофлоры кишечника. Некоторые исследователи говорят о том, что микробиота кишечника оказывает влияние на распространенность опухоли и, следовательно, продолжительность жизни пациентов путем воздействия на процессы молекулярного окислительного стресса и системную генотоксичность периферических лейкоцитов, что приводит к снижению активности процессов системного воспаления, играющего основную роль в развитии злокачественных новообразований.

Большинство работ, посвященных определению ключевой роли микробиома кишечника, были выполнены на мышиных моделях. Мнение о том, бактерии каких преимущественно типов могут опосредовать наилучший ответ на противоопухолевую иммунотерапию, до сих пор не стало единым. Имеются данные о том, что наиболее выраженную эффективность показывают анти-PD-1-препараты, применяющиеся для пациентов, у которых обнаруживается преобладание бактерий рода *Ruminococcaceae* в фекальных образцах. Однако исследователи других крупных лабораторий сообщают о том, что относительное превалирование *Clostridiales* связано с более высокой эффективностью проводимой терапии, а также есть сведения, говорящие, что у когорт пациентов с преобладанием *Faecalibacterium* значительно повышает показатель выживаемости без прогрессирования (PFS). При этом пациенты, в образцах которых отмечалось повышенное содержание *Bacteroidales*, имели меньшую PFS по сравнению с группой пациентов со сниженным количеством этих бактерий в образцах.

Роль кишечной микробиоты в формировании ответа на иммунотерапию злокачественных новообразований: состояние проблемы.

Современная концепция симбиотических взаимоотношений между макроорганизмом и микробиотой кишечника не вызывает сомнений. На состав микробиоты прежде всего влияют факторы окружающей среды, генетические и иммунные факторы организма хозяина. Дисбиоз кишечника может привести к доминированию некоторых видов бактерий, способствующих активации механизмов канцерогенеза и развитию злокачественных опухолей толстой кишки за счет хронического воспаления или местной иммуносупрессии. В эру иммуноонкологии роль кишечной микробиоты в формировании ответа на иммунотерапию злокачественных новообразований представляет большой интерес для медицинского сообщества. Учитывая, что состав кишечной микробиоты является индивидуальным для каждого человека, ее исследование как нельзя лучше

вписывается в набирающую силу концепцию персонализированного медицинского подхода.

Роль кишечной микробиоты в различных аспектах лечения онкологических заболеваний с каждым годом становится все более значимой темой для медицинского сообщества. Это имеет свое отражение в количестве научных публикаций: при поиске работ, содержащих указание на связь состава микробиома с онкологическими заболеваниями, представлено более 1500 статей. Разрабатываются новые методы использования микроорганизмов в диагностике, лечении и прогнозировании отдельных злокачественных новообразований. Изучением роли количественного и качественного состава микрофлоры в формировании ответа на различные терапевтические агенты в настоящее время занимаются исследователи во многих странах мира. Большой интерес представляют научные работы, посвященные области иммунотерапии онкологических заболеваний. Также определение состава кишечной микробиоты является одной из перспективных задач, которая в будущем позволит оценивать клинический ответ на применение таргетных препаратов.

Симбиотические взаимоотношения макроорганизма и микробиоты кишечника

Микробиом желудочно-кишечного тракта в представлении современной науки рассматривается как гетерогенный набор разнообразных микроорганизмов, количественно и качественно отличающийся у каждого индивида и играющий значительную роль в биохимическом, метаболическом и иммунном гомеостазе макроорганизма, а также представляющий собой неспецифический барьер от экзогенных факторов агрессии. Условия среды в толстой кишке способствуют нормальной жизнедеятельности микроорганизмов, и численность 36000 видов бактерий достигает пиковых значений – 10^{10} - 10^{13} КОЕ/мл (1011 бактерий на грамм кишечного содержимого) именно в этом отделе кишечника. Анаэробные бактерии преобладают над аэробами в соотношении 1000:1. На основании данных научных исследований общей популяции в Америке (клиническое исследование HMP) и в Европе (клиническое исследование MetaHIT) было показано, что доминантными типами микроорганизмов в составе микробиоты являются *Bacteroidetes* и *Firmicutes*

Колонизация желудочно-кишечного тракта микроорганизмами начинается сразу же после рождения, а точнее уже при прохождении плода через родовые пути матери. На разнообразие микробиома оказывает влияние большое количество факторов, таких как диета, половая и этническая принадлежность. Способ родоразрешения при этом

оказывается очень важным фактором, который обуславливает получение новорожденным первичной микробиоты. В нескольких зарубежных исследованиях доказана корреляция между кесаревым сечением и становлением иммунной системы. Это означает, что состав комменсальной микрофлоры может играть роль в иммунном ответе и, таким образом, возможно, определяет уровень восприимчивости организма к различным заболеваниям. Дисбиоз кишечника, как проявление нарушения равновесия в бактериальной экосистеме, приводит к превалированию количества некоторых видов бактерий над другими. Это может с большой степенью вероятности способствовать активации механизмов канцерогенеза и, как следствие, возникновению злокачественных новообразований.

Следует учитывать, что кишечный микробиом – модифицируемая единица, что может быть залогом хороших результатов восстановления благоприятного микробиоценоза у онкологических больных. С началом развития методов иммунотерапии в последние годы стала рассматриваться также тема роли кишечной микробиоты в формировании ответа на воздействие различных классов противоопухолевых препаратов. Результаты достаточно большого количества исследований показывают, что при внесении бактериальных образцов от доноров в организм пациентов, страдающих от онкологических заболеваний, стимулируется рост собственной микробиоты у реципиентов, увеличение ее разнообразности, что в свою очередь повышает способность организма осуществлять контроль над механизмами канцерогенеза. Это дает основание дальнейшему исследованию корреляции между использованием иммунотерапевтических методов лечения злокачественных новообразований и значением состава микрофлоры кишечника. Некоторые исследователи говорят о том, что микробиота кишечника оказывает влияние на распространенность опухоли и, следовательно, продолжительность жизни пациентов путем воздействия на процессы молекулярного окислительного стресса и системную генотоксичность периферических лейкоцитов, что приводит к снижению активности процессов системного воспаления, играющего основную роль в развитии злокачественных новообразований.

Учитывая, что состав кишечной микробиоты индивидуален для каждого отдельного человека, можно говорить о том, что необходимость его изучения соответствует принципам персонализированной медицины.

Кишечная микробиота как модулятор ответа на иммунотерапию злокачественных опухолей.

Большинство работ, посвященных определению ключевой роли микробиома кишечника, были выполнены на мышинных моделях. В подавляющем большинстве исследований было показано, что ответ опухоли на терапию химиопрепаратами и checkpoint ингибиторами (ингибиторами иммунных «точек контроля») был обусловлен накоплением опухолеспецифических Т-клеток CD8⁺. Также в некоторых исследованиях было освещено участие дендритных клеток в активации данных механизмов, при этом установлено увеличение накопления и прайминга CD8⁺ Т-лимфоцитов в микроокружении опухоли.

Мнение о том, бактерии каких преимущественно типов могут опосредовать наилучший ответ на противоопухолевую иммунотерапию, до сих пор не стало единым. Имеются данные о том, что наиболее выраженную эффективность показывают анти-PD-1-препараты, применяющиеся для пациентов, у которых обнаруживается преобладание бактерий рода *Ruminococcaceae* в фекальных образцах. Однако исследователи других крупных лабораторий сообщают о том, что относительное превалирование *Clostridiales* связано с более высокой эффективностью проводимой терапии, а также есть сведения, говорящие, что у когорт пациентов с преобладанием *Faecalibacterium* значительно повышает показатель выживаемости без прогрессирования (PFS). При этом пациенты, в образцах которых отмечалось повышенное содержание *Bacteroidales*, имели меньшую PFS по сравнению с группой пациентов со сниженным количеством этих бактерий в образцах.

В противоположность вышеупомянутым результатам имеется мнение, что эффективность анти-CTLA-4-терапии взаимосвязано с наличием в составе кишечной нормобиоты различных представителей рода *Bacteroidales*. На базе мышинных моделей, для того чтобы убедиться в связи доминирования *Bacteroidales* spp. с противоопухолевым эффектом анти-CTLA-4-препаратов, были выполнены повторные колонизации желудочно-кишечного тракта фекальными образцами, полученными от доноров и содержащими изоляты представителей рода *Bacteroidales*. На основании полученных данных было установлено, что заселение кишечника сочетанием *B. fragilis* и *Burkholderia cepacia* было связано с более выраженной эффективностью анти-CTLA-4-препаратов, в отличие от всех других использованных изолятов. По мнению авторов, формирование ответа на иммунотерапию могло быть обусловлено *Akkermansia muciniphila*, так как эти бактерии являются комменсалами, и их присутствие в фекальных образцах было чаще связано с наилучшим клиническим исходом заболевания.

В нескольких научных исследованиях было установлено, что повышение количества бактерий рода *Bifidobacterium* в составе кишечного микробиома формирует Т-клеточный противоопухолевый ответ. Также было показано, что обладание комменсальной флорой с превалированием рода *Bifidobacterium* может обуславливать повышение активности противоопухолевого иммунитета, что тем самым улучшает эффект анти-PD-L1-терапии.

И, конечно же, оценка взаимосвязи ответа на анти-CTLA-4-препараты с количественным и качественным составом микробиома кишечника в настоящее время также имеет большую ценность. Анализ ряда зарубежных исследований показал, что имеются веские доказательства наличия изменений на уровне рода микроорганизмов сразу же после инициации лечения злокачественных новообразований с применением CTLA-4-ингибиторов. Так, было зафиксировано быстрое уменьшение представительства как *Bacteroidales*, так и *Burkholderiales*, с относительным преобладанием содержания *Clostridiales* при использовании ипилимумаба.

Из всего вышеизложенного можно сделать заключение, что CTLA-4-ингибиторы могут влиять на количественный состав рода *Bacteroides spp.* в кишечнике, обладающего иммуногенными свойствами, что, в свою очередь, влияет на эффективность препаратов данной группы.

Эффективность иммунотерапии онкологических заболеваний в условиях предшествующей антибиотикотерапии

Из проанализированных данных следует, что наиболее выраженный эффект иммунотерапии злокачественных опухолей возможно ожидать у пациентов, имеющих более широкое представительство микроорганизмов в составе микробиома кишечника. Следовательно, встает вопрос о пользе изучения влияния антибиотиков, которое они оказывают на эффективность применения методов иммунотерапии онкологических заболеваний, например checkpoint-ингибиторов. Тот факт, что использование антибактериальных препаратов влечет за собой резкое изменение количественного и качественного состава микробиоты, как патогенной, так и комменсальной, на настоящее время доказан во множестве исследований. Антибиотики, независимо от пути введения их в организм, изменяют гомеостатическое равновесие бактериальной флоры кишечника, что существенно влияет на метаболизм всей совокупности микроорганизмов. В недавнем времени было установлено, что бактерии имеют значительное влияние на дифференцировку стволовых клеток. В свою очередь антимикробные препараты, изменяя состав микробиоценоза кишечника, приводят к различным модификациям путей развития

клеток и, как следствие, к нарушениям физиологии на всех уровнях жизнедеятельности макроорганизма.

Кишечная микробиота играет важную роль в формировании иммунного ответа хозяина, поэтому необходимо учитывать то, что изменения ее состава могут приводить к негативным последствиям для макроорганизма. Это было показано в ряде исследований, результаты которых говорят о том, что имеется определенная связь между составом микробиома и риском развития некоторых аутоиммунных заболеваний. Согласно имеющимся данным нескольких доклинических исследований, микробиота влияет на активность ингибиторов иммунных контрольных точек, а применение антибактериальных препаратов широкого спектра действия приводит к снижению эффекта от их применения. Существует мнение, что отрицательный эффект антибиотикотерапии на фоне использования checkpoint-ингибиторов связан исключительно с элиминацией комменсальной флоры.

На ежегодном международном урологическом симпозиуме (Орландо, Флорида), который был проведен в феврале 2017 года, были представлены результаты ретроспективного анализа данных 80 пациентов, установившие отчетливое снижение эффективности применения checkpoint-ингибиторов у больных почечно-клеточным раком, подвергшихся эмпирической или этиологической антибактериальной терапии за месяц до начала специального лечения.

Больным с диагнозом «метастатический почечно-клеточный рак» проводилась иммунотерапия ингибиторами иммунных «точек контроля»: монотерапия PD-1 или PD-L1 ингибиторами (n=67); комбинированная терапия PD-1 и CTLA-4 ингибиторами (n=10); комбинация PD-L1-ингибиторов и бевацизумаба (n=3). Из 80 пациентов почечно-клеточным раком (65% из которых являлись мужчинами за месяц до начала иммунотерапии 16 больных (20%) получали антибактериальную терапию в основном антибиотиками широкого спектра действия (бета-лактамы антибиотики и фторхинолоны). Большинству больных ПКР (80%) была ранее выполнена нефрэктомия. В исследовании показано, что более агрессивное течение почечно-клеточного рака после лечения ингибиторами точек иммунного контроля наблюдается у больных, подвергшихся антибактериальной терапии, в сравнении с пациентами, не получавшими антибактериальные препараты (медиана времени до прогрессирования составила 2,3 и 8,1 месяца соответственно, $p < 0,001$).

В марте 2018 года были представлены данные исследования о воздействии на показатель общей выживаемости больных почечно-клеточным раком (ПКР) и

немелкоклеточным раком легкого (НМРЛ) антибиотикотерапии, начатой до иммунотерапии check-point-ингибиторами. Были проанализированы когорты пациентов с распространенной формой почечно-клеточной карциномы (n=121) и пациенты с НМРЛ (n=239). В когорте ПКР 88% пациентов получали монотерапию анти-PD-1 или анти-PD-L1-препаратами. Остальные пациенты получали анти-PD-1 или анти-PD-L1-терапию в комбинации с анти-CTLA-4-препаратами (8%) или бевацизумабом (4%). В когорте пациенты НМРЛ получали либо только анти-PD-1 или анти-PD-L1-терапию (86%), либо в комбинации с анти-CTLA-4-терапией (14%). Шестнадцать пациентов (13%) в группе ПКР и 48 (20%) в группе НМРЛ получали антибиотики в течение 30 дней после начала специального лечения. По сравнению с пациентами с ПКР, которые не получали антибиотики, пациенты, получившие курс антибиотикотерапии, имели более низкие показатели выживаемости: общей выживаемости (17,3 против 30,6 мес.; ОР 3,5 и выживаемости без прогрессирования (1,9 против 7,4 мес.; ОР 3,1 [95% ДИ 1,4-6,9]; p<0,01) соответственно. В группе пациентов с НМРЛ, которые получали антибиотики, также отмечалась более низкая медиана общей выживаемости (7,9 против 24,6 мес.; ОР 4,4 p<0,01), а также была низкой и медиана выживаемости без прогрессирования (1,9 против 3,8 мес.; ОР 1,5 [95% ДИ 1,0-2,2]). Бытует мнение о том, что отрицательное влияние антибиотиков на формирование ответа на иммунотерапию обусловлено их способностью подавлять «эссенциальную» микрофлору кишечника. Это также было подтверждено рядом работ, выполненных на мышинных моделях.

Именно поэтому подобные исследования являются очевидно перспективными и могут обосновать необходимость определения дефицитных энтеротипов и проведения фекальной микробной трансплантации для улучшения противоопухолевого ответа различных злокачественных заболеваний на иммунотерапию check-point ингибиторами.

Разработка стандартов изучения кишечной микробиоты у онкологических больных

Определение состава кишечной микробиоты у онкологических больных сопряжено с рядом нерешенных вопросов:

- определение наиболее информативного локуса забора биоматериала;
- разработка методов забора, хранения, транспортировки биоматериала;
- разработка «банка микробиоты» (методы консервации культивируемых микроорганизмов, их последующее восстановление);
- синтезирование продуктов жизнедеятельности бактерий;

- изучение микробиоты после различных вмешательств, определение наиболее страдающего звена;
- донация макроорганизма.

Существующие методы изучения толстокишечной микробиоты (табл. 5.1) также разнятся по точности, чувствительности, специфичности, трудоемкости, стоимости и доступности выполнения метода в рутинной клинической практике.

Таблица 5.1 – Сравнительная оценка существующих методов изучения толстокишечной микробиоты

Метод	Достоинства	Недостатки
Культуральный [58-62]	Распространенность, относительная доступность, выделение чистой культуры	Трудоемкость, долговременность, изучаемый спектр 2-4% от общего количества микроорганизмов
ПЦР [58-62]	Высокая чувствительность и специфичность, автоматизация, быстрый результат	Высокая вероятность ложноположительных/ложноотрица тельных результатов, констатация присутствия/отсутствия микробных тел
RT-Q-PCR [58-62]	Высокая точность, быстрый результат	Отсутствие полных баз данных для сравнения, дороговизна
Секвенирование 16S рРНК [58-62]	Простота выполнения, возможность проследить путь эволюции, наличие баз данных	Широкий разброс разнообразия видов, невозможность оценить биологические функции
Полногеномное секвенирование [58-62]	Определение биологических функций, качественно- количественное соотношение микроорганизмов	Высокая стоимость, сложность выполнения, отсутствие баз данных
Изучение метаболома [58]	Высокая чувствительность, быстрота	Высокая стоимость, многократные повторения, оценка только ранее секвенированных микроорганизмов

Кишечная микробиота является потенциально модифицируемой единицей, поэтому различного рода вмешательства для восстановления благоприятной микрофлоры у

онкологических больных будут благоприятно сказываться на прогнозе заболевания. Для этого научному медицинскому сообществу предстоит разрешить ряд важных задач, в том числе:

- разработать стандарты изучения кишечной микробиоты;
- оценить факторы риска развития онкологических заболеваний (качественный и количественный состав кишечной микрофлоры) при нарушениях функционирования кишечной микрофлоры;
- обеспечить донацию «здоровой» (полноценной) микрофлоры кишечника с целью повышения эффективности иммунотерапии, в том числе, checkpoint-ингибиторами, особенно у онкологических пациентов после применения антибиотикотерапии.

Диагностика фолликулярного рака щитовидной железы

Расширение знаний о роли микроРНК в канцерогенезе позволило ученым НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова определить молекулы, которые могут служить маркерами при диагностике фолликулярного рака щитовидной железы. Открытие ляжет в основу разработки тест-систем для точной диагностики этого заболевания на дооперационном этапе. Работа над исследовательским проектом длилась три года. За это время специалисты выделили и проанализировали сотни микроРНК из доброкачественных и злокачественных фолликулярных узлов щитовидной железы. Сочетание экспериментальных и вычислительных подходов позволило выявить пару молекул микроРНК – miR-146b и miR-451. Оценка соотношения их активности позволяет установить или исключить рак у пациента.

По данным ВОЗ за последние десятилетия заболеваемость раком щитовидной железы выросла в два раза. Рак щитовидной железы имеет несколько биологических типов, среди которых фолликулярная карцинома является одним из самых сложных в плане диагностики и лечения вариантов.

При обнаружении у пациента узловых образований щитовидной железы, главный вопрос, который волнует и лечащего врача и больного «Каков характер новообразования - доброкачественное или злокачественное?» Чтобы установить точный диагноз врачи используют методы ультразвуковой диагностики и тонкоигольную аспирационную биопсию (ТАБ) с последующим цитологическим исследованием полученного биоматериала. Однако в случае фолликулярной природы узла цитологическое

исследование не позволяет подтвердить или исключить его злокачественный характер. В настоящее время в клинической практике нет метода, который позволил бы точно дифференцировать истинно злокачественный фолликулярный рак щитовидной железы и доброкачественную фолликулярную аденому. При этом первое заболевание требует оперативного лечения, а второе – обычно лишь наблюдения. Риск «оставить под наблюдением» фолликулярную карциному заставляет врачей в ряде случаев принимать решение об удалении щитовидной железы. И как результат - десятки операций, проведенных пациентам с доброкачественными новообразованиями.

Возможность решения этой проблемы с помощью анализа микроРНК-биоматериала, полученного в ходе тонкоигольной биопсии, исследуется давно. Но в клинической практике она пока не реализована из-за технологических сложностей. Оригинальный вариант решения предложили ученые НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова. Специалисты лаборатории субклеточных технологий с группой эндокринологии установили, что количество некоторых молекул микроРНК отличается в клетках фолликулярного рака и аденомы, причем эти отличия часто имеют разнонаправленный характер: активность одной молекулы возрастает в случае рака, другой – падает. Некоторые из таких реципрокных (разнонаправленных) изменений повторяются от случая к случаю и, вероятно, имеют биологический смысл. С практической точки зрения важно, что они могут быть оценены и использованы в качестве диагностических критериев.

Чтобы выявить те самые «маркерные» микроРНК, ученые провели масштабное исследование. Для эксперимента они собрали образцы ткани узлов щитовидной железы у пациентов с подтвержденными диагнозами «фолликулярная аденома», «малоинвазивный фолликулярный рак» и «широкоинвазивный фолликулярный рак». Затем был проведен количественный анализ около 200 микроРНК с целью поиска молекул, активность которых имеет прямую или обратную корреляцию с инвазивностью ткани узла, то есть если сказать иначе - объемом прорастания в близлежащие ткани. На основе полученных результатов были отобраны лишь 10 микро-РНК, диагностический потенциал которых был исследован более подробно.

При содействии морфологов были составлены группы образцов фолликулярных узелков щитовидной железы с различным инвазивным потенциалом, то есть с различной степенью «прорастания» в близлежащие ткани. В этих образцах выявляли такие микро-РНК, изменение экспрессии, или «активности», которых соответствует степени инвазии клеток узла за пределы его капсулы. (А.В. Малек, заведующая лабораторией субклеточных

технологий НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова). Детальный анализ десяти выбранных молекул в расширенной коллекции образцов позволил выявить статистически значимые концентрационные различия. Но при оценке параметров диагностической значимости (специфичности, чувствительности) ни одна из молекул сама по себе не могла быть предложена в качестве маркера для клинического использования, т.е. не позволяла уверенно отличать доброкачественные и злокачественные фолликулярные узлы.

Тогда ученые предположили, что установить диагноз можно с помощью количественного анализа двух микроРНК путем оценки соотношения их концентраций. Была создана программа для проведения расчетов большого количества молекул и образцов. Этот подход позволил выявить пары молекул, соотношение концентраций которых четко ассоциировано с диагнозом фолликулярный рак. В частности, пара «miR-146b / miR-451» показывала хороший диагностический потенциал. Было обнаружено, что в злокачественных образцах с большей степенью инвазии уменьшалось количество и падала активность молекулы miR-451, при этом увеличивалось количество и возрастала активность молекулы miR-146b. Работы других исследователей подтверждали участие этих молекул в развитии фолликулярного рака. Интересно, что биологическая активность одной молекулы ассоциировалась с «доброкачественными» характеристиками клеток, а другая участвовала в формировании «злокачественного» фенотипа. Таким образом прослеживалась четкая взаимосвязь между концентрацией молекул miR-146b и miR-451 и инвазивным потенциалом клеток фолликулярных узлов. Эта пара микро-РНК оказалась маркером для точной постановки диагноза, она позволила отличить истинно злокачественный фолликулярный рак щитовидной железы от доброкачественной фолликулярной аденомы. По мнению ученых, данный метод диагностики фолликулярного рака щитовидной железы возможно внедрить в рутинную клиническую практику. Тест-системы на основе ПЦР анализа нескольких пар микроРНК могут быть разработаны уже в ближайшие несколько лет. В целом предлагается следующий диагностический алгоритм: пациенту выполняется тонкоигольная аспирационная биопсия, далее биопсийный материал исследуется цитологом, и в случае обнаружения признаков фолликулярной опухоли, цитологический препарат используется для выделения микроРНК. Важно, новый метод «органично» встраивается в стандартный диагностический алгоритм и не предполагает проведения пациенту дополнительных процедур. После выделения РНК проводится анализ и расчет соотношений концентраций «маркерных» микроРНК. В рутинной клинической практике количественное определение микро-РНК, скорее всего, будет выполняться методом ОТ-ПЦР. Однако, технология требует оптимизации основных этапов: выделения

РНК, количественного анализа «маркерных» молекул и алгоритмов расчета полученных данных. В итоге исследователи предположили, что время выполнения и стоимость анализа будет сопоставима с современными методами ПЦР-диагностики, например, вирусных инфекций или точечных мутаций. Разработка новых методов диагностики различных типов рака на основе микроРНК одно из ведущих направлений работы ученых лаборатории. Сейчас в НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова проводятся исследования в области диагностики рака предстательной железы, рака молочной железы, рака шейки матки и колоректального рака.

МикроРНК – класс молекул малых регуляторных РНК, которые контролируют экспрессию белок-кодирующих генов. МикроРНК участвуют во всех ключевых процессах клетки, включая клеточную пролиферацию (размножение путем деления), дифференцировку (реализация запрограммированной генами функции) и апоптоз (программируемая гибель). МикроРНК также участвуют в межклеточном взаимодействии. Исследования ученых по всему миру показывают, что микроРНК участвуют в развитии различных типов онкологических заболеваний.

Фолликулярный рак – тип злокачественного новообразования щитовидной железы. Встречается у взрослых, пик заболеваемости наступает в 50-55 лет. Этот вид опухоли характеризуется медленным ростом. На поздних стадиях образуют метастазы в лимфатических узлах шеи, а также в костях, печени и легких. Современные диагностические технологии не позволяют отличить фолликулярный рак от доброкачественной аденомы щитовидной железы на дооперационном этапе. Поэтому многие пациенты вынужденно подвергаются операции – удалению железы (тиреоидэктомии) и переходят к пожизненному применению гормонзамещающей терапии.

Иммунитет и коронавирус

Учитывая сложившуюся ситуацию с Пандемией Covid-19 в мире, от которой страдают, в первую очередь легкие, необходимо процитировать первые, предварительные, исследования ученых об этой инфекции.

Лихорадка, кашель, дыхательная недостаточность: 3 основных симптома Covid-19, но не единственные. Хотя в настоящее время нет никаких доказательств того, что существует тесная связь между инфекцией COVID-19 и кишечной микробиотой, однако следует быть осторожными при постановке диагноза. Например, некоторые исследования показали, что половина пациентов с положительным результатом на коронавирус, также

имели пищеварительные симптомы: потерю аппетита, диарею, рвоту или боли в животе. Исключая потерю аппетита, которая не обязательно специфична для кишечного расстройства, у 1 из 5 пациентов в этом исследовании были строго пищеварительные симптомы, которые были подчеркнуты ухудшением состояния больного Covid-19а. В стуле больных Covid-19а пациентов был найден генетический материал вируса, или даже активных вирусов, способных размножаться в нашей пищеварительной системе. Другое исследование выявило дисбаланс кишечной флоры (дисбиоз) у 2х пациентов в возрасте 65 и 78 лет, которые впоследствии умерли от Covid-19f. Связь между дисбиозом кишечника и Covid-19 здесь кажется неактуальной: хорошо известно, что пожилые люди имеют несбалансированную кишечную флору. Наконец, недавно была открыта дискуссия о роли, которую бактерии *Prevotella* могут играть в инфекции, но на сегодняшний день нет никаких научных аргументов в поддержку этой гипотезы.

Эти исследования, проведенные на ограниченном числе пациентов, иногда публикуются без предварительной проверки рецензируемым комитетом и требуют осторожного подхода. С осторожностью надо рассматривать и решение ansm11 от 16 марта 2020 года по усилению мер предосторожности при трансплантации фекальной микробиоты. Причина – при лечении кишечных инфекций с *Clostridium difficile* методом ТФК, есть опасность передачи этим пациентам других патогенов. То же для пациентов с хроническими воспалительными заболеваниями кишечника, и особенно тех, кто лечится иммунодепрессантами, т.к. они более восприимчивы к вирусным инфекциям, хотя по-прежнему отсутствуют конкретные данные.

Врожденный иммунитет при коронавирусной инфекции

(Руководитель проекта: академик Тотолян А.А., директор НИИ эпидемиологии и микробиологии имени Пастера.)

Еще несколько месяцев назад мир не знал о существовании вируса, который изменит жизнь более 7,5 миллиардов человек. Сегодня ученые всего мира пытаются найти вакцину и действенное лекарство для борьбы с пандемией. Однако постепенно ученые узнают больше подробностей о новом вирусе. Так, стало известно, что SARS-CoV-2 в некоторых случаях избегает иммунного ответа и приостанавливает выработку важной молекулы — интерферона.

Как вирус SARS-CoV-2 проникает в клетку?

Пять путей переноса информации патогенного коронавируса в клетку хозяина

- 1) SARS-CoV, SARS-CoV2 связывается с клеточным рецептором АПФ 2 и транспортируется в эндосому
- 2) SARS-CoV, SARS-CoV2 связывается с дополнительным клеточным рецептором CD147 и транспортируется в эндосому
- 3) MERS-CoV связывается с клеточным рецептором DPP4 и также транспортируется в эндосому
- 4) Вирус проникает в клетку посредством пиноцитоза
- 5) S- антиген вируса CoV распознается TLR4

Первая и основная клетка, в которую проникает вирус — эпителиальная. Прежде всего, речь идет об эпителиальных клетках верхних дыхательных путей. Ведь основные ворота для проникновения вируса — это носоглотка и ротоглотка. При дальнейшем успешном развитии инфекции поражаются средние и нижние дыхательные системы.

В части случаев вирус поражает и другие органы и системы человека — желудочно-кишечный тракт и почки. Об этом свидетельствует соответствующая симптоматика — диарейный синдром и почечная недостаточность.

Когда в январе 2020 году инфекция стала известна широкому кругу специалистов, считалось, что единственный путь попадания вируса в клетку осуществляется с помощью ангиотензин превращающего фермента — рецептора, получившего название ACE2. Но оказалось, что существует второй рецептор, который выполняет функцию входных ворот для вируса в клетку — CD147. Этот белок располагается на поверхности или мембране клетки. Против него уже существует моноклональное антитело — то есть лекарственный препарат, который применяют при лечении некоторых онкологических заболеваний. Поэтому в ряде зарубежных стран были инициированы клинические исследования этого препарата как возможного кандидата для лечения COVID-19. Исследования продолжаются, но пока результатов нет. Если этот препарат окажется эффективным, то это значительно упростит ситуацию и сэкономит время.

Вирус, проникая в клетку, запускает целый ряд механизмов, которые приводят к развитию дефектов. Нормальная клетка при проникновении чужеродного микроорганизма ведет себя соответствующим образом. Одно из проявлений ее поведения связано с выработкой интерферона. Интерфероны — это семейство белковых молекул, которые продуцируются различными клетками организма человека и обеспечивают, в том числе, противовирусный иммунитет. При этом интерфероны обладают неспецифической активностью, то есть действуют не на возбудителя какого-то конкретного заболевания, а на

любые вирусные частицы в целом. На сегодняшний день известно целое семейство интерферонов — 20 разных молекул, объединенных одним названием.

Наиболее известными являются три интерферона: альфа, бета и гамма. Интерферон-альфа обладает истинной противовирусной активностью, чуть слабее — интерферон бета. Интерферон гамма напрямую не обладает противовирусной активностью. У него другая функция — иммунорегулирующая. Он принимает самое активное участие в регуляции иммунного ответа, во взаимодействии врожденного и адаптивного иммунитета. Поэтому, в первую очередь, нас интересует интерферон альфа. В норме эпителиальные клетки должны были вырабатывать интерферон альфа и гамма при встрече с коронавирусом. Но в отношении интерферона альфа этого не происходит. Дело в том, что у вируса SARS-CoV-2 есть определенные механизмы, с помощью которых он подавляет не только продукцию интерферона, но и сам синтез. Эти процессы происходят на молекулярном уровне. Они приводят к дефекту эпителиальной клетки, после чего она не может продуцировать интерферон альфа. Этот факт имеет множество последствий для организма. Чтобы не допустить этого, специалисты проводят заместительную терапию с помощью препаратов на основе интерферона альфа, которые позволяют восполнить дефицит. Это помогает иммунитету. Интерферон вводят извне, тем самым компенсируя дефект, вызванный вирусом. Препараты на основе интерферона альфа особенно должны быть эффективны на ранних этапах, пока инфекция не спустилась в нижние отделы дыхательных путей. А интерферон гамма, напротив, важен на поздних этапах, когда инфекция сопровождается пневмонией и так называемым цитокиновым штормом.

Дело в том, что клетки иммунной системы «общаются» между собой с помощью самых разных молекул, которые называются цитокинами. В ответ на инфекцию они, естественно, синтезируются более активно. Поначалу эти молекулы выполняют защитную функцию, привлекая в очаг воспаления всё больше иных молекул и клеток. Но наступает момент, когда ситуация выходит из-под контроля, и цитокины продуцируются в огромном количестве, тем самым нанося вред самому организму. И именно здесь важную роль играет интерферон гамма, который как раз запускает синтез целого ряда цитокинов. Поэтому целесообразно применять терапию с помощью антицитокиновых препаратов, чтобы нормализовать этот процесс. Если цитокинового шторма нет, применять препараты для антицитокиновой терапии нельзя, т.к. возможен диаметрально противоположный результат. Выключение любого нормально функционирующего компонента иммунной системы приводит к развитию иммуносупрессии — дефекта иммунной системы.

Почему COVID-19 поражает именно легкие?

Вирусу проще попасть в организм через нос или рот, а затем в легкие. А в ряде случаев, он попадает в желудочно-кишечный тракт.

Патогенный вирус, достигая респираторного отдела легких, инфицирует пневмоциты II типа и индуцирует в очаге секрецию широкого пула провоспалительных цитокинов и хемокинов, таких как IL-2, IL-10, G-CSF, TNFальфа, CCL3, CCL5, CCL2 и CXCL10 в меньшей степени он активирует секрецию TNF и IL-6 и минимальную - IFN альфа/бета.

Иммунная система очень многогранна и распространена по всему организму, имея «представительства» практически во всех органах и тканях. Если иммунная система желудочно-кишечного тракта не справляется с ситуацией, значит, вирус с большей вероятностью там поселится. Такая же ситуация обстоит с почками. Скажем, если пациент страдает сахарным диабетом, то его почки также находятся в поврежденном состоянии. Следовательно, вирус может задержаться именно в почках.

Вакцины и лекарства против коронавируса

Сегодня как минимум 8 коллективов в России занимаются разработкой вакцины. Если ее удастся создать, то она поможет нам с пандемией. По разным оценкам, вирус может приобрести сезонный характер.

По сути, вакцина — это долгосрочная профилактика, считают ученые. Ее появление позволит нам быстро сформировать иммунизированную прослойку, которая будет защищать остальных. Мы не можем иммунизировать всех подряд. Существуют определенные ограничения, которые не позволяют использовать одну и ту же вакцину для всех. Есть пациенты с иммунодефицитом, приобретенным или врожденным. Для таких групп пациентов некоторые вакцины просто противопоказаны. Именно поэтому 100%-я вакцинация не достигается. Но она, по существу, и не нужна. Согласно теории коллективного иммунитета, достаточно 70% населения с иммунитетом к вирусу, чтобы избежать пандемии.

Группы иммунологических препаратов

Перспектива

- **Вакцины** Долгосрочная профилактика
- **Терапевтические антитела** Краткосрочная профилактика
Лечение

Можно реализовать сейчас:

- **Препараты интерферона-альфа 2b (местно)** Защита от вируса
 - **Стимуляторы врожденного иммунитета**
 - **БЦЖ (не для терапии, нельзя в острый период)** Профилактика
 - **Препараты для антицитокиновой терапии:** бактериальной инфекции
 - анти-IL-6 (тоцилизумаб)
 - анти-IL-6R (сарилумаб)
 - анти-TNFα (инфликсимаб, этанерцепт, адалимумаб, голимумаб и цертолизумаб)
 - анти-VEGF (бевацизумаб)
 - анти-CD147 (меплазумаб)
- При «цитокиновом шторме»

Рисунок 5.1 – Группы иммунологических препаратов

Если говорить о лечении, то наиболее эффективными специфичными против вируса иммунопрепаратами должны стать терапевтические моноклональные антитела — антитела, вырабатываемые иммунными клетками, принадлежащими к одному клеточному клону, то есть произошедшими из одной плазматической клетки-предшественницы. Пока таких препаратов у нас нет, клиницисты идут другим путем: переливают плазму реконвалесцентов, то есть выздоравливающих людей. В крови выздоровевших имеются специфические антитела. Их плазму крови вводят тем, кто наиболее тяжело переносит заболевание.

На первом месте - терапевтические антитела. Моноклональные антитела, это препараты, которые обладают высокой селективностью в отношении молекулярной мишени. Антитела обладают способностью точно связываться с антигеном благодаря специальным антигенсвязывающим участкам, имеющим к нему высокую специфичность. Это определяет селективность лекарств на основе антител в отношении конкретной мишени.

Вторые по значимости — пептиды, которые могут обладать активностью против вируса. В исследованиях НИИ эпидемиологии и микробиологии имени Пастера занимаются именно влиянием пептидов.

Это то, что касается перспектив иммунотерапии. Пациенты, особенно с тяжелыми формами заболевания, получают самое разнообразное лечение и в части применяемых

препаратов, и в части медицинских технологий. В этом вопросе «карты в руки» клиницистам, которые непосредственно ведут этих пациентов, прежде всего, реаниматологам и пульмонологам.

Новая вакцина от коронавируса

При поддержке ВОЗ в Санкт-Петербургском институте экспериментальной медицины создана уникальная лаборатория, которая позволяет работать с патогенами 2-й, 3-й, 4-й группы, в том числе с живым коронавирусом. В институте занимаются разработкой уникальных вакцин на основе полезных микроорганизмов, в которых есть антигены возбудителей различных заболеваний. Препараты предназначены для лечения сахарного диабета, сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний.

Глобальная цель специалистов найти средства диагностики и лечения, которые подошли бы каждому человеку.

В ИЭМ проводятся предварительные испытания вакцины от коронавируса в виде йогурта, который позволяет организму выработать антитела к COVID. Разработчик вакцины, руководитель отдела молекулярной микробиологии Института экспериментальной медицины член-корр. РАН Александр Николаевич Суворов.

Прототип вакцины против COVID-19 на основе пробиотиков уже несколько месяцев испытывают в ИЭМ. Антигены в вакцине заключены в микрокапсулы, это защищает действующее вещество от пищеварительных ферментов. Использование вакцины на слизистых лабораторных животных, дал очень хороший иммунный ответ, специфические антитела были на слизистых и в крови. Помимо антител, у испытуемых животных выработались Т-лимфоциты. Эти элементы убивают клетки, зараженные коронавирусом. Сейчас ученые ждут, когда смогут провести исследования вакцины на реальном вирусе. Суворова А.Н. считает, что COVID-19 относится ко второй группе патогенности, что позволяет проводить испытания только на определенных площадках.

Работу над вакциной ученые начали еще зимой, когда в международных базах данных появилась информация о сиквенсе (прочитанная последовательность генетического кода) генома SARS-CoV-2. Идея же создания вакцин на основе пробиотиков у микробиологов института появилась давно и уже есть результаты.

Разработанная учеными технология, позволяет встраивать фрагменты генов вирусов или бактерий, кодирующих их иммуногенные белки (те, которые вызывают иммунный

ответ в организме человека) в геном полезных для человека молочнокислых бактерий *Enterococcus faecium* L-3. Эти бактерии умеют сбраживать молоко и образовывать молочнокислые закваски. Мы создали уже прототипы таких вакцин, в частности, против гриппа, пневмонии, менингококка, стрептококков группы В и знаем, что эти препараты работают. Большинство из них запатентованы. Используя эту технологию, мы заказали искусственно синтезированный кусочек генома коронавируса и создали прототип вакцины от COVID-19 (Суворов АН). По словам микробиолога, создание препарата велось исключительно на энтузиазме сотрудников ИЭМ. Сейчас созданные штаммы молочнокислых заквасок ученые испытывают на мышах. По вкусу новая вакцина похожа на ряженку, хотя, по словам Александра Суворова, она может создаваться не только на молоке, но и в виде капсул, которые содержат жизнеспособные, но высушенные бактерии. Большинство инъекционных вакцин нацелены на иммунитет и выработку антител в крови. С учетом того, что коронавирус распространяется через слизистые оболочки, вакцина при пероральном употреблении стимулирует как местный, так и системный иммунный ответ. В этой разработке заложена очень серьезная научная работа.

5.3 Выводы

1. Определение состава кишечной микробиоты является одной из перспективных задач, которая в будущем позволит оценивать клинический ответ на применение таргетных препаратов.

2. Дальнейшее изучение населяющих кишечник бактерий поможет лучше определить их роль в общем метаболизме, сформировать более точное представление о патогенезе ряда заболеваний, а также стать основой для разработки методик лечения в рамках концепции точной медицины.

3. Применение новейших методов исследований, в частности геномного и метаболомного анализа, позволило достичь значительного прогресса в расшифровке таксономического и генетического разнообразия, понимании структуры и функциональной активности микробиоты человека, его роли в поддержании или расстройстве здоровья.

4. Одним из новых технологических подходов является создание пробиотиков – бактериальных препаратов, предназначенных для восстановления микробной экологии в организме. Именно исследования пробиотиков нового поколения в комбинации с антибиотиками, обладающими противоопухолевым и антиканцерогенным действием, позволят обосновать схемы применения средств модификации микробиоты в клинической практике, в частности, у онкологических больных.

5. Созданные новые диагностикумы на основе бактериальных рецепторных белков, позволят осуществлять элиминацию конкретных штаммов-возбудителей с определенным набором факторов патогенности.

6. Создание биобанка микробиоты здоровых людей с целью их длительного хранения до момента возникновения патологии, может стать важным фактором восстановления здоровья населения и решения широкого круга социальноэкономических проблем страны.

7. ТФМ может рассматриваться как метод «терапии спасения» в составе комбинированной терапии у детей и взрослых в критическом состоянии с острой РТПХ кишечника в сочетании с сепсисом.

8. Результаты работ ученых Санкт-Петербурга, посвященные проблеме микробиоты, микроэкологии человека, изучению патологических процессов, обусловленных нарушениями в микробной экологии и поиску новых подходов к профилактике и терапии различных отраслей медицины, позволит существенно снизить общую заболеваемость населения.

9. Разработанная учеными ИЭМ технология, позволяет встраивать фрагменты генов вирусов или бактерий, кодирующих их иммуногенные белки в геном полезных для человека молочнокислых бактерий *Enterococcus faecium* L-3.

10. Учеными Центра Алгоритмической биотехнологии СПбГУ создан новый сборщик метагеномных данных SPAdes на основе ранее разработанного ими и используемого в настоящее время в более чем 1000 лабораториях по всему миру. Данный сборщик геномов признан лучшим в мире для сборки геномных последовательностей хромосом.

11. Развитие предлагаемого научного направления позволит существенно пополнить необходимый багаж фундаментальных знаний, а также сформировать ряд новых подходов с использованием новых появившихся недавно методологий, направленных на лечение и профилактику заболеваний человека.

12. Полученные результаты исследований, соответствующие мировому уровню, публикуются в ведущих профильных журналах, индексируемых ВАК, Scopus и др.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Афанасьев, Б. В. Аллогенная трансплантация гемопоэтических стволовых клеток у детей: настоящее, проблемы, перспективы./Б.В. Афанасьев, А.Н. Васильев, Д.В. Горячев и др. //Био-препараты. – 2015. - №54(2). - С.15-23.

2. Агеев, В.А. Проблема устойчивости к карбапенемным антибиотикам: распространение карбапенемаз в мире и России. /В.А. Агеев, И.В. Лазарева, С.В. Сидоренко. //Эпидемиология, диагностика, возможности лечения // Фарматека. – 2015. – №14 (307). – С. 9-16.
3. Бельмер С.В. Антибиотик-ассоциированный дисбактериоз кишечника./ Бельмер С.В. // РМЖ. – 2004. – т. (12). – С. 148-151.
4. Васильева, Н.В. Роль патогенных и условно-патогенных грибов в жизни человека: Учебное пособие. / Н.В. Васильева, А.Д. Юцковский, Л.М. Кулагина и др.// СПб. - 2014. - 206 с.
5. Голощапов, О. В. Фекальный кальпротектин – новый количественный биомаркер острой и хронической реакции «трансплантат против хозяина» с вовлечением кишечника после аллогенной трансплантации гемопоэтических стволовых клеток./ О.В. Голощапов, В. Н. Вавилов, Л.С. Зубаровская и др. // Клиническая онкогематология. – 2011. – № 4 (1). – С. 3–7.
6. Голощапов, О.В. Первый опыт терапии полирезистентных инфекционных осложнений, ассоциированных с *Clostridium difficile* и *Klebsiella pneumoniae*, методом трансплантации фекальной микробиоты у пациентов после аллогенной трансплантации гемопоэтических стволовых клеток./ О. В Голощапов, М. А. Кучер, М. А. Суворова и др.// Инфекционные болезни. – 2017. – Т. 3, № 15. – С. 65–74.
7. Голощапов, О. В. Трансплантация фекальной микробиоты при критическом состоянии пациентов в онкогематологической практике. О.В. Голощапов., Д.В. Чуракина, М.А. Кучер и др. //Вестник анестезиологии и реаниматологии. – 2019. – Т. 16, № 3. – С. 63-73.
8. Джапаридзе Л. А., Суворов А. Н. Изучение микробиома человека как основы для коррекции инфекционных и неинфекционных патологий // Региональная экология. 2018. - № 4 (54). - С. 16–27. DOI: 10.30694/1026-5600-2018-4-16-27
9. Землянко О.М. Механизмы множественной устойчивости бактерий к антибиотикам./ Землянко О.М., Рогоза Т.М., Журавлева Г.А. // Экологическая генетика. – 2018. – Т. 16. – №3. – С. 4–17.
10. Зуева, Л.П. Современный взгляд на роль бактериофагов в эволюции госпитальных штаммов и профилактике ИСМП. / Л.П. Зуева, Б.И. Асланов // Эпидемиология и Вакцинопрофилактика. – 2014. - No 1 (74).- С. 43-49

11. Китаева Л.В. Мукоциты с микроядрами и обсемененность кокковыми формами *Helicobacter pylori* в слизистой оболочке желудка человека. /Китаева Л.В., Михайлова И.А., Семов Д.М., и др. // Цитология. - 2008. -Т. 50. – № 2. – С. 160–163.
12. Кожевников А.А. Кишечная микробиота: современные представления о видовом составе, функциях и методах исследования . /Кожевников А.А., Раскина К.В., Мартынова Е.Ю., и др. // РМЖ Русский медицинский журнал. – 2017.- №17. - С. 1244-1247.
13. Никонов, Е.Л. Трансплантация фекальной микробиоты или пробиотики?. / Е.Л. Никонов, В.А. Аксенов//Доказательная гастроэнтерология. - 2017. - № 3 – С. 19-25
14. Полуэктова Е.А., Ляшенко О.С., Шифрин О.С. и др. Современные методы изучения микрофлоры желудочно-кишечного тракта человека. / Полуэктова Е.А., Ляшенко О.С., Шифрин О.С. и др. //РЖГГК.- 2014; №2. – С. 85-91.
15. Равин Н.В. Геном прокариот. /Н.В. Равин, С.В. Шестаков // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2013. – Т. 17. – № 4–2. – С. 972–984.
16. Рахманова А. Г. Хронический вирусный гепатит С и цирроз печени./ Рахманова А. Г. Яковлев А. А., Кащенко В. А., // Санкт-Петербург, Изд-во СпецЛит. – 2016. – 380 с.
17. Семиглазова Т.Ю., Роль кишечной микробиоты в формировании ответа на иммунотерапию злокачественных новообразований: состояние проблемы. /Семиглазова Т.Ю., Бриш Н.А., Галунова Т.Ю. и др.// Медицинский совет. - 2018. - № 10.- С.- 128-133. Новости онкологии – RosOncoWeb 27.08.2018
18. Сидоренко, С.В. Имипенем: 30 лет терапии / С.В.Сидоренко, И.В.Партина, В.А.Агеевец //Антибиотики и химиотерапия. – 2013 – Т.58, №5-6. – С. 55-61.
19. Смирнов В.С. Врожденный иммунитет при коронавирусной инфекции. /Смирнов В.С., Тотолян А.А.//Инфекция и иммунитет. - 2019. - URL: <https://doi.org/10.15789/2220-7619-1111440>
20. Суворов А.Н. Мир микробов и человек. «Природа».- 2015. №5. стр. 11-19.
21. Суворов А.Н. Сетевое издание «ДокторПитер» - информационно-справочное издание (свидетельство Роскомнадзора ЭЛ № ФС 77 - 66334 от 14.07.2016, учредитель — АО "АЖУР-МЕДИА")
22. Тотолян А.А. Иммунитет и коронавирус. Интервью на портале «Научная Россия». - 30 апреля 2020 г

23. Циммерман Я.С. Учение о дисбиозе ("дисбактериозе") кишечника: состояние проблемы и новые тенденции// Ж.Клиническая медицина. - 2017. - Том:95. №8. – С.677-686.
24. Янковский, Д.С. Микробиом и здоровье женщины / Д.С. Янковский, В.П.Широбоков, Ю.Г. Антипкин и др. // Репродуктивная эндокринология. – 2015. – № 4(24). – С. 40-55.
25. Янковский, Д.С. Микробиом. /О.И., Янковский Д.С., Широбоков В.П., Димент и др. – К.: ФЛП Верес, 2018. – 640 с.
26. Antipov D , MetaviralSPAdes: assembly of viruses from metagenomic data. / Antipov D, Lapidus A, Pevzner PA. //Bioinformatics (Q1).- 2020 May 15:btaa490. doi: 10.1093/bioinformatics/btaa490. Online ahead of print. PMID: 32413137.
27. Arora T. The gut microbiota and metabolic disease: current understanding and future perspectives./ Arora T., Bäckhed F. // J. Intern. Med. 2016; Vol.280; №4: 339-349.
28. Asakura M, Hinenoya A, Alam MS, et al. An inducible lambdoid prophage encoding cytolethal distending toxin (Cdt-I) and a type III effector protein in enteropathogenic Escherichia coli./ Asakura M, Hinenoya A, Alam MS, et al. // Proc Natl Acad Sci USA. – 2007/ - V. 104(36). - P-14483-14488.
29. Baranova, E. Induction and modulation of genotoxicity by the bacteriome in mammals./ V.G. Druzhinin, L.V. Matskova, A. Baranova, E.// Fusic //Mutat. Res. – 2018. - vol. 776. - pp. 70–77.
30. Barko, P. C. The gastrointestinal microbiome: A review / P. C. Barko, M. A. McMichael, K. S. Swanson // J. Vet. Intern. Med.– 2018. – V. 32(1). – P. 9– 25.
31. Cammarota, G. European consensus conference on faecal microbiota transplantation in clinical practice./ G. Cammarota et al. // Gut. - 2017. - V. 66, N 4. - P. 569–580.
32. Chumduri C, Gurumurthy RK, Zadora PK, et al. Chlamydia infection promotes host DNA damage and proliferation but impairs the DNA damage response. /Chumduri C, Gurumurthy RK, Zadora PK, et al. //Cell Host Microbe. - 2013. – V.13(6) – P.746-758.
33. Dethlefsen L. Incomplete recovery and individualized responses of the human distal gut microbiota to repeated antibiotic perturbation. / Dethlefsen L, Relman DA. //Proc Natl AcadSci U S A. - 2011. Mar 15. – V. 108. Suppl 1: - P.4554-61.
34. Gopalakrishnan V., Spencer C.N., Nezi L., et al. Gut microbiome modulates response to anti-PD-1 immunotherapy in melanoma patients. / Gopalakrishnan V., Spencer C.N., Nezi L., et al. //Science. - 5 Jan 2018. - Vol. 359; Issue 6371: P.97-103.

35. Grasso F, Frisan T. Bacterial Genotoxins: Merging the DNA Damage Response into Infection Biology. /Grasso F, Frisan T.// *Biomolecules*.- 2015. – V.5(3): - P.1762-1782
36. Dolgin E. Fighting cancer with microbes. /Dolgin E. // *Nature*. - 2020. - V. 577. - P. 16-18. DOI: 10.1038/d41586-020-00199-x.
37. Druzhinin, V.G. Induction and modulation of genotoxicity by the bacteriome in mammals, /Druzhinin, V.G., Matskova, L.V., and Fucic, A.,// *Mutat. Res.* – 2018. - vol. 776. - pp. 70–77
38. Fedor Y. From single-strand breaks to double-strand breaks during S-phase: a new mode of action of the Escherichia coli Cytotoxic Distending Toxin. / Fedor Y, Vignard J, Nicolau-Travers ML, et al.//*Cell Microbiol.*- 2013. –V.15(1).- P.1-15.
39. Frisan T. Bacterial genotoxins: The long journey to the nucleus of mammalian cells. / Frisan T. // *Biochim Biophys Acta*. – 2016. – V.1858(3). - P.567-575. doi: 10.1016/j.bbame.2015.08.016.
40. Knyazeva, M. Reciprocal Dysregulation of MiR-146b and MiR-451 Contributes in Malignant Phenotype of Follicular Thyroid Tumor./ Knyazeva, M, Korobkina, E, Malek, A, et al, // *Int J Mol.Sci.* - 2020 sep. – V. 21(7) – P. 5950. URL: Published online 2020 AUG 19.
41. Lei, Pan. Clinical characteristics of COVID-19 patients with digestive symptoms in Hubei, China: a descriptive, cross-sectional, multicenter study. / Pan Lei, Mu Mi, Y. Pengcheng, et al. //Preproof version. - 2020. URL: https://journals.lww.com/ajg/Documents/COVID_Digestive_Symptoms_AJG_Preproof.pdf [last consult: 14 april 2020.
42. Lucas C. Microbiota, Inflammation and Colorectal Cancer. / Lucas C, Barnich N, Nguyen HTT. // *Int J Mol Sci.* – 2017. – V.18(6). doi: 10.3390/ijms18061310.
43. Nguyen H.T. Streptomyces sp. VN1, a producer of diverse metabolites including non-natural furan-type anticancer compound. /Nguyen H.T., Pokhrel A.R., Nguyen C.T., et al. // *Scientific Reports*. – 2020. - V. 10. – P.1756 URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-58623-1>
44. Poplawski T. Helicobacter pylori infection and antioxidants can modulate the genotoxic effects of heterocyclic amines in gastric mucosa cells. // Poplawski T, Chojnacki C, Czubatka A, et al. // *Mol Biol Rep.*- 2013. – V.40(8):P.5205-5212. doi: 10.1007/s11033-013-2622-3.

45. Rai P. Streptococcus pneumoniae secretes hydrogen peroxide leading to DNA damage and apoptosis in lung cells. / Rai P, Parrish M, Tay IJ, et al. //Proc Natl Acad Sci U S A.- 2015. – V.112(26): P.3421-3430. doi: 10.1073/pnas.1424144112
46. Rautava, S. Maternal probiotic supplementation during pregnancy and breast-feeding reduces the risk of eczema in the infant./ S. Rautava, E. Kainonen, S. Salminen, et al. //J. Allergy Clin. Immunol. – 2012. – V.130. - P. 1355–1360.
47. Rey FE, Metabolic niche of a prominent sulfate-reducing human gut bacterium./ Rey FE, Gonzalez MD, Cheng J, et al //Proc Natl Acad Sci USA.- 2013. - V.110(33): -P.13582-13587.
48. Sekirov I, Gut microbiota in health and disease. / Sekirov I, Russell S.L, Antunes L.C, et al //Physiol. Rev. - 2010; Vol. 90.
49. Shao, Y. Stunted microbiota and opportunistic pathogen colonization in caesarean-section birth. / Y. Shao, S.C. Forster, E.Tsaliki, et al. //Nature . – 2019. - V. 574. - P. 117–121. URL: <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1560-1>
50. Shenderov B, Manvelova B. Method for obtaining an autoprobiotic containing live bifidobacteria and lactobacteria. URL: <http://www.freepatent.ru/patents/2139070,1999>
51. Sivan. Commensal Bifidobacterium promotes antitumor immunity and facilitates anti-PD-L1 efficacy. / A. Sivan, L. Corrales, N. Hubert, J.B. et al //Science. - 2015 Nov 27. – V.350(6264): P.1084-1089.
52. Soloviova O. I. The use Ofprobiotics and autoprobiotics in the treatment of irritable bowel syndrome// Soloviova O. I., Simanenko V. I., Suvorov A. N., Ermolenko E. I. et al. //Experimental and Clinical Gastroenterology. – 2017. – Vol. 7. – P. 115-120.
53. Suvorov A., Karaseva A., Lapidus A., et al. Autoprobiotics As an approach for restoration of personalized microbiota./ Suvorov A., Karaseva A., Lapidus A., et al. // Human Microbiome and Ersonalized. Nutrition. - 2018. URL: [<https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01869>].
54. Tolstoganov I, CloudSPAdes: assembly of synthetic long reads using de Bruijn graphs./ Tolstoganov I, Bankevich A, Pevzner P.A. //Bioinformatics (Q1). – 2019. – V. 35(14). – P.61-70. doi: 10.1093/bioinformatics/btz349
55. Tuohy K., Del Rio D. Diet-microbe interactions in the gut./ Tuohy K., Del Rio D. // Elsevier Science. - 2014; P.268.
56. Ungaro, R.C. What Should Gastroenterologists and Patients Know About COVID-19. / R.C. Ungaro, T. Sullivan, J.F. Colombel, et al. //Clin Gastroenterol Hepatol. - 2020 Mar 17.

57. Yoshio Yamaoka, Helicobacter pylori virulence and cancer pathogenesis./ Yoshio Yamaoka, David Y Graham. // Future Oncology. – 2014. – V.10. – P. 1487-1500.
58. Viaud S. The Intestinal Microbiota Modulates the Anticancer Immune Effects of Cyclophosphamide. / Viaud S., Saccheri F., Mignot G., et al. //Science. - 22 Nov 2013. - Vol.342. - Issue 6161. - P.971-976
59. Viaud S., Saccheri F., Mignot G., et al. The Intestinal Microbiota Modulates the Anticancer Immune Effects of Cyclophosphamide./ Viaud S., Saccheri F., Mignot G., et al. // Science. - 22 Nov 2013; Vol.342; Issue 6161; pp.971-976.
60. Vielfort K, Soderholm N, Weyler L, et al. Neisseria gonorrhoeae infection causes DNA damage and affects the expression of p21, p27 and p53 in non-tumor epithelial cells. / Vielfort K, Soderholm N, Weyler L, et al. //J Cell Sci. – 2013. V.126(Pt 1). – P. 339-347.
61. Wang X, Huycke MM. Extracellular superoxide production by Enterococcus faecalis promotes chromosomal instability in mammalian cells. /// Wang X, Huycke MM. //Gastroenterology. – 2007. – V.132(2). – P. 551-561.

Публикации по результатам исследования

- 1) Монография «Микробиом и макроорганизм». – 2020. – 156 С.
- 2) Тезисы доклада: «Микробиом - потенциальный прогностический биомаркер в диагностике рака» во 2-ой Научной конференции с международным участием «Микробиота человека и животных». Место проведения: Санкт-Петербург, ФГБНУ «Институт экспериментальной медицины» 19-21 сентября 2020 г

Апробация предложений по отдельным перспективным направлениям фундаментальных исследований проходила в рамках Международных, российских научных конференций и форумов, междисциплинарных региональных научных конференциях и семинарах:

- 1) 2-8 февраля 2020. XI Всероссийская школа по клинической иммунологии «Иммунология для врачей» НИИ эпидемиологии и микробиологии имени Пастера
- 2) 23-24 апреля 2020 – II Научно-практический межрегиональный симпозиум «Эпидемиология и фармакоэкономика хронических вирусных инфекций на Северо-Западе Европы»
- 3) 8-11 июня – XVII Всероссийский научный форум с международным участием имени академика В.И. Иоффе «Дни иммунологии в Санкт-Петербурге»

- 4) 24-25 июня в Онлайн - режиме VI Петербургский международный онкологический форум «Белые ночи 2020»
- 5) 16-17 сентября –в Научно-практической конференции: «ВИЧ-инфекция и иммуносупрессии. Коинфекция – ВИЧ и туберкулез»
- 6) 18-19 сентября 2020 г. во 2ой Научной конференции с международным участием «Микробиота человека и животных» - в Онлайн – режиме
- 7) 5 - 6 октября 2020 г Российская научная конференция с международным участием «Фармакология гормональных систем»
- 8) 12–15 октября 2020 г VII Молодёжная школа-конференция по молекулярной и клеточной биологии. ИНЦ РАН
- 9) 19-24 октября 2020г. - XVI Всероссийское совещание с международным участием и школа по эволюционной физиологии, посвященная памяти академика Л.А. Орбели. (ИЭФБ РАН)
- 10) 30–31 октября 2020. The International Conference “ИНЦ РАН (Онлайн)
- 11) 19-20 ноября 2020 года Научно-практическая конференция с международным участием «ВИЧ-инфекция и иммуносупрессии. Вопросы эпидемиологии, фармакоэкономики и клиники вирусных инфекций» (Онлайн)
- 12) 3-4 декабря 2020г. Научно-практическая конференция «1V ежегодная конференция «Эволюция лекарственной терапии злокачественных опухолей: гормонотерапии, химиотерапии, таргетной терапии и иммунотерапии» с Международным участием в Онлайн – режиме.
- 13) 9-10 декабря – Международная научно-практическая конференция по вопросам противодействия новой коронавирусной инфекции и другим инфекционным заболеваниям. НИИ эпидемиологии и микробиологии имени Пастера (в Онлайн – режиме).
- 14) 9-11 декабря 2020 г. Онлайн – участие во Всероссийской научной конференции с Международным участием «Интегративная физиология», посвященной 95-летию Института физиологии им. И.П. Павлова.

6 Исследования по проблемам развития аграрно-промышленного комплекса региона

Развитие теоретических основ создания высокоэффективных растительно-микробных систем для устойчивого сельского хозяйства.

Переход к «устойчивому» сельскому хозяйству (от англ. “sustainable agriculture”) для производства полноценной, экологически чистой и оздоравливающей сельскохозяйственной продукции является основным направлением развития сельскохозяйственного производства во всем мире. Такой переход предполагает активное развитие принципиально новых агротехнологий. В земледелии активно развивается использование генетических ресурсов не только растений, но и микроорганизмов. Весьма перспективным представляется использование симбиотических взаимоотношений, которые возникают при формировании на корнях бобовых растений симбиотических клубеньков. Использование бобово-ризобияльного симбиоза позволит повысить биологическую азотфиксацию при одновременном снижении энергетических затрат, приведет к увеличению биоразнообразия почв. Бобовые являются важнейшими пищевыми и кормовыми культурами. Одной из важнейших зернобобовых культур в мире является горох посевной (*Pisum sativum* L.).

Свою уникальную адаптационную способность – фиксация атмосферного азота в симбиозе с клубеньковыми бактериями (ризобиями) бобовые растения приобрели благодаря возможности построения нового органа – симбиотического клубенька. Ризобии в клубеньке размещаются в специализированных инфицированных клетках. При этом бактерии отделены от цитоплазмы растительной клетки симбиотической мембраной. Бактерии дифференцируются в специализированную для фиксации азота форму – бактериоиды, которые вместе с окружающей их симбиотической мембраной, формируют симбиосомы. Следует отметить, что молекулярно-генетические и клеточные механизмы, лежащие в основе развития симбиотического клубенька, остаются недостаточно изученными. В отчетном году целью исследования являлось изучение роли цитокининов в развитии клубенька и механизмов устойчивости симбиотических клубеньков к действию кадмия.

Для изучения роли цитокининов в развитии клубенька был проведен иммуноцитохимический анализ распределения транспортных формы цитокининов – транс-зеатин рибозида и N6-изопентениладенозина в 2- и 4-недельных клубеньках гороха дикого типа и мутантов с различными нарушениями в развитии клубеньков.

В клубеньках гороха дикого типа профиль распределения цитокининов напоминал ранее описанный (Рисунок 6.1). Было предположено, что помимо локализации цитокининов в меристеме клубеньков дикого типа, их присутствие в зоне инфекции и апикальной части зоны азотфиксации подтверждает потенциальную роль цитокининов в контроле внутриклеточного размещения ризобий и дифференцировки тканей.

В этом исследовании были обнаружены измененные паттерны иммунолокализации цитокининов у мутантов *sum33* и *sum40*, дефектных по факторам транскрипции IPD3 / CYCLOPS и EFD, соответственно. У мутантов *sum33* область локализации цитокининов в основном ограничивалась меристемой, тогда как цитокинины отсутствовали в центральной части неинфицированных клубеньков (Рисунок 6.1Б). Напротив, у мутанта *sum40* цитокинины были обнаружены в зоне инфекции, где бактерии попадают в цитоплазму растительных клеток (Рисунок 6.1В). Однако высвобождение бактерий в растительные клетки у этого мутанта было задержано. Следовательно, усиленное накопление цитокининов на поздних стадиях развития симбиоза может быть связано с проникновением бактерий в клетки растений и последующей дифференцировкой клеток растений.

У мутантов *sum31*, образующих недифференцированные бактериоиды, наблюдалось значительное снижение интенсивности сигнала метки транс-зеатин рибозида, ассоциированной с симбиосомами (Fig. 1Г). Однако у мутантов *sum26*, образующих клубеньки с морфологически дифференцированными бактериоидами (Serova et al. 2018), интенсивность сигнала метки транс-зеатин рибозида, ассоциированной с бактериоидами, напоминала таковую в линии SGE дикого типа (рис. 1Д). Таким образом, наши результаты указывают на возможную положительную регуляцию дифференцировки бактериоидов цитокининами в клубеньках недетерминированного типа. С другой стороны, уровень дифференцировки бактериоидов может влиять на накопление цитокинина в инфицированных клетках клубеньков. Таким образом, будущие эксперименты должны изучить взаимосвязь между обоими процессами во время клубеньков.

Анализ обнаружил резкое снижение уровня транс-зеатин рибозида в зоне азотфиксации 4-недельных клубеньков во время стадии активной азотфиксации (Рисунок 1А), что, хорошо коррелирует с ранее полученными данными о негативном влиянии цитокининов на азотфиксацию.

Таким образом, цитокинины могут играть разнообразную роль на поздних стадиях развития клубеньков и стадии активной азотфиксации.

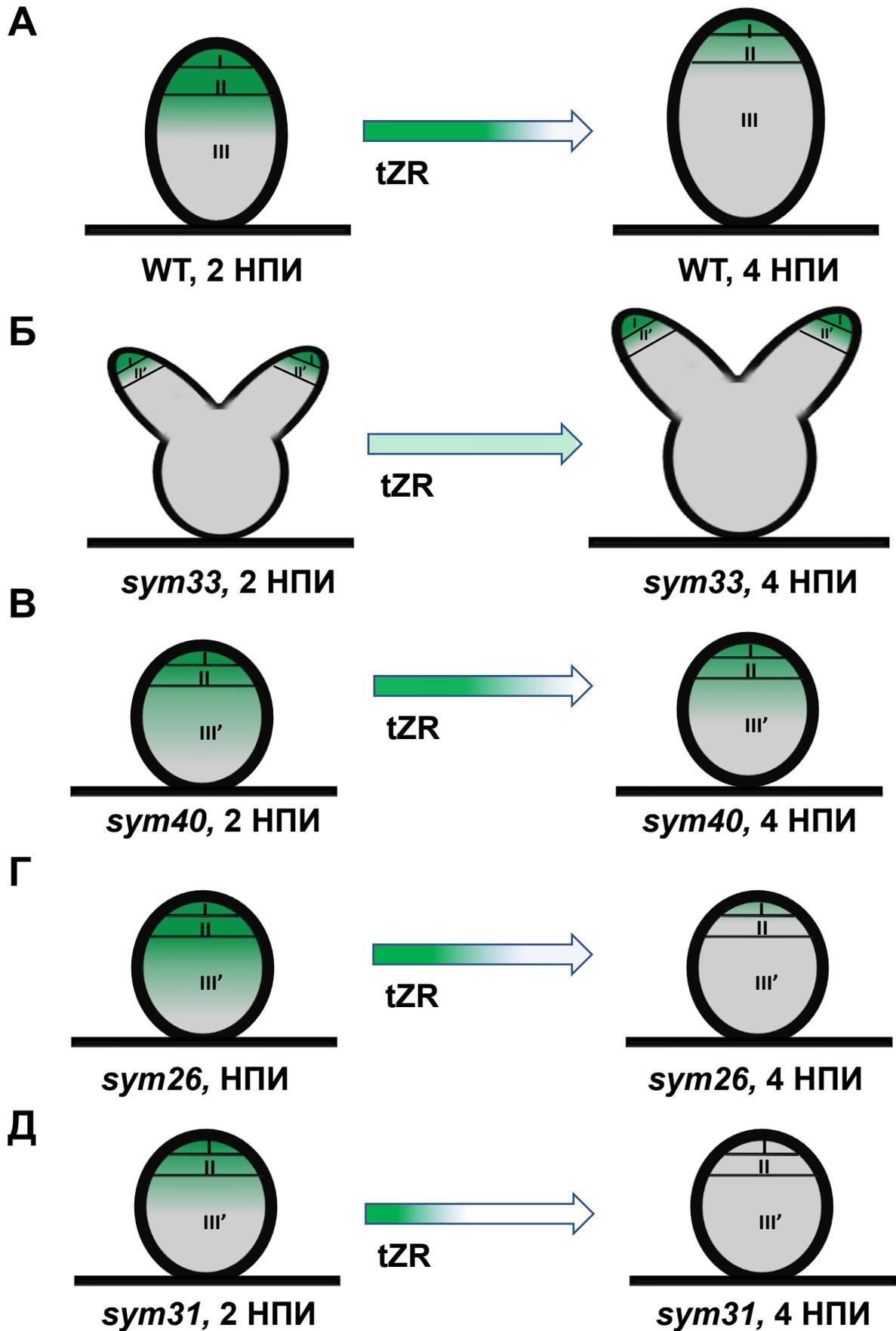


Рисунок 6.1 – Схема локализации цитокининов в клубеньках дикого типа (А) и мутантов *sym33-3* (Б), *sym40* (B), *sym31* (Г) и *sym26* (Д) через 2 и 4 недели после инокуляции (HPI).

Зоны клубенька обозначены римскими цифрами: I – меристема; II, зона инфекции; II' – зона распространения инфекционных нитей; III, зона фиксации; III' – зона, соответствующая зоне азотфиксации у дикого типа. Уменьшение интенсивности цвета стрелки указывает на снижение уровня цитокининов.

Вторым направлением исследований явилось изучение влияния тяжелых металлов (на примере кадмия) на функционирование симбиотических систем. Была изучена гистологическая и ультраструктурная организация обработанных Cd и необработанных клубеньков дикого типа линии SGE и мутанта SGECdt, инокулированных штаммами *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae* 3841, 3841-PsMT1 и 3841-PsMT2 (экспрессирующих в клубеньках гены металлотионенинов гороха *PsMT1* и *PsMT2*).

Растения дикого типа SGE (рис. 2А, Б) и мутанта SGECdt (Рисунок 2В, Г), инокулированные *R. leguminosarum* bv. *viciae* 3841 без воздействия Cd образовывали недетерминированные клубеньки, характеризующиеся типичной гистологической организацией (Tsyganov et al., 1998). Ультраструктурная организация клубеньков дикого типа SGE и мутанта SGECdt также была сходной (данные не показаны). В зоне азотфиксации каждая инфицированная клетка содержала симбиосомы с одним дифференцированным плейоморфным бактериоидом, окруженным симбиосомной мембраной (данные не показаны). В зоне инфекции ювенильные бактериоиды наблюдались в узком слое цитоплазмы (данные не показаны).

При обработке Cd большинство клубеньков дикого типа проявляли определенные симптомы цитологического повреждения в зоне азотфиксации, такие как просветление цитоплазмы (рис. 6.2Д, Е), по сравнению с необработанными клубеньками (Рисунок 6.2А, Б) и клубеньками мутанта SGECdt, обработанными Cd (Рисунок 6.2Ж, З); кроме того, в них наблюдалась увеличенная зона старения (Рисунок 2Д). Тем не менее, некоторые клубеньки пострадали в меньшей степени, в то время как другие получили серьезные структурные повреждения. Электронная микроскопия выявила следующие аномалии в клубеньках дикого типа, обработанных Cd: накопление полигидроксибутирата (ПОБ) в зрелых бактериоидах и разрушение симбиосомных мембран с перекисным окислением липидов в виде электронно-плотных образований (Рисунок 6.3А); у некоторых инфицированных клеток наблюдались четкие симптомы плазмолиза (Рисунок 6.3В); другие органеллы, кроме митохондрий и деградирующих бактериоидов, практически не наблюдались; наконец, появлялись инфицированные клетки с разрушенной цитоплазмой и «теньями» бактериоидов (Рисунок 6.3Д).

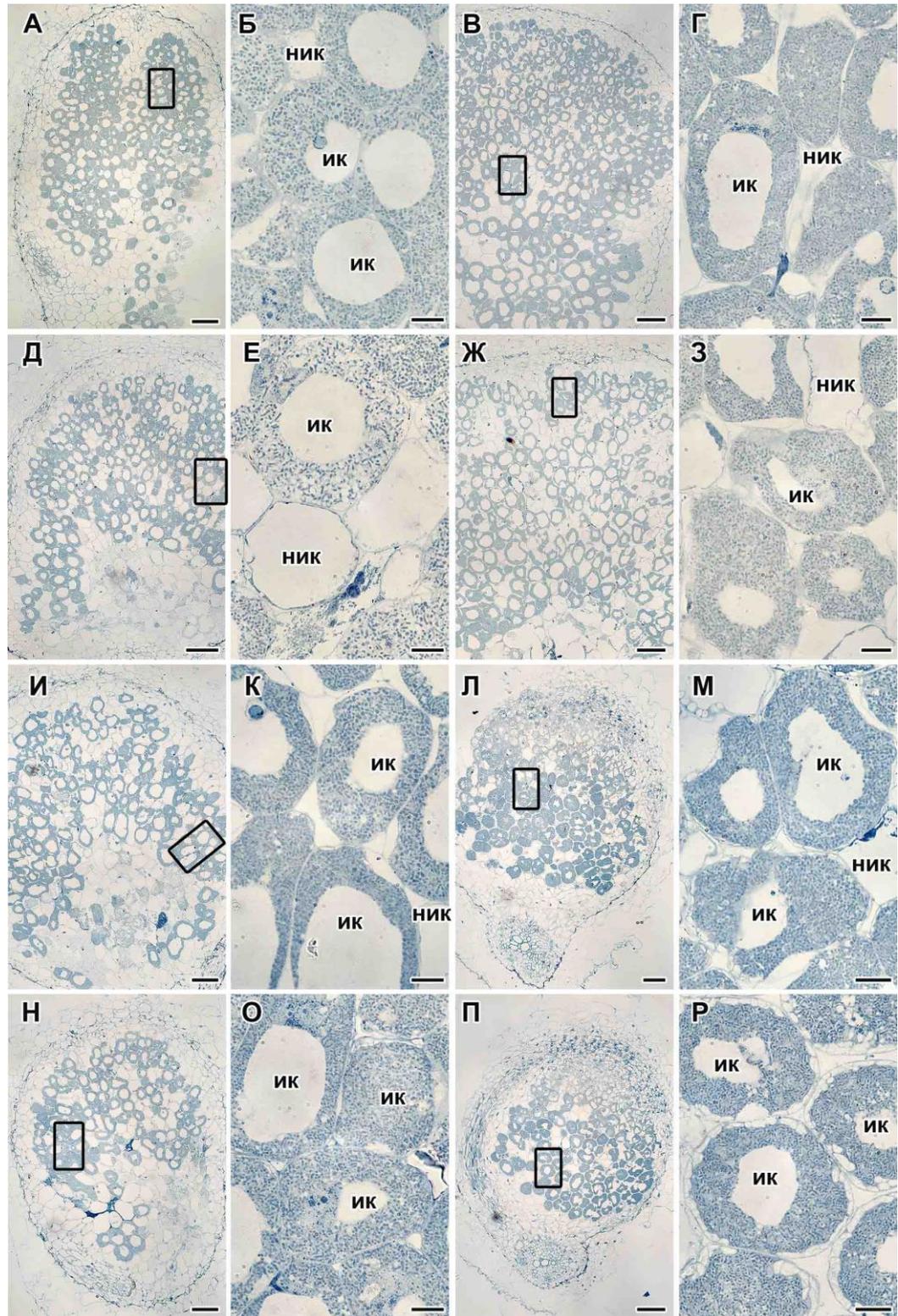


Рисунок 6.2 – Гистологическая организация контрольных (А–Г) и обработанных кадмием (Д–Р) клубеньков гороха дикого типа SGE (А, Б, Д, Е, И, К, Н, О) и мутанта SGECdt (В, Г, Ж, З, Л, М, П, Р), инокулированных штаммами *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae* 3841 (А–З), 3841-МТ1 (И–М) и 3841-МТ2 (Н–Р). А, В, Д, Ж, И, Л, Н, П – гистологическая организация, Б, Г, Е, З, К, М, О, Р – большое увеличение области в рамке в (А, В, Д, Ж, И, Л, Н, П) соответственно. ик – инфицированная клетка, ник – неинфицированная клетка. Шкала: А, В, Д, Ж, И, Л, Н, П = 200 мкм, Б, Г, Е, З, К, М, О, Р = 20 мкм.

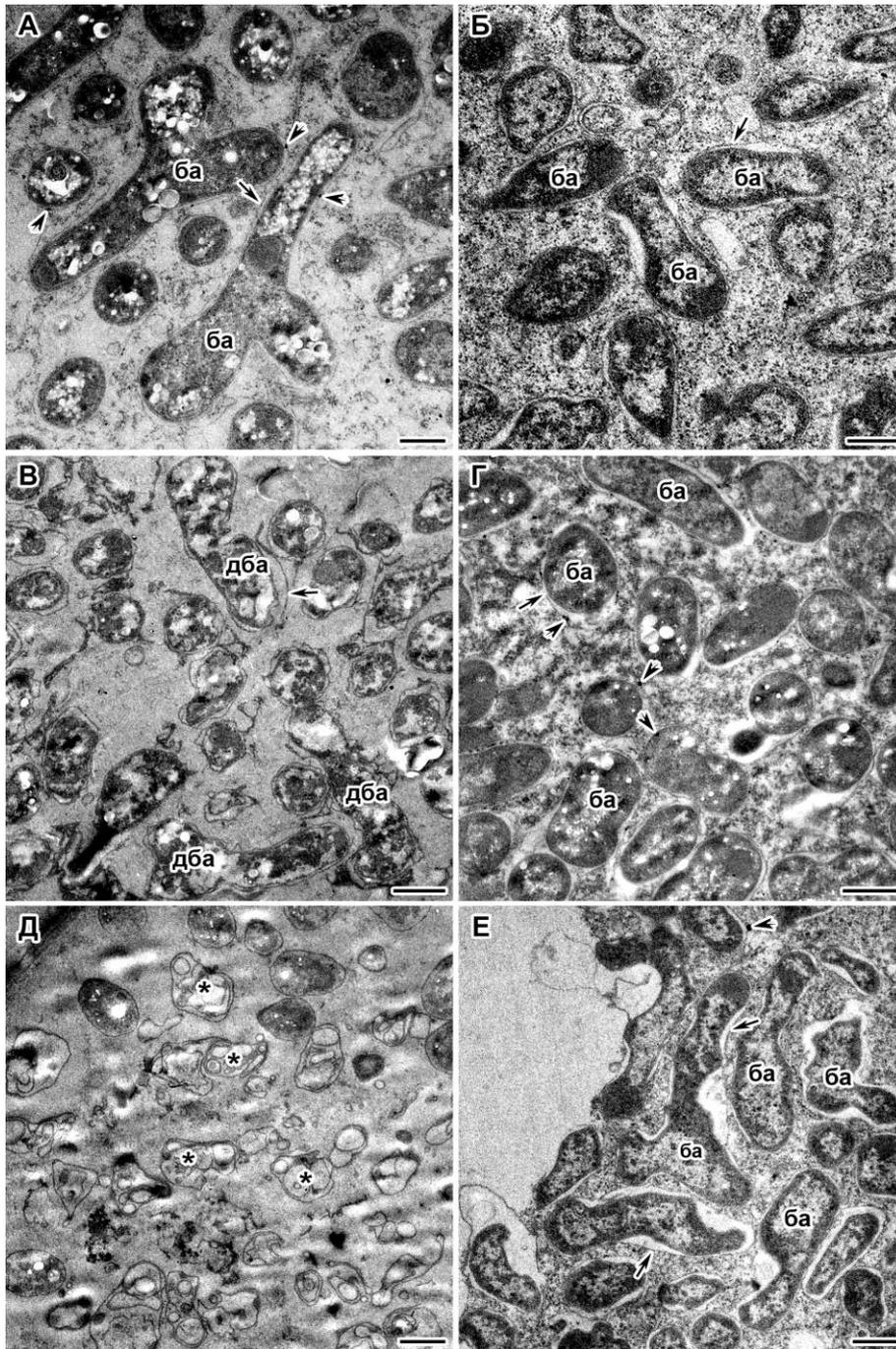


Рисунок 6.3 – Ультраструктурная организация обработанных кадмием клубеньков гороха дикого типа SGE (А, В, Д) и мутанта SGECdt (Б, Г, Е), инокулированных штаммом *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae* 3841. А – зрелые бактериоды с накоплением полигидроксибутирата, Б – нормальные бактериоды, В – деградирующие бактериоды, Г – бактериоды с накоплением полигидроксибутирата, Д – «тени» бактериодов, Е – аномальные бактериоды. ба – бактериод, дба – деградирующий бактериод, стрелки указывают на симбиосомную мембрану, наконечники стрелок – на деградацию симбиосомной мембраны, звездочки – на «тени» бактериодов. Шкала = 500 нм.

В отличие от дикого типа, в клубеньках мутанта SGECdt воздействие Cd вызывало менее выраженные изменения в их ультраструктурной организации (Рисунок 3Б, Г, Е). Большинство инфицированных клеток показали неизменные бактериоды и цитоплазму с

интактными органеллами. В некоторых инфицированных клетках были обнаружены бактериоиды с небольшим накоплением ПОБ и перекисным окислением липидов симбиосомных мембран (Рисунок 6.3Г). Более выраженное повреждение от воздействия кадмия проявляется в расширении перибактероидных пространств и неправильной форме бактериоидов (Рисунок 6.3Д).

Растения дикого типа SGE и мутанта SGECdt, инокулированные трансгенным штаммом *R. leguminosarum* bv. *viciae* 3841-PsMT1, без воздействия Cd образовывал клубеньки, имеющие типичную гистологическую и ультраструктурную организацию (данные не показаны). Обработка Cd клубеньков дикого типа и мутанта SGECdt, образованных штаммом 3841-PsMT1, не вызывала каких-либо заметных изменений их гистологической организации по сравнению с клубеньками, без обработки Cd (Рисунок 6.2И-М).

Электронная микроскопия показала, что основная часть инфицированных клеток в зоне азотфиксации клубеньков, обработанных Cd, имела сходную ультраструктуру как у дикого типа, так и у мутанта SGECdt. Инфицированные клетки содержали хорошо развитые бактериоиды (Рисунок 6.4А, Б) и нормальные инфекционные нити (данные не показаны). Дегенеративные изменения инфицированных клеток ограничивались наличием расширенного перибактероидного пространства (Рисунок 6.4В), неправильной формой бактериоидов (Рисунок 6.4Г), повреждением мембран симбиосом с перекисным окислением липидов (Рисунок 6.4А, В) и накоплением ПОБ (Рисунок 6.4Д, Е). В редких инфицированных клетках можно было наблюдать начальные симптомы набухания и просветления цитоплазмы (Рисунок 6.4В), а также повреждение органелл (Рисунок 6.4В, Е).

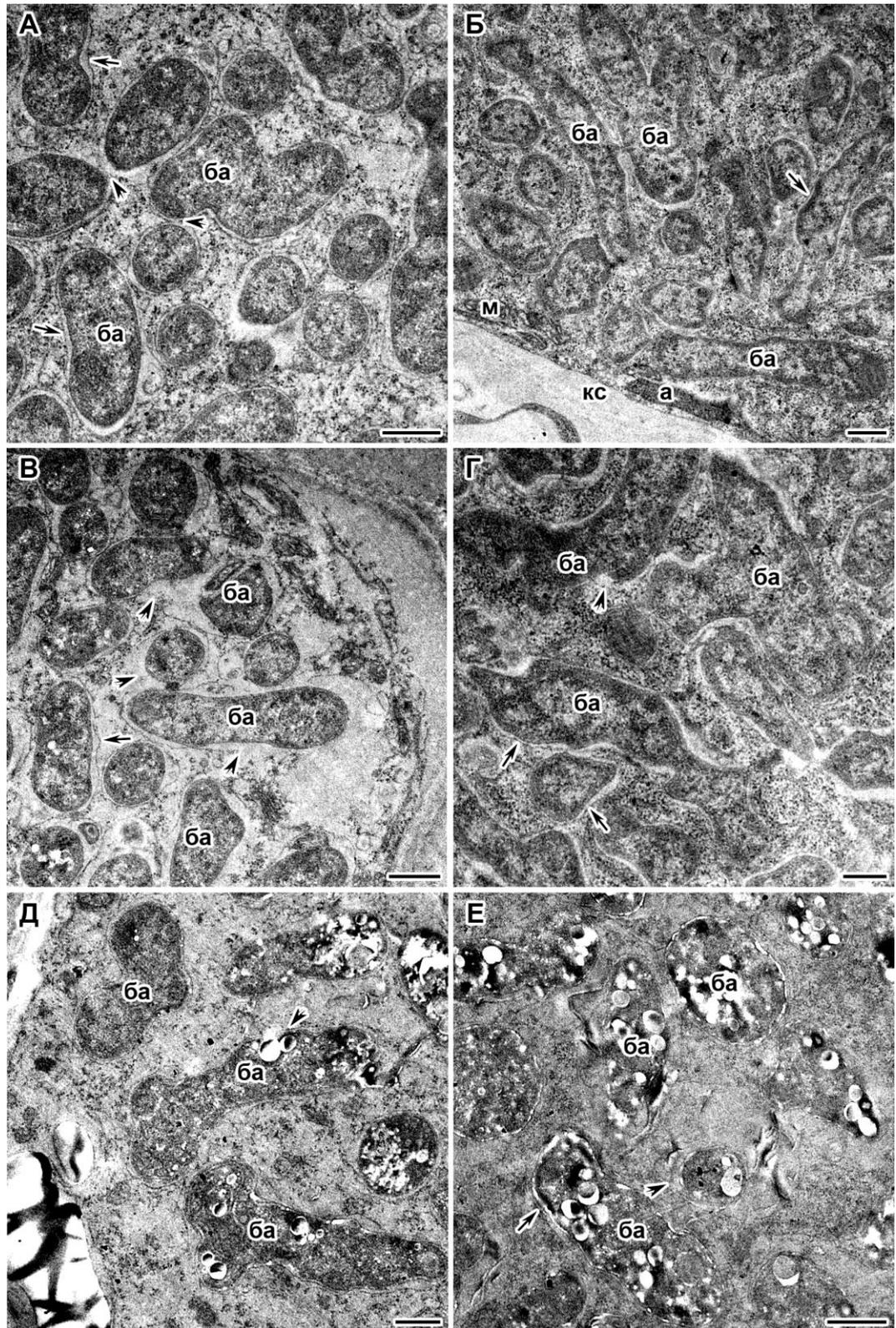


Рисунок 6.4 – Ультраструктурная организация обработанных кадмием клубеньков гороха дикого типа SGE (А, В, Д) и мутанта SGECdt (Б, Г, Е), инокулированных штаммом *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae* 3841-МТ1. А, Б – зрелые бактериоды, В – набухание цитоплазмы и симбиосомы с частичной деструкцией симбиосомной мембраны, Г – аномальные бактериоды, Д, Е – зрелые бактериоды с накоплением полигидроксибутирата. ба – бактериод, кс – клеточная стенка, а – амилопласт, м – митохондрия, стрелки указывают на симбиосомную мембрану, наконечники стрелок – на деградацию симбиосомной мембраны. Шкала = 500 нм.

Клубеньки SGE дикого типа и мутанта SGECdt, образованные трансгенным штаммом *R. leguminosarum* bv. *viciae* 3841-PsMT2, без воздействия Cd показали типичную гистологическую и ультраструктурную организацию (данные не показаны). Как для дикого типа, так и для мутанта SGECdt, инокулированных штаммом 3841-PsMT2, обработка Cd не вызвала значительных изменений в гистологической организации клубеньков (Рисунок 6.2Н-Р). Напротив, в клубеньках мутанта SGECdt, обработанных Cd, было очевидно интенсивное накопление крахмала (Рисунок 6.2П, Р).

Инфицированные клетки в зоне азотфиксации клубеньков дикого типа и мутанта SGECdt под воздействием Cd не различались по своей ультраструктурной организации. Все инфицированные клетки содержали зрелые Y-образные бактериоиды (Рисунок 6.5А, Б) и, по-видимому, нормальные инфекционные нити (данные не показаны). Присутствие расширенного перибактероидного пространства (Рисунок 6.5Б-Г), разрушение симбиосомных мембран (Рисунок 6.5Г, Д), перекисное окисление липидов симбиосомных мембран (Рисунок 6.7А, Б) и накопление ПОБ (Рисунок 6.5В, Г) наблюдались в большинстве случаев в инфицированных клетках клубеньков, обработанных Cd, у обоих генотипов растений. В некоторых инфицированных клетках наблюдалось просветление цитоплазмы с начальными симптомами плазмолиза (Рисунок 6.5Д, Е). В этих клетках бактериоиды высвобождались в вакуоль (данные не показаны), а симбиосомы содержали несколько бактериоидов в результате слияния симбиосом (Рисунок 6.5Б, Е).

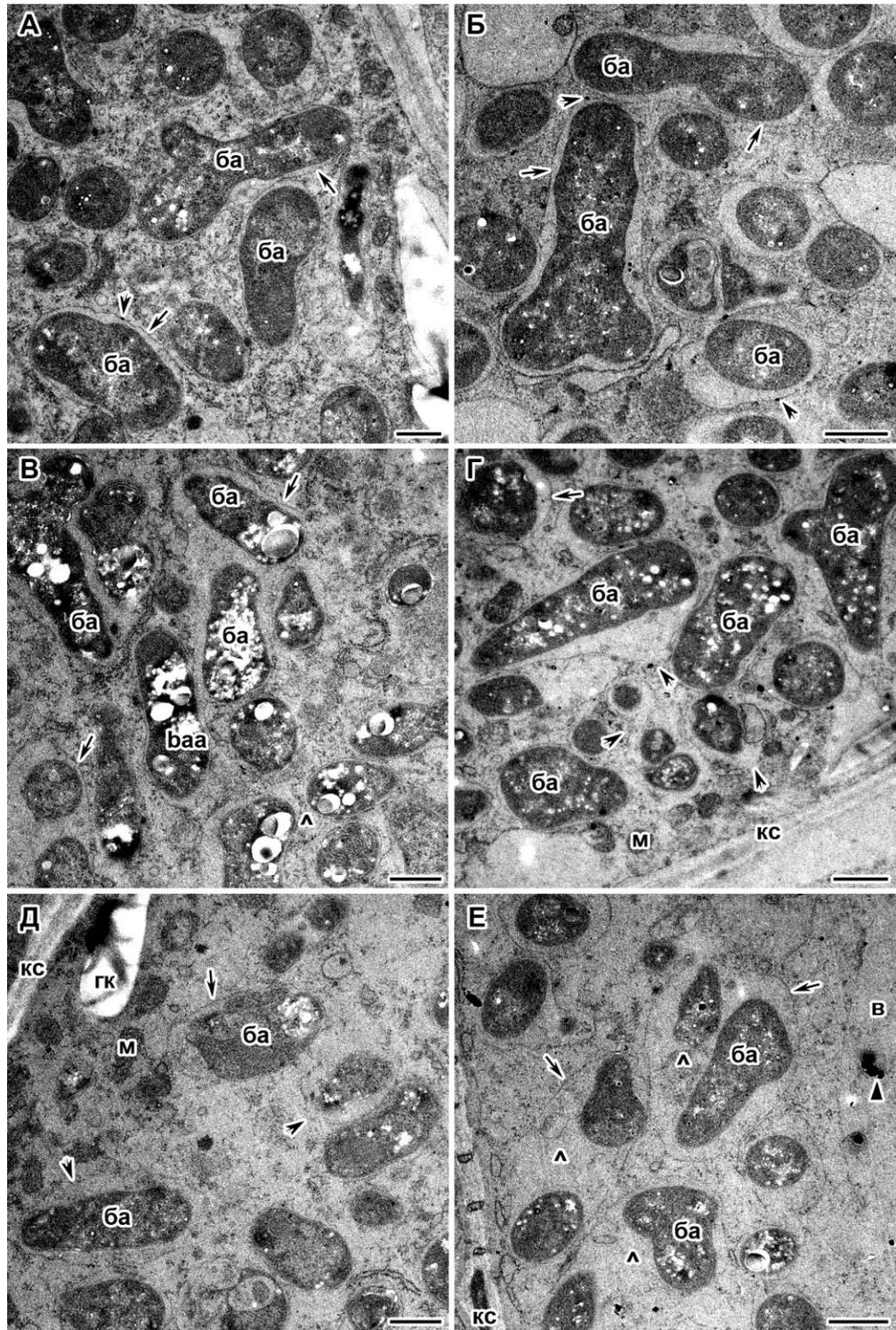


Рисунок 6.4 – Ультраструктурная организация обработанных кадмием клубеньков гороха дикого типа SGE (А, В, Д) и мутанта SGEcdt (Б, Г, Е), инокулированных штаммом *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae* 3841-МТ2. А, Б – зрелые бактериоиды, В, Г – зрелые бактериоиды с накоплением полигидроксибутирата, Д, Е – набухание цитоплазмы и симбиосомы с частичной деструкцией симбиосомной мембраны. ба – бактериоид, кс – клеточная стенка, м – митохондрия, в – вакуоль, гк – гранула крахмала, ^ – «множественная» симбиосома, сформированная в результате слияния и содержащая несколько бактериоидов, стрелки указывают на симбиосомную мембрану, наконечники стрелок – на деградацию симбиосомной мембраны, треугольник – на электронно-плотные кристаллы в вакуоли. Шкала = 500 нм.

Недавно были изучены эффекты 24-часового воздействия 100 мкМ и 1 мМ CdCl₂ на гистологическую и ультраструктурную организацию симбиотических клубеньков дикого типа SGE и мутантных растений SGEcdt, инокулированных штаммом. В клубеньках дикого типа обработка Cd вызвала образование увеличенного перибактероидного пространства в симбиосомах, наряду с разрушением симбиосомных мембран и слиянием симбиосом, что привело к образованию симбиосом, содержащих несколько бактериоидов; однако при обработке 1 мМ CdCl₂ инфицированные клетки подвергались просветлению цитоплазмы и содержали разрушенные бактериоиды. Эти аномалии клубеньков были менее выражены у мутанта SGEcdt. В клубеньках *M. sativa*, подвергнутых воздействию Cd, наблюдались некоторые поврежденные клетки, плазмолиз и разрушение бактериоидов, но в некоторых клубеньках Cd вызывал менее серьезную деградацию, и эти инфицированные клетки содержали бактериоиды с увеличенным перибактероидным пространством и симбиосомы с несколькими бактериоидами. Таким образом, наблюдаемые нарушения функционирования клубеньков в нашем текущем исследовании аналогичны описанным ранее. Однако и здесь мы заметили накопление ПОБ в бактериоидах. Другая работа с растениями гороха продемонстрировала, что накопление ПОБ происходит у недифференцированных ризобий в инфекционных нитях клубеньков, но не у бактериоидов. Напротив, недавнее исследование показало, что накопление ПОБ не ограничивается бактериями как таковыми, поскольку анализ последовательностей генома выявил функциональную синтазу ПОБ (тип III, PhaE PhaC2) у бактериоидов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Borisov A.Y., Rozov S.M., Tsyganov V.E., Morzhina E.V., Lebsky V.K., Tikhonovich I.A. Sequential functioning of *Sym-13* and *Sym-31*, two genes affecting symbiosome development in root nodules of pea (*Pisum sativum* L.) // Mol. Gen. Genet. 1997. V. 254. N 5. P. 592-598.
2. Ludwig E.M., Leonard M., Marroqui S., Wheeler T.R., Findlay K., Downie J.A., Poole P.S. Role of polyhydroxybutyrate and glycogen as carbon storage compounds in pea and bean bacteroids // Mol. Plant Microbe Interact. 2005. V. 18. N 1. P. 67-74.
3. Reid D.E., Heckmann A.B., Novák O., Kelly S., Stougaard J. CYTOKININ OXIDASE/DEHYDROGENASE3 maintains cytokinin homeostasis during root and nodule development in *Lotus japonicus* // Plant Physiol. 2016. V. 170. N. 2, P. 1060-1074.
4. Serova T.A., Tsyganova A.V., Tsyganov V.E. Early nodule senescence is activated in symbiotic mutants of pea (*Pisum sativum* L.) forming ineffective nodules blocked at different nodule developmental stages // Protoplasma. 2018. V. 255. N 5. P. 1443-1459.
5. Shvaleva A., Coba de la Peña T., Rincón A., Morcillo C.N., García de la Torre V.S., Lucas M.M., Pueyo J.J. Flavodoxin overexpression reduces cadmium-induced damage in alfalfa root nodules // Plant Soil. 2010. V. 326. N 1. P. 109-121.
6. Terpolilli J.J., Masakapalli S.K., Karunakaran R., Webb I.U.C., Green R., Watmough N.J., Kruger N.J., Ratcliffe R.G., Poole P.S. Lipogenesis and redox balance in nitrogen-fixing pea bacteroids // J. Bacteriol. 2016. V. 198. N 20. P. 2864-2875.
7. Tsyganov V.E., Morzhina E.V., Stefanov S.Y., Borisov A.Y., Lebsky V.K., Tikhonovich I.A. The pea (*Pisum sativum* L.) genes *sym33* and *sym40* control infection thread formation and root nodule function // Mol. Gen. Genet. 1998. V. 259. N 5. P. 491-503.
8. Tsyganov V.E., Tsyganova A.V. Symbiotic regulatory genes controlling nodule development in *Pisum sativum* L. // Plants. 2020. V. 9. Article 1741.
9. Tsyganova A.V., Seliverstova E.V., Tsyganov V.E. Influence of mutation in pea (*Pisum sativum* L.) *cdt* (*cadmium tolerance*) gene on histological and ultrastructural nodule organization // Ekol. Genet. 2019. V. 17. N 1. P. 71-80.

Публикации

1. Tsyganov V.E., Tsyganova A.V., Gorshkov A.P., Seliverstova E.V., Kim V.E., Chizhevskaya E.P., Belimov A.A., Serova T.A., Ivanova K.A., Kulaeva O.A., Kusakin P.G., Kitaeva A.B., Tikhonovich I.A. Efficacy of a plant-microbe system: *Pisum sativum* (L.) cadmium-tolerant mutant and *Rhizobium leguminosarum* strains, expressing pea metallothionein genes *PsMT1* and *PsMT2*, for cadmium phytoremediation // *Frontiers in Microbiology*. 2020. Vol. 11. Article 15. Q1.
2. Dolgikh E.A., Kusakin P.G., Kitaeva A.B., Tsyganova A.V., Kirienko A.N., Leppyanen I.V., Dolgikh A.V., Ilina E.L., Demchenko K.N., Tikhonovich I.A., Tsyganov V.E. Mutational analysis indicates that abnormalities in rhizobial infection and subsequent plant cell and bacteroid differentiation in pea (*Pisum sativum*) nodules coincide with abnormal cytokinin responses and localization // *Annals of Botany*. 2020. Vol. 125. N 6. P. 905-923. Q1.
3. Gorshkov A.P., Tsyganova A.V., Vorobiev M.G., Tsyganov V.E. The fungicide tetramethylthiuram disulfide negatively affects plant cell walls, infection thread walls, and symbiosomes in pea (*Pisum sativum* L.) symbiotic nodules // *Plants*. 2020 Vol. 9. Article 1488. Q1

Мероприятия, которые были проведены (конференции, семинары, круглые столы)

1. Цыганов В.Е. Развитие симбиотического клубенька. Вторая Международная научная конференция PLAMIC2020 «Растения и микроорганизмы: биотехнология будущего» Саратов, 5-9 октября 2020 г. в онлайн формате. Приглашенный пленарный доклад.
2. Цыганов В.Е. Поздние стадии развития симбиотического клубенька. IV школа-конференция для молодых ученых «Молекулярно-генетические и клеточные аспекты растительно-микробных взаимодействий», Санкт-Петербург, 25 декабря 2020 г. в онлайн-формате. Лекция. Председатель организационного комитета.

7 Исследования в области химических наук

В 2020 году в соответствии с Государственным заданием на 2020 год и Программой фундаментальных научно-исследовательских работ на период до 2030 года СПбНЦ РАН проведены фундаментальные исследования по направлению работы ОНС по химическим наукам, в том числе по теме *«Техническое стекло. Технология, свойства, применение. Создание и отработка опытно-промышленной технологии производства новых стекол и стекломатериалов с уникальными или заданными параметрами, перспективными для практического использования»*.

Продолжена исследовательская работа, связанная с изучением физико-химических свойств и биологической активности высококремнеземных ПС.

Актуальность исследования высококремнеземных ПС связана с широким спектром областей использования этого уникального материала в современном материаловедении, в том числе и в качестве биосовместимого.

Высококремнеземные ПС обладают регулируемыми характеристиками структуры порового пространства (удельная поверхность, размер пор, пористость), превосходными адсорбционными свойствами, связанными с разветвленной внутренней поверхностью, способной к активной хемосорбции разнообразных веществ; термической, химической и биологической устойчивостью и другими полезными свойствами [1, 2].

Высокоразветвленная пористая структура ПС является большим преимуществом данного материала перед другими при создании газовых адсорбентов [3] и водных фильтров [4] – наиболее распространенных приборов, используемых при решении задач, связанных с защитой окружающей среды. Работа таких фильтров основана на сорбции газов или молекул химических веществ пористой поверхностью ПС, что позволяет выделить вредные вещества из подвергаемого очистке объекта. Использование ПС для конструирования костной ткани для восстановления повреждений связано с его прочностью, биологической совместимостью и устойчивостью, и структурой взаимосвязанных каналов, которые обеспечивает транспортировку питательных веществ и кислорода, что стимулирует развитие здоровых тканей [5 – 10].

Традиционное представление о биологической стабильности высококремнеземного ПС связано с тем, что этот материал близок по составу к кварцевому стеклу и состоит на 93-98% из кремнезема, биологическая устойчивость которых (стекла и кремнезема) к микроорганизмам была ранее хорошо изучена [1, 11 – 15]. Подтверждением этого является

тот факт, что кремнезем часто используется в качестве носителя или подложки для культуральной среды, которую можно многократно использовать [15].

В настоящее время к современным материалам, используемым в медицине и экологии, предъявляются высокие технические требования, что влечет за собой необходимость более детального изучения биологической активности ПС.

Впервые проведено исследование токсичности пористых высококремнеземных стекол на примере ПС 8Б состава $96.6 \text{ SiO}_2 \cdot 3.20 \text{ B}_2\text{O}_3 \cdot 0.2 \text{ Na}_2\text{O}$ (мол.%), ПС НФФ состава $0.17 \text{ Na}_2\text{O} \cdot 5.96 \text{ B}_2\text{O}_3 \cdot 93.75 \text{ SiO}_2 \cdot 0.07 \text{ P}_2\text{O}_5 \cdot 0,05 \text{ F}$ (мол.%). Исследование токсичности пористых стекол обусловлено перспективой использования этого материала в качестве фильтров для водоподготовки и биосовместимого материала.

Традиционное представление о биологической стабильности высококремнеземного ПС связано с тем, что этот материал близок по составу к кварцевому стеклу и состоит на 93-98% из кремнезема, биологическая устойчивость которых (стекла и кремнезема) к микроорганизмам была ранее хорошо изучена [1, 2]. Подтверждением этого является тот факт, что кремнезем часто используется в качестве носителя или подложки для культуральной среды, которую можно многократно использовать [2].

Исследование токсичности проводилось с использованием в качестве тест-объекта *Paramecium caudatum* (инфузория туфелька). Для проведения биотестирования приготавливались водные суспензии растертых до состояния пудры ПС (размер зерен $\leq 0,063$ мм). Результаты тестирования показали, что для обоих исследуемых ПС токсичность по отношению к *Paramecium caudatum* (инфузория туфелька) изменяется в зависимости от концентрации и времени контакта мелкодисперсного порошка пористых стекол с водой. Предполагается, что выявленная закономерность связана, прежде всего, с наличием в водном растворе ионов натрия, фторид- и фосфат-ионов.

Установлено, что для всех растворов, содержащих ПС (концентрация ПС в маточном растворе составляла 1.0 г/л.), токсичность находится в допустимом интервале (ниже уровня умеренной токсичности: $0,41 < T < 0,70$) [16]. Кроме того, для ПС наблюдается инверсия индекса токсичности в сторону отрицательных значений (разбавление проб в соотношении 1:100, а для свежеприготовленного образца ПС НФФ даже при соотношении 1:10), что может быть связано с тем, что концентрации соединений эссенциальных (жизненно необходимых) элементов в водных вытяжках становятся оптимальными для жизнедеятельности тест-объекта (инфузорий) [3].

Кроме того, была проведена работа по изучению активных центров на поверхности ПС. ПС имеют сильно развитую поверхность, образованную каналами ликвации химически

нестабильной фазы, извлеченной кислотной обработкой исходного стекла, и коллоидными частицами «вторичного» кремнезема внутри порового пространства. Присутствие активных центров на поверхности ПС, в частности, включая силоксановые и силанольные группы, можно использовать для модификации и регулирования состава и свойств поверхности ПС.

Изучение состава поверхности ПС и его влияния на целевые свойства особенно важно для таких применений, как мембранные фильтры, включая влияние времени хранения в водной среде. На примере ПС НФФ было исследовано наличие активных центров на поверхности, образованных силоксановыми центрами оснований Льюиса (ЛОЦ) и силанольными группами (кислотные центры Бренстеда (БКЦ)). Удельную поверхность измеряли методом термодесорбции азота на анализаторе удельной поверхности «Сорботметр-М» с последующим расчетом по методу БЭТ. Размер пор в исследуемых ПС измеряли по методу Барретта – Джойнера – Халенды.

Изучение поверхностно-активных центров различных кислотных сил проводилось индикаторным методом [17], основанным на селективной адсорбции кислотно-основных индикаторов из водных растворов на поверхности твердых тел. Для исследованных образцов ПС с помощью этой методики определяли содержание ЛОЦ с $pK_a -0.3$ (индикаторный о-нитроанилин), соответствующего атомам кислорода в силоксановых мостиковых группах $\equiv Si - O - Si \equiv$, и БКЦ с $pK_a 2.5$ (индикатор м-нитроанилин), соответствующий кислым гидроксильным (силанольным) группам $\equiv Si - OH$.

Количество индикатора, адсорбированного из раствора на поверхности ПС НФФ (состав указан выше), определяли по изменению оптической плотности раствора на спектрофотометре СФ-56 (ЛОМО, Санкт-Петербург) в кварцевых кюветах, относящихся к дистиллированная вода в качестве холостого раствора. Содержание исследуемых центров рассчитывали на основании измеренных изменений оптической плотности соответствующего индикаторного раствора как:

Полученные данные свидетельствуют о том, что исследуемые характеристики существенно зависят от толщины образца и времени хранения в воде.

Установлено, что, как правило, для всех образцов содержание БКЦ выше по сравнению с ЛОЦ. Увеличение толщины пластины ПС (сравнение образцов, хранившихся в течение 2 дней) приводит к почти 3-кратному увеличению размера пор, снижению содержания БКЦ (силанольные группы) и увеличению количества ЛОЦ (силоксановые группы), предполагая, что глубокие и, вероятно, более извилистые поры в более толстом образце изначально менее гидроксильрованы по сравнению с порами в более тонком

стекле. Однако последующее хранение (3,5 месяца) образца толщиной 2 мм приводит к значительному снижению его удельной поверхности и содержания как ЛОЦ, так и БКЦ с относительным ростом БКЦ, вероятно, из-за повторной конденсации коллоидного кремнезема внутри порового пространства и постепенного гидратирования поверхности. Полученные результаты согласуются с известным в химии явлением «старения» кремнезема [15, 18-22], особенно по отношению к микропористым стеклам в связи с процессом растворения-осаждения вторичного SiO₂ в их порах, которые заполнены капиллярно-конденсированной водой, абсорбированной из воздуха из-за некоторой растворимости SiO₂ в воде даже при комнатной температуре [15].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Двухфазные стекла: структура, свойства, применение / О.В. Мазурин, Г.П. Роскова, В.И. Аверьянов, Т.В. Антропова; Под ред. Б.Г. Варшала. Л.: Наука. 1991. 276 с.
2. Цыганова Т.А., Шевченко Д.С., Магомедова О.С., Рахимова О.В. Биоактивная мембрана на основе модифицированного пористого стекла // Физика и химия стекла. 2019. Т.45. № 4. С. 337–342.
3. Yang S.B., Zhan L., Xu X.Y., et al. Graphenebased porous silica sheets impregnated with polyethyleneimine for superior CO₂ capture // Advanced Materials. 2013. V. 25. N 15. P. 2130-2134.
4. Kamegawa T., Ishiguro Y., Seto H., et al. Enhanced photocatalytic properties of TiO₂-loaded porous silica with hierarchical macroporous and mesoporous architectures in water purification // Journal of Materials Chemistry A. 2015. V. 3. N 5. P. 2323-2330.
5. Izquierdo-Barba Isabel, Salinas Antonio J., and Vallet-Reg María Bioactive Glasses: From Macro to Nano // International Journal of Applied Glass Science. 2013. P. 1–13. DOI:10.1111/ijag.12028;
6. Rahaman M.N., Day D.E., Sonny Bal B., et al. Bioactive glass in tissue engineering // Acta Biomaterialia. 2011. V. 7. N 6. P. 2355-2373.
7. Fu Q., Saiz E., Tomsia A.P. Bioinspired strong and highly porous glass scaffolds // Advanced Functional Materials. 2011. V. 21. N 6. P. 1058-1063.
8. Peltola S.M., Melchels F.P.W., Grijma D.W., et al. A review of rapid prototyping techniques for tissue engineering purposes // Annals of Medicine. 2008. V. 40. N 4. P. 268-280.
9. Hutmacher D.W. Scaffolds in tissue engineering bone and cartilage // Biomaterials. 2000. V. 21. N 24. P. 2529-2543.
10. Baino F., Fiorilli S., Vitale-Brovarone C. Bioactive glass-based materials with hierarchical porosity for medical applications: Review of recent advances // Acta Biomaterialia.

2016. V. 42. P. 18-32.

11. Krishnan Vidya, Lakshmi T. Bioglass: A novel biocompatible innovation // Journal of Advanced Pharmaceutical Technology & Research. 2013. V. 4. N 2. P. 78-83. DOI 10.4103/2231-4040.111523.

12. Nicholson, J. W., The Chemistry of Medical and Dental Materials: Royal Society of Chemistry: Cambridge. 2002. P. 242. ISBN 0–85404–572–4.

13. Tilocca, A. Models of Structure, Dynamics and Reactivity of Bioglasses: A Review // J. Mater. Chem. 2010. V. 20. P. 6848–6858.

14. Воронков М.Г., Зелчан Г.И., Лукевиц Э.Я. Кремний и жизнь. Рига: Изд. «Зинатне». 1978. 588 с/

15. Айлер Р. Химия кремнезема. Т. 1, 2. М.: Мир, 1982. 1127 с.

16. Т.А. Цыганова Т.А., Рахимова О.В. Исследование токсичности высококремнеземных пористых стекол методом биотестирования // Физика и химия стекла. 2021. Т.47. № 1.С.00 (в печати). DOI: 10.31857/S0132665121010121.

17. Nechiporenko A.P. Donorno-akceptornye svoystva tverdogfaznyh system. Indikatorny metod. SPb.: Izd."Lan", 2017. 284 s

18. Venzel B.I., Zdanov S.P., Svatovskaya L.G. Colloid journal, 1976, **38** (3): 544.

19. Tanaka K. J. Ceram. Soc. Japan, 1977, **85** (2, 3): 587

20. Neiryamak I.E., Sheynfine R.U. 1973 Silikagel, ego poluchenie, svoystva i primeneniye (Kiev: Naukova dumka), 200 s.

21. Sheynfine R.U., Stas O.P. J. of Applied Chemistry, 1969, **42** (10): 2363.

22. Т Tsyganova, S Myakin, Т Kostyreva The content of the adsorption centers of high-silica porous glasses // IOP Conference Series: Journal of Physics: Conference Series (JPCS) 1527 (2020) 012044. doi:10.1088/1742-6596/1527/1/012044

Публикации по теме исследований

Научные статьи:

1. Т Tsyganova, S Myakin, Т Kostyreva The content of the adsorption centers of high-silica porous glasses // IOP Conference Series: Journal of Physics: Conference Series (JPCS) 1527 (2020) 012044. doi:10.1088/1742-6596/1527/1/012044. – квартиль – Q4 (Scopus). 2019 Impact Factor – 0.540. Авторы из 3х организаций (Я - 2 организации ИХС РАН И СПб НЦ РАН, Мякин - Техноложка, Костырева - ИХС РАН)

2. Т.А. Цыганова Т.А., Рахимова О.В. Исследование токсичности высококремнеземных пористых стекол методом биотестирования // Физика и химия стекла. 2021. Т.47. № 1.С.00 (в печати). DOI: 10.31857/S0132665121010121.(*Engl. Transl*– квартиль

– Q3 (Scopus, WoS). 2019 Impact Factor – 0.668. Авторы из 2х организаций (я - 2 организации ИХС РАН и СПб НЦ РАН, Рахимова – ЛЭТИ)

Тезисы докладов:

1. Цыганова Т.А., Рахимова О.В., Шевченко Д.С. Исследование токсичности высококремнеземных пористых стекол на примере *Paramecium caudatum*. Шестая международная конференция стран СНГ «Золь-гель синтез и исследование неорганических соединений, гибридных функциональных материалов и дисперсных систем» - «SOL-GEL 2020» (24-28 августа 2020, Самарканд, Узбекистан). (подано 2 апреля 2020) – конференция перенесена на 2021 год

2. D.S.Shevchenko, T.A.Tsyganova, O.V.Rakhimova The biological activity of high silica porous glasses. The 2nd European Conference on Silicon and Silica Based Materials. (5-9 October 2020, Miskolc-Lillafüred, Hungary) - (поданы в 18 марта 2020) конференция перенесена на 2021 год

3. Рахимова О.В., Цыганова Т.А. Исследование биологической активности медицинских пористых стекол. Тематический сборник, посвященный юбилею И.Г. Юделевича, (Новосибирск). (поданы в августе 2020)

Результаты научной работы членов ОНС по химическим наукам СПбНЦ РАН в 2020 г представлены на 3 международных и 7 российских конференциях:

Международные конференции:

1. V International Conference «Advanced Problems of Electrotechnology», 20-22 мая 2020, Екатеринбург, Russia

2. TESA International Conference TESA'20, 10-11 September, Rome, Italy.

3. Международная научная конференция «Инновационные направления развития науки о полимерных волокнистых и композиционных материалах» 21-23 октября 2020, Санкт-Петербург

Российские конференции

1. X научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых в рамках мероприятий XV Всероссийского фестиваля науки «Наука 0+» «НЕДЕЛЯ НАУКИ-2020» (с международным участием). 1–3 апреля 2020 г. Санкт-Петербург.

2. IX межвузовская конференция-конкурс научных работ студентов им. А.А. Яковкина (с международным участием) «Физическая химия - основа новых технологий и материалов», 18 ноября 2020 г., Санкт-Петербург

3. Всероссийская научная конференция с международным участием «Традиции и инновации», 30 ноября – 2 декабря 2020 г. Санкт-Петербург
4. Всероссийская научно-практическая конференция студентов и молодых ученых. Санкт-Петербург, 09-10 апреля 2020, Санкт-Петербург
5. X Конференция молодых ученых по общей и неорганической химии. 6-10 апреля 2020, Москва.
6. Научные чтения им. чл.-корр. РАН И.А.Одинга «Механические свойства современных конструкционных материалов», 17-18 сентября 2020, Москва
7. XXXII Симпозиум "Современная химическая физика", 19-28 сентября 2020, Туапсе.

Заседания Объединенного научного совета по химическим наукам СПбНЦ РАН, работа в эксперном совете:

1. Проведено 2 заседания Объединенного научного совета по химическим наукам СПб НЦ РАН.
2. Проведена работа по экспертизе материалов, поступивших на конкурс Правительства СПб на премию по химии им. Д.И.Менделеева
3. Проведено заседание экспертной комиссии по присуждению премии по химии им. Д.И.Менделеева (9 сентября 2020 г.) – присуждена д.х.н. Голубевой Ольге Юрьевне.

Список претендентов на премию Правительства СПб имени Д.И.Менделеева за 2020 год

1. д.х.н. **Голубева Ольга Юрьевна**, 1975 г.р., ИХС РАН, работа «Использование природоподобных технологий для разработки новых функциональных материалов на основе алюмосиликатных наноструктур». Отзывы от: академик Е.А.Корнева (Институт экспериментальной медицины), ректор, д.т.н. А.П.Шевчик (Технологический институт (технический университет))
2. д.х.н. Кирсанов Дмитрий Олегович, 1980 г.р., профессор, СПб Государственный университет, профессор, кафедра аналитической химии института химии, цикл работ по «Разработка простых, быстрых и недорогих методов химического анализа, использующих хемометрическую обработку данных». Отзывы от: член-корр. РАН, д.х.н. В.В.Гусаров (Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе РАН), директор, д.т.н. В.Е.Курочкин (Институт аналитического приборостроения РАН).

3. к.х.н. Михаилиди Александра Михайловна, 1984 г.р., доцент кафедры «технологии полиграфического производства Высшей школы печати и медиатехнологий» СПб государственный университет промышленных технологий и дизайна, цикл работ «Модификация и исследование физико-химических свойств композиционных материалов на основе целлюлозы». Отзывы от: член-корр. РАН, д.х.н. Е.Ф.Панарин (ИВС РАН), проректор С.Г.Максимова (Алтайский государственный университет)

4. д.х.н. Москвин Леонид Николаевич, профессор кафедры аналитической химии СПб Государственный университет за цикл работ «Разработка новых химических и радиохимических методов анализа и новых химических технологий для атомной энергетики». Отзывы от: академик Ю.А.Золотов (ИОНХ РАН), директор, член-корр. РАН В.К.Иванов (ИОНХ РАН).

5. к.х.н. Скорб Екатерина Владимировна, профессор, директор НОЦ Инфохимии, Национальный исследовательский центр ИТМО, за цикл работ «Реакционно-диффузные процессы на границе полимеров и полупроводников для создания систем биомедицинского назначения». Отзывы от: академик А.А.Берлин (ФИЦ Химической физики им. Н.Н.Семенова), академик В.П.Анаников (ИОХ РАН).

Основные результаты работы ОНС по химическим наукам в 2020 г.:

1 Председатель Совета, академик РАН В.Я.Шевченко

Осуществлено моделирование реакционно-диффузионных процессов, обеспечивающих формирование материалов с регулярной (периодической) взаимосвязанной микроструктурой. Впервые описан механизм формирования SiC в композите алмаз-карбид кремния, теоретически обосновано и практически доказано образование «забора» Тьюринга на алмазных частицах и формирование материала со сложной трижды периодической микроструктурой. Прорастающие зерна карбида кремния прочно скрепляют каркас из алмазных частиц и позволяют композиту алмаз-карбид кремния обладать максимальными механическими характеристиками, близкими к монолитному материалу на основе алмазных частиц.

2 Член-корреспондент РАН А.С.Орыщенко

Проведены работы в рамках следующих тем:

– технологии создания новых материалов» с проектом «Разработка технологий производства постоянных магнитов на основе сплавов систем Fe-Cr-Co и Al-Ni-Cu-Co-Fe методами селективного лазерного сплавления;

- освоение высокопроизводительных промышленных технологий изготовления экономнолегированных хладостойких «Arc»-сталей;
- актуализация фонда стандартов судостроительной промышленности Российской Федерации в области сварки и смежных технологий в соответствии с положениями Федерального Закона «О стандартизации в РФ» №162-ФЗ от 29.06.2015 г. с внедрением требований технических регламентов, международных норм и инновационных технологий;
- принципы получения заданного структурно-фазового состава интерметаллидных и функционально-градиентных покрытий комбинированием методов гетерофазного переноса и лазерно-термического воздействия для повышения эксплуатационных характеристик оборудования АЭС.

Также значительные научные результаты были достигнуты в работе по проектам в рамках ГП РФ «Развитие ОПК».

3 Член-корреспондент РАН Л.И.Чубраева

Получены важнейшие результаты по трем направлениям:

1. Исследования магнитомягких материалов для криогенных электротехнических устройств.

1.1. Поиски новых магнитомягких материалов с высокой индукцией насыщения для более эффективного использования возможностей сверхпроводниковых материалов по повышению индукции в воздушном зазоре электромеханических преобразователей энергии. Рассмотрены перспективы применения магнитомягких материалов на основе диспрозия.

1.2. Оценка эффективности многослойных внешних экранов, выполненных из ленточных нанокристаллических сплавов, для снижения массы экранов без ухудшения их эффективности. Показана возможность снижения массы внешних экранов при образовании многослойной конструкции из цилиндров, изготовленных из металлических стекол, разделенных воздушными промежутками. Определены рациональные соотношения размеров экранов и воздушных промежутков.

2. Исследование материалов для кинетических накопителей энергии небольшой энергоемкости.

В соответствии с Указом Президента РФ от 5 марта 2020 г. N 164 "Об Основах государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 года" рассмотрены вопросы применения кинетических накопителей энергии в изолированных энергетических системах с моногенерирующими объектами, являющихся отличительной

особенностью энергетики Арктической зоны России. Применение кинетических накопителей энергии позволяет высвободить генерирующие мощности и снизить расхода топлива (и, соответственно, его завоз).

Выполнен анализ технологии изготовления и направлений практического использования маховиков из шихтованной стали, их преимущества и недостатки. Проведено сопоставление с маховиками из неметаллических материалов. Показана их низкая стоимость и простота изготовления. Оценены перспективы создания парков сравнительно дешевых кинетических накопителей энергии для арктического региона.

3. Исследование активных и пассивных магнитных подвесов из массивных и ленточных высокотемпературных сверхпроводников и редкоземельных магнитов для кинетических накопителей энергии.

Выполнено сопоставление различных типов магнитных подвесов, работающих при криогенных температурах. Показаны достоинства активного подвеса из сочетания ВТСП массивов и обмоток из ленточных ВТСП материалов как по величине силы левитации, так и по условиям обеспечения стабильной работы с вертикальной осью вращения. Определена возможность перевода такого подшипника в режим работы с ВТСП ключом без потерь по токовводам.

По результатам работы в стадии подготовки 3 публикации, включая, на международную конференцию EUCAS'01, запланированную на осень 2021 г. в Москве.

4 Д.х.н. А.А.Малыгин

В 2020 г. основные результаты фундаментальных и прикладных исследований направлены на дальнейшее развитие работ, связанных с методом молекулярного наслаивания (МН), и заключаются в следующем:

- с использованием квантово-химических подходов спрогнозированы закономерности изменения состава и строение образующихся на поверхности кремнезема при его последовательной обработке парами VOCl_3 и H_2O ванадийоксидных наноструктур в зависимости от температуры и давления паров VOCl_3 в реакционном объеме; результаты синтеза при 473 К в проточной системе и исследования химического состава и строения формирующихся на поверхности новых функциональных групп показали хорошее соответствие экспериментальных и расчетных данных;

- на примере синтеза методом МН конформных титаноксидных нанопокровов на $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ путем его последовательной и попеременной обработки (заданное число раз) парами TiCl_4 и H_2O показаны возможности тонкого регулирования состава и структуры поверхностного слоя, а также текстуры пор материалов вида ядро/оболочка; установлено

влияние поверхности оксида алюминия и толщины наращиваемого титаноксидного слоя на характеристики формирующегося двухфазного материала – в монослойных структурах наблюдается координационное состояние титана, характерное для титаноксидных полиэдров в титанате алюминия, а по мере удаления верхнего монослоя от поверхности матрицы (увеличения толщины покрытия) формируется рентгеноаморфный слой с координационным окружением титана по кислороду, близким к анатазоподобной модификации диоксида титана;

– синтезированы одно- и двухкомпонентные элементоксидные наноструктуры (из ряда титан(4+), ванадий(5+), фосфор(5+) и их сочетаний) на поверхности полимерных пленок (полиэтилен, полипропилен, политетрафторэтилен); с применением РФЭС, АСМ охарактеризованы полученные образцы; показано, что модифицированные пленки обладают повышенными электретными характеристиками;

– по результатам определения в режиме «in situ» величины отражаемой световой мощности от торца оптического кварцевого волокна в зависимости от числа циклов обработки его парами тетрахлорида титана и воды в процессе МН предложена методика оценки толщины формирующегося титаноксидного нанопокрывтия и значения постоянной роста (условная толщина, приходящаяся на один монослой);

– созданы автоматизированные проточные и проточно-вакуумные лабораторные установки молекулярного наслаивания для получения инновационных адсорбционно-каталитических и керамических материалов: модифицированных сорбентов, керамики, оптических кварцевых волокон, использующихся в реальном секторе экономики;

– на основе полученных экспериментальных данных разработаны технологическая и конструкторская документация на процесс и созданные установки и подготовлены проекты технических заданий на проведение в дальнейшем опытно-технологических и опытно-конструкторских работ.

5 Д.х.н. Ельяшевич Г.К.

Получены пористые пленки поливинилиденфторида (ПВДФ) методом, основанным на экструзии расплава полимера с последующими стадиями отжига и одноосного растяжения. Определены параметры процесса, при которых общая пористость образцов превышает перколяционный порог для образования в них сквозных каналов, что дает возможность их использовать как микрофльтрационные мембраны.

Важным свойством полученных пленок ПВДФ является сочетание в них пористости и пьезоактивности, которая инициируется ориентационными воздействиями при формировании их структуры. С помощью метода рентгеновского рассеяния исследовано

влияние степени ориентации на стадиях экструзии и растяжения на содержание кристаллитов пьезоактивной β -формы в структуре образцов. Пьезоэлектрические свойства пористых пленок характеризовали величиной пьезомодуля d_{31} , измеренного при приложении статического растягивающего усилия к поляризованным пленкам.

– Разработан метод получения гибридных пьезоэлементов на основе пористых пленок ПВДФ и слоев электропроводящих полимеров (полианилин, полипиррол) в качестве контактных электродных материалов. Высокопроводящие полимерные электроды были сформированы химической окислительной полимеризацией *in situ*. Контактные слои имели высокую адгезию к рельефной поверхности пористых пленок и были использованы для поляризации полученных гибридных образцов в постоянном электрическом поле и измерений пьезомодуля. Полученные материалы являются готовыми к применению, полностью полимерными пьезоэлементами, обладающими механической прочностью и эластичностью, перспективными для использования в современных устройствах накопления и хранения энергии (пьезоактиваторов, пьезосуперконденсаторов, пьезобиосенсоров), в качестве датчиков в гидроакустических приемниках, пьезоэлектрических и ультразвуковых преобразователях, а также в медицинских приборах для измерения потока жидкостей, в томографах и др.

6 К.х.н. Е.В.Скорб

Мембраны широко распространены в природе с первичными функциями, которые включают адаптивную фильтрацию и селективный перенос химического вещества/молекул. Будучи критически важными для клеточных функций, они также имеют фундаментальное значение во многих областях науки и техники. Особое значение имеют адаптивные и программируемые мембраны, которые могут изменять их проницаемость или избирательность в зависимости от условий в окружающей среде. Предложенные мембраны могут реализовывать такие биологические функции как программируемая сеть ионных каналов, обладающих регулируемой проницаемостью для воды и одновалентных ионов. Проницаемость мембран может быть настроена изменением pH или присутствием определенных ионов. Так перспективны системы с обратными связями и откликами от взаимодействия с биологическими объектами.

Механизм регулирования умных мембран, опирается на взаимодействия между внутренними компонентами мембран и ионами и в статье описано как изготавливать мембраны с программируемой проницаемостью и селективностью, определяемые выбором компонентов, их конформацией и состоянием зарядки.

В начале 2020 года от исследований по созданию логических вентилей на основе фоторегулируемых ионных потоков на наноструктурированном диоксиде титана (J. Royal Society Interface, 2020, doi:10.1098/rsif.2019.0740, RCS Advances, 2020, doi: 10.1039/D0RA00205D) и химического перцептрона (The Journal of Physical Chemistry Letters, 2020, на рецензии) в инфохимии в марте все переключилось на использование наших знаний в электрохимии и аналитике, для систем диагностики вирусов и антител к ним (ACS Appl. Bio Mater., 2020, doi:10.1021/acsabm.0c00954.).

Предложен способ селективного распознавания антител, антигенов, и их комплекса при анализе формы кривых, их площади и положения пиков на кривых зависимости тока от потенциала. Данный метод перспективен для анализа широкого круга вирусов, в том числе и возбудителя COVID-19, и антител к ним с электрохимическим детектированием.

Предложена электрохимическая сенсорная платформа (ЭСП) для определения вирусных возбудителей инфекций человека и животных. ЭСП перспективен и для анализа в биоэлементологии (ACS Omega, 2020, doi: 10.1021/acsomega.0c02279). В состав ЭСП входит портативный аппаратно-программный комплекс экспресс-диагностики, наноструктурированные электроды и диагностические наборы реагентов.

7 Балтийская мануфактура, генеральный директор С.Н.Дорохов

Произведено более 800 тонн химической продукции с уровнем чистоты не ниже «Ч», при производстве переработано более 50 тонн кобальта, около 60 тонн никеля

Продукция предприятия востребована более чем 300 потребителями из следующих отраслей: нефтехимия, производство сверхтвердых сплавов, лакокрасочная отрасль, аккумуляторная промышленность, а также гальваника, производство резинотехнических изделий, шинная промышленность, производство комбикормов

Среди партнеров крупнейшие промышленные предприятия и научные учреждения:

- Газпромнефть
- Роснефть
- Сибур-Химпром
- Ангарский завод катализаторов
- Салаватский катализаторный завод
- Казанский федеральный университет
- Самарский государственный технический университет
- НИИХИТ (Саратов)

По заказу ПАО Газпромнефть совместно с Самарским государственным техническим университетом (СамГТУ) освоена технология производства пропиточных

растворов для катализаторов гидроочистки и выпущена первая промышленная партия продукта

Разработан проект и запущено строительство экспериментальной установки возгонки оксида молибдена, обеспечивающей получение особо чистого оксида (99,999%)

По заказу ПАО ГМК «Норильский Никель» выполнены исследовательские работы по сушке кобальтового концентрата и разработана техническая документация для производства промышленного оборудования

Собственная лаборатория выполняет более 2000 тестов ежемесячно для обеспечения максимального качества отгружаемой продукции.

В 2021 году ОНС по химическим наукам СПбНЦ РАН продолжит фундаментальные исследования самоорганизации супрамолекулярных и полиэлектролитных структур для концентрирования аналитов, создания химического перцептрона и создания многоэлектродных систем диагностики.

Продолжится развитие проектов на междисциплинарном стыке компьютерного моделирования и анализа сложных систем химии и биологии, биотехнологии, создания адаптивных биоматериалов и разработки систем диагностики, моделирования и анализа персонализированного трекинга в медицине.

8 Исследования в области междисциплинарных проблем транспортных систем

В 2020 году были продолжены работы в рамках Государственного задания в развитие пункта разработанной СПбНЦ РАН Программы фундаментальных научно-исследовательских работ на период до 2030 года «Разработка научно-обоснованного подхода к созданию комплексной схемы управления экологически устойчивым развитием городского транспорта общего пользования».

Развитие городских транспортных систем требует особого внимания к их экологическим, социальным и эколого-социальным характеристикам. Городской транспорт оказывает существенное влияние на состояние городской среды, а, следовательно, и на качество жизни в мегаполисе, при этом его функционирование является необходимым условием нормальной жизнедеятельности города. Единственным приемлемым решением данной дилеммы является баланс экономических, социальных и экологических аспектов, что приводит нас к необходимости обратиться к концепции экологически устойчивого развития (sustainable development).

Проведённые в СПбНЦ РАН с 2017-2020 г исследования были обобщены и систематизированы, на их основе подготовлена к печати монография, в которой рассмотрены общесистемные вопросы устойчивого развития общественного транспорта города с целью повышения качества жизни в мегаполисах при обеспечении устойчивой мобильности.

На нынешнем этапе развития отличительной чертой мобильности населения в большинстве крупных городов России являются большие объёмы маятниковых передвижений, совершаемые в так называемые «часы пик», поскольку центральные части городов являются основными центрами деловой активности. Одним из важнейших факторов, снижающих техногенную нагрузку транспортной деятельности на городскую среду, является уменьшение пробега личного автотранспорта, поскольку по удельным показателям он наименее эффективно использует ресурсы, в том числе и пространственные, в тоже время лидирует по уровню удельных выбросов, причём это относится не только непосредственно к процессу движения, но и ко всему жизненному циклу автомобиля и потребляемого им топлива.

Во многих городах мира стратегическое планирование как часть управления устойчивым развитием подразумевает планирование устойчивой мобильности, а не планирование транспортного обслуживания. В этой связи мобильность жителей города

рассматривается как комплексная услуга, которая должна быть предоставлена всем жителям города вне зависимости от их благосостояния, социального статуса, возраста, пола и особенностей физического состояния.

Развитая мультимодальная система общественного транспорта является наиболее приемлемым способом перемещения пассажиропотоков для крупных городов России, поскольку города Российской Федерации в XX веке развивались в расчёте на удовлетворение транспортных потребностей населения городским общественным транспортом. Во многих крупных городах имеется метрополитен, в городах с населением более миллиона человек были построены трамвайные сети.

Развитие общественного транспорта на качественно новом уровне позволяет не только обеспечить потребности в необходимых передвижениях, но и способствует снижению негативного воздействия на городскую среду и здоровье человека от транспортных потоков. Снижение техногенной нагрузки на городскую среду обеспечит также лучшую сохранность памятников истории и архитектуры, что вместе с удобством передвижения на городском общественном транспорте и благоприятной экологической обстановкой стимулирует привлечения дополнительных туристических потоков во многие города России, имеющие богатое культурное наследие. Это положительным образом повлияет на состояние и развитие экономики крупных городов России.

Изменение состояния городской среды, качества транспортного обслуживания населения, а значит и качества жизни, в лучшую сторону возможно только при комплексном подходе к устойчивому развитию всех компонентов транспортной системы города. Совершенствование системы должно происходить не только на уровне каждого конкретного вида транспорта (новый подвижной состав, современные транспортные коммуникации с применением новых материалов и современных технологий, использование различных видов энергии для транспорта и т. д.), но и, в первую очередь, касаться преобразования систем управления различными видами транспорта в единую систему. Системный подход предполагает, прежде всего, изучение прямых и обратных связей во взаимодействии транспортной системы с окружением. Необходимо чётко понимать, каким образом транспортная система влияет на городскую среду в широком смысле, какую роль она играет в социально-экономическом развитии, что потребляет и какие риски для экологической, эколого-социальной и эколого-экономической сферы связаны с воздействием транспортного комплекса города, а также какие условия его функционирования усиливают эти риски.

В этой связи подробно проанализировано взаимодействие транспортной системы с социально-экономической и окружающей природной средой в крупных городах, в условиях приоритета экологических проблем, связанных с функционированием транспорта. Систематизированы негативные факторы химической и физической природы, отрицательно действующие на городскую среду, его урбоэкосистемы и здоровье населения, их источники, а также условия, влияющий на интенсивность их проявления.

Стратегическим направлением в решении экологических, эколого-социальных и эколого-экономических проблем мегаполисов, обеспечивающим их экологическую безопасность, является концепция устойчивого развития городов, одну из ключевых ролей в которой играет концепция устойчивой мобильности. Основными критериями (базовыми ориентирами) устойчивой мобильности являются доступность транспортной услуги (как физическая, ценовая и территориальная) её эффективность (как с точки зрения финансовых затрат, так и с точки зрения расходования всех видов ресурсов), безопасность и экологичность (в том числе и экологическая эффективность транспортной деятельности

Общественный транспорт в крупных городах с большой плотностью населения и значительными объёмами ежедневных маятниковых передвижений является наиболее значимым для обеспечения устойчивой мобильности. Учитывая этот факт, проведён анализ роли городского общественного транспорта в достижении целей устойчивого развития человечества до 2030 года (Повестка дня 2030), и показателей достижения рекомендованные комиссией по устойчивому развитию ООН. Таким образом, показана значимость развития общественного транспорта в обеспечении устойчивой мобильности.

Переключение части пассажиропотока с личного автотранспорта на более экологически устойчивый общественный транспорт, т.е. изменение модели транспортного поведения жителей крупных городов, невозможно без усилий, направленных на обеспечение привлекательности общественного транспорта не только по приведённым выше критериям, но и по критерию комфортности. Эффективность, безопасность, доступность, экологичность и комфортность обеспечивают повышение качества транспортного обслуживания, а с ним и качества жизни, особенно в крупных городах, и, следовательно, являются базовыми ориентирами устойчивого развития системы городского общественного транспорта. Основные аспекты устойчивого развития системы городского общественного транспорта впервые представлены системно.

Проанализирован международный и внутрироссийский опыт устойчивого развития городского общественного транспорта. Основное внимание сосредоточено на основных

направлениях развития его магистральных видов, обеспечивающих экологическую устойчивость.

Скорость передвижения на общественном транспорте, особенно в сравнении со скоростью передвижения на личном автотранспорте, является не только одной из важнейших качественных характеристик функционирования системы, но и одним из решающих факторов, определяющих модель транспортного поведения населения. Обеспечение более высокой скорости передвижения общественного транспорта по сравнению с личным автотранспортом – основной стимул для перераспределения пассажиропотока. Для этого магистральные виды транспорта - основа маршрутной системы должны быть скоростными. Скорость движения, провозная способность и, что гораздо важнее для пассажира, продолжительность поездки и её безопасность существенным образом зависят, прежде всего, от степени обособления полос движения, но также и от конструкции транспортных средств и остановочных пунктов, систем управления движением и обеспечения оплаты проезда.

Проведён сравнительный анализ различных видов скоростного общественного транспорта. Рассмотрены как основные виды скоростного общественного транспорта, такие как скоростной автобус, лёгкий рельсовый транспорта и метрополитен в различных вариантах размещения. Поскольку пространственное расположение (наземное, надземное и подземное) играет не только с экономической, но и с экологической и эколого-социальной точек зрения, рассмотрены примеры различных вариантов реализации скоростных видов городского транспорта. Также изучены преимущества и недостатки монорельсового транспорта, который менее широко используется. Проанализированы как технологические, так и прочие аспекты их создания и функционирования с точки зрения их влияния на городскую среду и социально-экономическую составляющую обеспечения высокого уровня жизни жителей города. Также проанализирован опыт обеспечения взаимодействия различных видов магистрального транспорта. Это позволило сделать заключение о том, что по-настоящему устойчивое развитие системы общественного транспорта возможно только на основе использования всех видов транспорта в их взаимодействии. на основании которого можно сделать вывод о том, что не существует универсальных решений для всех мегаполисов мира. Решение об использовании каждого из видов скоростного общественного транспорта должно приниматься на основании изучения его возможных достоинств и недостатков с точки зрения критериев устойчивой мобильности именно в той экономической, экологической и эколого-социальной ситуации, которая сложилась на момент принятия решения о создании новой скоростной системы общественного

транспорта или развития существующей маршрутной сети, с учётом всех аспектов ситуации и особенностей различных видов транспорта.

При выборе магистральных видов транспорта для обслуживания новых районов необходимо учитывать множество различных факторов, начиная с планируемых пассажиропотоков и заканчивая факторами безопасности, в том числе и экологической. В этой связи на первый план выходят проблемы развития информационных технологий, позволяющих прогнозировать изменения пассажиропотоков и создавать новые адаптивные системы управления, учитывающие необходимость обеспечения взаимодействия различных видов общественного транспорта в единой мультимодальной системе. Таким образом, необходимо обеспечить устойчивое развитие транспорта на основе инновационных информационных технологий. Эта ситуация требует обновления нормативно-правовой базы, регулирующей как развитие и функционирование городской транспортной системы, так и роль транспортной составляющей в генеральных планах развития городов.

Необходимым элементом системы управления развитием является оценка состояния системы с точки зрения базовых ориентиров устойчивого развития. Именно на этой основе разрабатываются программы совершенствования системы в направлении ограничения негативного воздействия на городскую среду и здоровье человека, повышения эффективности транспортных услуг, обеспечения равенства в распределении негативных и позитивных последствий транспортной деятельности.

В связи с этим проанализированы проблемы оценки устойчивой мобильности. Также изучен международный опыт создания наборов показателей эффективности различных стратегий достижения устойчивого развития городских транспортных систем.

Показано, что оценка состояния системы общественного транспорта по отношению к базовым ориентирам устойчивого развития должна осуществляться на основе показателей, охватывающих все аспекты экологической устойчивости. На основе системного подхода к определению набора показателей и анализа международного опыта выбора наиболее значимых из них впервые разработана структура оценки и сформирована система показателей устойчивого развития городского общественного транспорта, охватывающая все его аспекты.

Следует ещё раз подчеркнуть, что только единая система управления транспортным комплексом в состоянии решить проблему организации взаимодействия различных видов

транспорта для перехода к мультимодальной транспортной системе, реализующей все преимущества различных подсистем.

Для использования в системе управления устойчивым развитием общественного транспорта были определены показатели удовлетворения всем аспектам каждого из основных критериев устойчивой мобильности. Кроме того, привлекательность общественного транспорта как важнейший фактор, влияющий на все аспекты устойчивого развития, также необходимо оценивать с помощью набора индикаторов, показывающий различные аспекты этого критерия.

Следует отметить, что для управления устойчивым развитием городского общественного транспорта, как важнейшей подсистемой городской транспортной системы, необходим набор показателей как общих для всей системы общественного транспорта, так и специфических для её различных подсистем. Разработанный набор показателей содержит в том числе и специфические индикаторы удовлетворения соответствующим критериям для каждого вида общественного транспорта с учётом различных технологических операций, выполняемых, в том числе и на стационарных объектах транспортного комплекса. Предложенная система показателей позволяет оценить и на основании этой оценки оптимизировать транспортную инфраструктуру агломераций по принципу экологических приоритетов, что обеспечит устойчивость развития системы городского общественного транспорта. Таким образом, эта структура оценки и набор показателей найдут практическое применение при выработке и принятии оптимальных управленческих решений.

Создание системы управления устойчивым развитием городского общественного транспорта требует соответствующего инструментария для разработки стратегических и тактических планов действий по достижению его экологической, эколого-экономической и эколого-социальной устойчивости. Одним из таких инструментов является целевая модель управления, позволяющая выявить взаимосвязь базовых ориентиров (основных критериев), целей и задач управления, работа над которой также была начата ранее.

Всестороннее изучение прямых и обратных связей в транспортной системе и во взаимодействии транспортной системы с внешней средой показало, что деятельность, направленная на то, чтобы предоставляемые транспортные услуги удовлетворяли критериям устойчивой мобильности, существенно снижает все издержки от транспортной системы и, прежде всего, её внешние издержки.

Обеспечение снижения количества транспортных происшествий, т.е. обеспечение безопасности, существенно снижает издержки общества на ликвидацию последствий (восстановление здоровья пострадавших в происшествиях, восстановление транспортных средств и транспортных коммуникаций и т.д.). Однако при этом происходит и снижение потребностей в использовании финансовых ресурсов, что одновременно повышает эффективность транспортной деятельности. Обеспечение эффективности потребления всех видов материальных ресурсов (в том числе и природных) транспортной системой во всём цикле её устойчивого развития не только удовлетворяет соответствующему критерию, но также повышает её экологичность, поскольку происходит снижение загрязнения окружающей природной среды в процессе добычи и переработки ресурсов, необходимых для функционирования транспорта, а значит, снижаются внешние издержки от этой деятельности. Кроме того, более эффективный расход топлива транспортными средствами снижает их выбросы, а значит, способствует ограничению воздействия транспорта на городскую среду. Доступность транспортных услуг, предоставляемых общественным транспортом, способствует такой наполняемости транспортных средств, которая обеспечивает эффективность потребления моторного топлива, или других видов энергоносителей в процессе движения, а также эффективность использования пространственных ресурсов. Деятельность, направленная на снижение загрязнений от транспорта, способствует снижению заболеваемости населения болезнями, ассоциированными с загрязнением различных природных сред, т.е. снижает издержки от медицинского обслуживания, а также обеспечивает потребности экономики в трудовых ресурсах. Таким образом, понятно, что меры по управлению устойчивой мобильностью, как правило, направлены на достижение нескольких целей устойчивого развития одновременно.

Основные цели управления, позволяющие системе развиваться в направлении базовых ориентиров, предполагают как снижение негативных последствий деятельности общественного транспорта, так и повышение эффективности её функционирования. Перечислим эти цели:

- 1) Сокращение потерь времени на перемещение (эффективность по времени);
- 2) Повышение эффективности потребления ресурсов (пространственных и материальных);
- 3) Повышение эффективности использования финансовых ресурсов (для выполнения системой её предназначения);
- 4) Повышение уровня безопасности передвижения на общественном транспорте;

- 5) Повышение уровня безопасности работников общественного транспорта;
- 6) Снижение негативного воздействия на городскую среду.

Далее были сформулированы и уточнены задачи управления, конкретизирующие основные цели и выявлено влияние успешности их решения на движение в направлении базовых ориентиров.

Сокращение времени поездки с одной стороны повышает привлекательность общественного транспорта, а с другой стороны потери времени могут быть снижены путём использования различных видов транспорта в одной поездке, планировать которую помогают информационные сервисы. Реализация этой цели предусматривает как сокращение расстояния перемещения, что в свою очередь предусматривает снижение потребления ресурсов за поездку (а значит, снижает нагрузку на окружающую среду), так и повышение скорости движения, а также сокращение времени ожидания и посадки-высадки. Сокращение расстояния перемещения предусматривает также, что остановки общественного транспорта должны находиться на небольшом расстоянии от жилых домов и социальных объектов, а также мест работы населения.

Повышение скорости передвижения общественного транспорта обеспечивает более эффективное потребление моторного топлива, а значит, снижает объём выбросов отработавших газов. При одном и том же количестве транспортных средств на маршруте можно осуществлять больше поездок (т.е. выполнять больше транспортной работы), снижая время ожидания и, таким образом, увеличивать привлекательность общественного транспорта для ежедневных деловых поездок. Однако повышение скорости движения требует повышенного внимания к вопросам обеспечения безопасности передвижения. Сокращение потерь времени на пересадку с одного вида транспорта на другой, а также времени посадки-высадки кроме общего снижения потерь времени на перемещение способствует более активному использованию мультимодальных передвижений, как и сокращение, времени ожидания общественного транспорта.

Повышение мобильности маломобильных групп населения, а также поддержание социально-приемлемого уровня расходов на общественный транспорт в бюджете семьи являются важнейшими условиями выполнения системой своих непосредственных функций, а, следовательно, и условием эффективного расходования средств на неё. Прежде всего, повышается доступность (территориальная и ценовая), что обеспечивает привлекательность таких передвижений. Ценовое стимулирование изменения транспортного поведения требует установления такого уровня транспортных расходов на

общественный транспорт в бюджете семьи, который будет существенно ниже, чем расходы на аналогичные передвижения на личном автотранспорте, включая как прямые, так и косвенные издержки (потеря времени и повышенное потребление моторного топлива в заторах). Однако необходимо обеспечить баланс собираемых за оплату проезда средств и государственных субсидий. Необходимо также учитывать доходы, получаемые системой общественного транспорта от различных видов коммерческой деятельности (реклама, аренда торговых площадей на ТПУ и т.п.).

Повышение доли операционных расходов общественного транспорта, окупаемых за счёт оплаты проезда, может быть обеспечено оптимальным уровнем наполняемости транспортных средств, что, в свою очередь обеспечивается повышением доступности общественного транспорта и его привлекательности для пассажиров. С одной стороны высокая наполняемость транспортных средств способствует более эффективному использованию ресурсов, с другой – снижает комфортность передвижений. Необходимо найти баланс между эффективностью и привлекательностью. Перевозки, осуществляемые транспортными средствами более высокой вместимости, также являются более эффективными во всех смыслах, однако в данном случае привлекательность общественного транспорта требует баланса наполняемости и соответствующих интервалов движения. Существенное время ожидания и наполняемость салона близкая к максимальной снижают привлекательность поездки для потенциальных пассажиров, часть из которых предпочтут воспользоваться личным автотранспортом.

Поддержание социально приемлемого уровня заработной платы работников транспорта создаёт условия для того, чтобы в сфере транспорта работал персонал соответствующего уровня квалификации, что, обеспечивает эффективность и способствует повышению уровня безопасности, в том числе и экологической.

Одним из наиболее существенных факторов снижения внешних издержек от транспортной деятельности является повышение эффективности использования ресурсов системой общественного транспорта. Снижение удельного потребления энергоресурсов в процессе движения, а также удельного потребления ресурсов на объектах транспортной инфраструктуры без потери качества и безопасности выполняемых операций позволяет не только обеспечить снижение операционных расходов, но и добиться повышения экологической эффективности общественного транспорта. Более эффективное потребление ресурсов, как уже было сказано, снижает объёмы выбросов в процессе движение, а также сбросов и выбросов транспортных предприятий. Кроме того, не следует забывать о том, что

снижение удельного потребления ресурсов способствует не только их сохранению, но и снижает негативное воздействие на окружающую среду в процессе добычи природных ресурсов, их переработки и транспортировки. Таким образом, более эффективное расходование ресурсов вносит вклад в снижение антропогенной нагрузки не только на городскую среду, но и на окружающую природную среду в наиболее широком смысле.

Ещё одним существенным фактором экономного расходования природных ресурсов является повышение доли отходов транспортных предприятий, подвергаемых рециклингу. Следует отметить, что данная задача управления не может быть решена только внутри транспортной системы, необходимо наличие комплексной системы обращения с отходами на государственном уровне, поскольку повторное использование материалов возможно не только в транспортном комплексе, но и в других отраслях. Захораниваемые отходы не только требуют дополнительных площадей для размещения (чаще всего вне пределов города), но и являются источником загрязнения почвы, а также подземных и наземных водотоков. Таким образом, снижение объёма отходов, подлежащих захоронению, не только экономит пространственные ресурсы, но и снижает воздействие на окружающую природную, а не только городскую среду.

В рамках управления системой общественного транспорта следует принимать меры для обеспечения раздельного сбора отходов, которые будут отправлены на переработку для дальнейшего использования. Кроме того, доля материалов, подлежащих повторному использованию, из которых создаётся подвижной состав общественного транспорта, может быть одним из параметров, оцениваемых при закупке новых транспортных средств. В данном случае, квалификация лиц, принимающих соответствующие решения, и уровень их экологической культуры играют решающую роль.

Снижение количества ДТП и числа пострадавших в них существенно сокращает внешние издержки транспортной деятельности и, следовательно, опосредованно влияет на эффективность расходования финансовых ресурсов. Повышение уровня безопасности передвижений является важнейшим фактором повышения привлекательности общественного транспорта для пассажиров и потенциальных работников транспортной сферы. При этом снижение количества ДТП также повышает эффективность использования пространства УДС, сокращая долю участков сети с плотным движением и, соответственно, опосредованно способствует более эффективному использованию моторного топлива и сокращению выбросов. Следует обратить особое внимание на то, что при развитии скоростных видов городского транспорта, наиболее эффективного для перевозки больших

пассажиропотоков, необходимо обращать особое внимание на обеспечение безопасности скоростных передвижений, как для пассажиров и персонала, так и для всех жителей города, поскольку скоростной транспорт является источником повышенной опасности.

Снижение тяжести последствий ДТП во многом зависит от квалификации персонала транспорта. Это касается не только исполнения своих непосредственных обязанностей, но и умения действовать в чрезвычайной ситуации таким образом, чтобы минимизировать ущерб здоровью пострадавших, в том числе и от умения оказывать первую помощь до прибытия медицинских работников. Поэтому привлекательность ОТ как места работы является также необходимым условием обеспечения безопасности, поскольку только в этом случае у персонала существует стимул к повышению собственной квалификации не только в смысле выполняемых ими операций, но и в других областях.

Снижение внешних издержек от транспортной деятельности предполагает снижение объемов и токсичности выбросов в процессе движения, а также выбросов и сбросов транспортных предприятий. Повышение качества природных сред обеспечивает снижение заболеваемости экологически зависимыми заболеваниями всех жителей города, в том числе и работников транспорта. Снижение воздействия на городскую среду предполагает также снижение воздействия таких факторов как шум и вибрация, порождаемых транспортной деятельностью, а также электромагнитных полей (ЭМП).

Снижение негативного воздействия на природные среды транспортных предприятий предполагает, прежде всего, эффективное потребление всех видов ресурсов, в том числе использование замкнутых систем водооборота. Кроме того, выбросы и сбросы транспортных предприятий должны быть очищены до нормативного состояния. Физические факторы воздействия транспортных предприятий на городскую среду, прежде всего, проявляются в зоне воздействия стационарных объектов транспорта. Плотная городская застройка не позволяет избежать того, чтобы в эти зоны не попадали селитебные территории. Следовательно, на транспортных предприятиях следует также принимать меры по ограничению интенсивности шумовых и вибрационных воздействий, а также ЭМП на городскую среду.

Стоит обратить внимание и на тот факт, что наибольшее воздействие перечисленных негативных факторов испытывают работники транспортных предприятий. Снижение уровня профессиональной заболеваемости требует особых мер защиты персонала. Кроме снижения внешних издержек, связанных с лечением профессиональных заболеваний, также обеспечивается привлекательность системы общественного транспорта в системе занятости

Таким образом, для обеспечения движения в направлении достижения базовых ориентиров, обоснованы цели управления, а также задачи управления, обеспечивающие то, что цели будут достигнуты. Созданная модель позволяет систематизировать цели и соответствующие им задачи управления. Специфика управления экологически устойчивым развитием заключается в том, что большинство целей и задач управления обеспечивают движение в направлении сразу нескольких базовых ориентиров, поэтому представление этой структуры в виде дерева целей весьма затруднительно. Поэтому для представления целевой модели использована X-матрица, которая позволяет учесть все взаимосвязи и взаимозависимости между базовыми ориентирами, целями и задачами управления.

Данная модель обеспечивает системный взгляд на устойчивое развитие городского общественного транспорта и может быть положена в основу создания эффективной целенаправленной системы управления развитием общественного транспорта в крупных городах, позволяя при принятии управленческих решений на различных уровнях управления учитывать все аспекты устойчивого развития в их взаимосвязи.

Важнейшим критерием устойчивой мобильности является обеспечение безопасности передвижений. Учитывая климатические особенности размещения крупнейших городов Российской Федерации, одним из важнейших вопросов обеспечения безопасности в достаточно продолжительный промежуток времени в течение года является вопрос применения различных способов и средств борьбы с гололёдом на автомобильных дорогах, в частности на улично-дорожной сети крупных городов Российской Федерации. В зимнее время, особенно в северных регионах России, короткий световой день или его отсутствие, а также туманы и осадки ухудшают видимость, поэтому необходимо обращать особое внимание на организацию работы по зимнему содержанию автодорог.

Международный опыт применения различных методов борьбы с ухудшением условий движения по автомобильным дорогам в зимний период проанализирован в работе О.В. Белого, Л.Д. Бариновой и Л.Э. Забалканской «Методы повышения безопасности на автодорогах в зимний период». Рассмотрены химические, физические и механические методы предотвращения образования наледи, а также различные сочетания этих методов. Изучены основные достоинства и недостатки антигололёдных методов и материалов. Основой данного анализа послужили такие критерии как экономическая и экономико-экологическая эффективность и безопасность, как для окружающей природной среды, так и для технического состояния дорожной инфраструктуры. С этой точки зрения

рассмотрены основные достоинства и недостатки методов, материалов и оборудования, применяемых в различных странах мира.

Следует отметить, что большинство специалистов сходятся во мнении о том, что своевременная механическая очистка дорог и улиц с применением современной техники является одним из наиболее эффективных способов борьбы с гололедом и снежным покровом в зимний период. Однако зачастую этого бывает недостаточно, поэтому применяются различные методы борьбы с наледью, в том числе и предотвращающие её появление.

Противогололёдные материалы (ПГМ) по своему действию можно разделить на противогололёдные реагенты (ПГР) и фрикционные материалы. Применяются также смеси из нескольких химических веществ. Как правило, они являются более эффективными.

При высокой интенсивности движения фрикционные материалы плохо закрепляются на проезжей части, поэтому они применяются в прогретом состоянии или в составе комбинированных ПГМ (ПГР и фрикционные материалы одновременно).

Следует отметить, что готовые песко-соляные смеси, как правило, хранятся на открытых площадках, которые являются дополнительным источником загрязнения окружающей природной среды, поскольку с мест хранения химические реагенты проникают в поверхностные и подземные воды, а также разносятся ветром, в результате чего может быть нанесён ущерб различным экосистемам. Для минимизации негативного воздействия, при невозможности закрытого хранения, необходимо учитывать природные и метеорологические особенности при выборе мест открытого складирования ПГМ, что свидетельствует о необходимости системного подхода к обеспечению экологической безопасности применения ПГМ, учитывая весь их жизненный цикл.

В качестве ПГМ используются хлориды (NaCl , CaCl_2 и MgCl_2), ацетаты и формиаты (калия и аммония), карбамиды и нитраты (на основе нитрата кальция, магния и мочевины), применяемые в твёрдом, жидком и увлажнённом состоянии. Согласно введённым в России нормативным документам ПГМ должны быть умеренно или малоопасными веществами (3 или 4 класса опасности) по воздействию на человека. Хлориды натрия и кальция относятся к 3 классу опасности, в то время как формиат натрия (соль муравьиной кислоты) относится к 4 классу.

Многочисленные исследования, проводимые в различных странах мира, показали, что использование NaCl в увлажнённом состоянии вместо сухой соли имеет ряд существенных преимуществ, таких как:

- более равномерное распределение и лучшее прилипание к поверхности дорожного покрытия, что даёт более длительный эффект;
- возможность использования при более низких температурах;
- сокращение времени высыхания покрытия, что обеспечивает существенный экономический эффект за счёт снижения расхода соли.

Следует обратить особое внимание на тот факт, что применение ПГР порождает множество различных по своей природе негативных последствий. Коррозионная активность ПГР и их негативное влияние на качество различных покрытий и прочность материалов существенным образом влияют на состояние безопасности. Кроме того, наблюдается негативное воздействие на экосистемы и здоровье человека. По данным исследований, проводимых в различных странах мира, установлены следующие негативные эффекты:

- повышение уровня электропроводности почв, что приводит к усилению коррозии трубопроводов и фундаментов домов;
- изменение физико-механических свойств грунтов (рост фильтрационной способности грунтов способствует широкому распространению экотоксикантов в различных природных средах, а также увеличивается опасность проявления суффозионных процессов);
- увеличение износа асфальтового покрытия дорог и других конструктивных элементов, особенно на мостах и эстакадах, поскольку ПГР имеют высокую коррозионную активность по отношению к стали, и даже способны растворять некоторые компоненты битумов;
- заметное угнетение растительности по обочинам дорог, что ведёт к изменению ценности биоценозов и снижению биоразнообразия;
- негативное влияние на здоровье людей, поскольку, попадая через воздушную среду в органы дыхания, эти вещества провоцирует и усугубляют заболевания легких;
- непосредственный контакт с ПГР оказывает негативное воздействие на кожу животных и человека.

Увеличение износа асфальтового покрытия дорог и других конструктивных элементов, особенно на мостах и эстакадах, не только способствует попаданию

экоотоксикантов в различные природные среды и через них в организм человека, но и повышают потребности в различных ресурсах, используемых для своевременного ремонта автодорог. Следует отметить, что именно обеспечение приемлемого технического состояния дорожной инфраструктуры является одной из наиболее существенных мер обеспечения безопасности передвижений.

Наибольшую коррозионную активность по отношению к стальным конструкциям проявляют хлориды магния. В связи с этим, использование на мостовых сооружениях хлорсодержащих реагентов запрещено. Для борьбы с гололедом на этих конструктивных элементах автодорог должны применяться материалы на основе ацетатов, нитратов, формиатов и карбамидов.

На тех участках автомагистралей, где использование хлоридных реагентов не запрещено, к ним также следует добавлять ингибиторы коррозии. При этом необходимо выбирать такие ингибиторы, которые обладают также противогололедными свойствами. Так, например, многокомпонентные ПГР с использованием формиатов (солей муравьиной кислоты), имеют высокую плавящую способность и низкую коррозионную активность. К их преимуществам следует также отнести то, что формиаты не обладают резким запахом, не вызывают аллергических реакций и раздражений кожных покровов у животных и человека и не обладают хронической токсичностью. Поэтому использование формиата натрия вместе с хлоридами в составе ПГМ позволяет снизить их класс опасности. Кроме того, необходимо упомянуть, что, формиаты стимулируют активность полезных аэробных бактерий в почве, что ускоряет процесс разложения других примесей, поступающих с проезжей части с талым снегом.

При рассмотрении вопросов оценки экологической безопасности, применяемых ПГМ следует также обратить внимание на пути их распространения в природных средах. Так, например, ПГР с тротуаров и снегоплавильных установок проникают в различные природные среды. Эти вещества загрязняют наземные и, через почву, подземные воды, а также воздух (через канализационные стоки они попадают на очистные сооружения, осадок которых сжигается, выделяя в воздух диоксины, ПАУ и др. экотоксиканты). Широко проводимые исследования по изучению токсичности различных ПГМ показали, что все они оказывают существенное негативное воздействие (зависящее от концентрации) на биоту, что вызывает необходимость учитывать не только класс опасности применяемых веществ, но и возможности снижения их концентрации.

В качестве альтернативы хлористому натрию используется хлористый магний (бишофит) - природный минерал, содержащий в своем составе хлоридно-натриево-магниевые составляющие, а также бром, йод, железо. ПГМ на его основе могут быть как твёрдые, так и жидкие. Поскольку он содержит большое количество различных веществ, их воздействие и накопление в почве и других средах неоднозначно. Однако, по сравнению с хлористым натрием, он имеет такие преимущества как более широкий диапазон рабочих температур (от 0 до -35°C), более высокую скорость плавления льда (выше в 2-5раз). А по сравнению с технической солью - низкие нормы расхода (от 20 г на квадратный метр), отсутствие соляного налета, что обуславливает меньшее вредное воздействие на окружающую среду. Однако отмечается снижение его преимуществ при смешении с другими солями.

Ещё одним достаточно популярным средством является модифицированный хлористый кальций (ХКМ 28%-ный), который расходуется более экономно и может использоваться при более низких температурах (до -55°C). Кроме того, он менее негативно воздействует на придорожные экосистемы, поскольку при его попадании в почву происходит замещение натрия, накопившегося в почве за период применения технической соли, кальцием, что снижает негативное воздействие на почвенные биоценозы. Однако одним из наиболее важных недостатков данного средства является его короткое время воздействия (примерно три часа). Это ведет к необходимости проводить повторные обработки дорожного покрытия, что нивелирует снижение потребления на одну обработку. Также исследования выявили, что при обработке ледяного покрытия дороги ХКМ, уменьшается качество сцепления шин с дорожным покрытием уменьшается при сравнении с мокрым асфальтом.

Обработка дорожного покрытия жидкими ПГМ является превентивной мерой, т.к. препятствует образованию наледи. Наиболее экологически безопасными являются ПГМ на основе уксусной или муравьиной кислоты.

Для снижения потребления солей в антигололёдных растворах, а, следовательно, снижения их концентрации в придорожных экосистемах используются также побочные продукты и отходы сельскохозяйственной, пищевой и ликероводочной промышленности (свекольный и картофельный соки, продукты переработки сахарного тростника и мочевины). Проведённые в Канаде и США исследования выявили, что добавление сока сахарной свеклы, содержащего собственные кислоты, и картофельного сока, который является побочным продуктом при производстве водки, способствует

повышению эффективности антигололёдной обработки. Преимуществом этих веществ является не только их биоразлагаемость, но и меньшая коррозионная активность. Мочевина, применяемая в сельском хозяйстве как удобрение, также используется для ПГМ в тех районах, где эти удобрения производятся.

Для обеспечения лучшего сцепления колеса с поверхностью автодороги используются фрикционные материалы, которые должны иметь следующие свойства:

- большое сопротивление сжатию, дроблению, шлифованию и ударным нагрузкам (препятствует измельчению до пылевидных частиц);
- остроугольную форму частиц (снижает их снос с проезжей части автодороги);
- темный цвет (повышает поглощение солнечной энергии);
- одинаковый размер частиц (обеспечивает равномерное распределение по поверхности).

Следует упомянуть, важнейший с экологической точки зрения факт, что их использование способствует интенсификации процесса истирания как дорожного покрытия, так и различных деталей автотранспорта, являясь источником проникновения в воздушную среду твёрдых частиц ТЧ_{2.5} и ТЧ₁₀. Такое загрязнение признано ВОЗ одним из факторов, существенно влияющих на здоровье населения. Поэтому все фрикционные материалы требуют своевременной уборки после зимнего периода. Повторное применение фрикционных материалов возможно только после предварительной очистки от загрязнителей (в том числе тяжёлых металлов и бензапирена), которые они впитывают, находясь на поверхности автодороги. Процесс очистки требует соответствующих энергозатрат, и также является источником образования загрязнённых стоков и токсичных отходов, требующих захоронения, что также говорит нам о необходимости рассматривать весь жизненный цикл применяемых компонентов.

В качестве фрикционных материалов используется песок и смесь песка со щебнем, а также гранитная и мраморная крошка. Следует упомянуть, что размер частиц имеет большое значение не только для усиления сцепных свойств покрытия, но и является фактором, обуславливающим время пребывания частиц на обработанной поверхности, что немаловажно для планирования мероприятий по антигололёдной обработке покрытий автодорог. Большой промежуток между проведением обработки является существенным фактором обеспечения эффективности этих мероприятий, поскольку экономит не только материальные ресурсы, но и снижает потребности в затратах энергии, а также негативное воздействие на окружающую среду от выбросов машин, применяемых для обработки.

Применение гранитной крошки, в силу её твёрдости, повышает скорость износа дорожного покрытия, а также шин и других деталей автотранспорта. Кроме того, повреждение лакокрасочного покрытия провоцирует коррозию кузова автомобилей, снижая его срок службы.

Мраморная крошка не наносит такой ущерб дорожному покрытию и различным деталям механизмов автотранспорта, поскольку является более мягкой, чем гранитная, но это, же свойство обуславливает то, что она гораздо быстрее истирается. Мрамор, попадая в почву, полностью разлагается за 2-3 года, однако мраморная крошка как другие фрикционные материалы, попадающие в почву с поверхности автодорог, является носителем других загрязнителей.

Для того чтобы использовать преимущества как химических, так и фрикционных материалов, применяются различные комбинированные ПГМ, представляющие собой смеси фрикционных и химических составляющих.

Однако с точки зрения системного подхода к обеспечению безопасности автодорог в зимний период, необходимо обратить внимание на эти вопросы уже при проектировании и строительстве дорог. Уже в процессе создания автодороги могут применяться методы, позволяющие минимизировать издержки (как внутренние, так и внешние), связанные с обеспечением надлежащего состояния транспортных коммуникаций в неблагоприятной погодной обстановке. Следует отметить, что эти методы повышают капитальные затраты, но, при этом, снижают затраты на обслуживание автодорог, хотя и не столь значительно. А это означает, что на этапе проектирования необходимо выделять участки трасс, требующие особого внимания, и предусматривать особые меры обеспечению безопасности передвижений в зимний период. Следует также особо рассматривать наиболее уязвимые экосистемы, находящиеся в зоне негативного воздействия автодорог, и разрабатывать для них особые условия применения антигололёдных средств, что требует обновления нормативной базы.

Одним из наиболее перспективных направлений обеспечения надлежащего состояния автомобильных дорог при отрицательных температурах является предотвращение образования ледяной корки за счёт модификации асфальтобетонного покрытия с применением, как различных химических смесей, так и различных волокон. Используются также покрытия на основе вулканизированных неполярных каучуков. Однако для поддержания надлежащего состояния покрытия при низких температурах воздуха этих мер недостаточно, поэтому метод применяется в сочетании с механической

уборкой, кроме того, дополнительно могут быть использованы ПГР. Однако их необходимое количество существенно снижается, что позволяет ограничить негативное воздействие на окружающую природную среду. Следует подчеркнуть, что применение антиобледенительных добавок для дорожных одежд не должно ухудшать свойств безопасности в другие периоды года и долговечности покрытия, что также должно быть учтено.

Применяются также физические методы предотвращения образования наледи за счёт подогревания покрытия. Подогрев может осуществляться как снаружи с помощью специальной техники, так и изнутри, когда теплоносители заложены под поверхностью дороги при её возведении. Этот способ борьбы с гололёдом применяется в основном на участках, требующих особого внимания к безопасному состоянию покрытия, таких как эстакадные и мостовые конструкции, пешеходные переходы, резкие повороты дороги. К недостаткам данного метода следует отнести тот факт, что при условии неравномерности распределения тепла по поверхности, может произойти нарушение целостности покрытия дороги. Кроме того, требуется разработка новых технологий строительства автодорог и соответствующая нормативная база.

Основной причиной ограниченности физических методов борьбы с гололёдом, являются существенные затраты на их реализацию. С точки зрения экологической безопасности имеет значение также дополнительное потребление электроэнергии, при условии её производства на тепловых электростанциях, особенно работающих на угле или тяжёлых нефтепродуктах. Однако с переходом электроэнергетики на возобновляемые источники энергии и развитием методов и появлением новых материалов, используемых для подогрева дорожного полотна, физические методы, вероятно, будут применяться шире.

Таким образом, следует отметить, что содержание дорог в холодное время года в состоянии, обеспечивающем безопасность движения, требует применения комплексных подходов, подразумевая как меры, предпринимаемые при создании автодорог (особые виды покрытия, системы нагревания и т.д.), так и меры, предпринимаемые непосредственно в процессе обслуживания уже существующих дорог. Особое внимание следует обратить на то, что при рассмотрении вопроса выбора методов борьбы с образованием наледи следует учитывать весь жизненный цикл применяемых материалов.

Учитывая многообразие способов борьбы с гололёдом, важнейшее значение имеет применение оптимального сочетания различных методов и контроль оптимального расходования противогололёдных материалов. Необходимо также отметить, что погодные

условия, учитывая общие тенденции изменения климата, значительно различаются по годам и не подлежат усреднению. Это опять же приводит к необходимости обновления нормативной базы, регулирующей деятельность по обеспечению безопасности на дорогах в зимний период.

Необходим системный подход, основанный на рассмотрении всего жизненного цикла дороги с учётом климатических условий и особенностей экономики региона, а также с учётом особенностей экосистем, находящихся в зоне влияния дорог. Такой комплексный подход способен повысить эффективность обслуживания автодорог, и, в том числе, снизить расход ПГМ, тем самым повысив уровень экологической безопасности без ущерба для безопасности передвижений.

Особое внимание следует обратить на возможности более гибкого планирования обслуживания дорог в зимнее время. Это в свою очередь предусматривает создание информационных систем, передающих данные, полученные метеорологами, руководителям служб, отвечающих за содержание дорог в надлежащем виде. Наибольшую эффективность показывают системы управления содержанием дорог в зимний период, использующие возможности адаптации сочетания различных методов к текущей погодной ситуации. Для обеспечения успешной работы подобных систем необходимо развивать методы быстрого накопления, анализа и передачи соответствующей информации и ситуационного принятия решений. Однако в основе такой системы управления должны лежать принципы устойчивого развития не только с точки зрения обеспечения безопасности передвижения, но и с учётом экологических и эколого-экономических аспектов, которые должны быть закреплены в соответствующей нормативно-правовой документации.

Публикации совета:

1. Белый О.В., Барина Л.Д., Забалканская Л.Э. «Методы обеспечения безопасности на автомобильных дорогах в зимний период» // журнал ВИНТИ «Транспорт: наука, техника управление» №6, 2019, с.3-8 (doi: 10.36535/0236-1914-2020-06-1, журнал перечня ВАК, двухлетний импакт-фактор в РИНЦ – 0,635, с учётом цитирования из всех источников - 0,901, в SIENCE INDEX-0,221)
2. Белый О.В., Барина Л.Д., Забалканская Л.Э. «Целевая модель как основа стратегии управления устойчивым развитием городского общественного транспорта» // ж. Транспорт РФ №1(86) 2020, с.3-7 (ISSN 1994-831 X, журнал перечня ВАК. Импакт-фактор РИНЦ 2018 – 0,465, в SIENCE INDEX -0,378)

3. Белый О.В. Шамахов В.А., Кудряшов В.С., «Реализация государственной транспортной политики в Арктической зоне РФ»// ж. Транспорт РФ №3-4(88-89) 2020, с.3-7 (ISSN 1994-831 X, журнал перечня ВАК, Импакт-фактор РИНЦ 2018 – 0,465, в SIENCE INDEX -0,378)

4. Подготовлена к печати монография: Белый О.В., Барина Л.Д., Забалканская Л.Э. «Проблемы устойчивого развития системы городского общественного транспорта».

9 Исследования по направлениям экология и природные ресурсы

В 2020 году в соответствии с Государственным заданием и Программой фундаментальных научно-исследовательских работ СПбНЦ РАН на период до 2030 года по плану работы Объединенного научного совета «Экология и природные ресурсы» были продолжены работы по теме «Изучение, сохранение и мониторинг фауны Северо-Запада России».

Работы осуществлялись по трем основным направлениям:

- 1) Птицы и млекопитающие региона Финского залива: изучение, мониторинг, сохранение биоразнообразия;
- 2) Изучение и мониторинг фауны Особо Охраняемых Природных Территорий России (ООПТ), перспективы сохранения и возможности расширения границ ООПТ и количества заказников на территории Ленинградской области;
- 3) Разработка нового для Балтийского региона РФ направления исследований «Воздействие пластикового загрязнения Мирового океана на различные аспекты биологии птиц».

9.1 Результаты авиационных учетов гнездовых участков водоплавающих птиц и весенних миграционных стоянок и в российском секторе Финского залива

Работы велись в российской акватории восточной части Финского залива, названия, упоминаемые в отчете, приведены в разделе «Материал и методы наблюдений».

9.1.1 Общая характеристика орнитофауны Финского залива

Птицы являются самой многочисленной и разнообразной группой позвоночных животных, обитающих на побережье и островах Финского залива. В летний период и в период сезонных миграций здесь можно увидеть до 230-235 видов (с учетом лесных биотопов). В общей сложности авифауна материкового побережья и островов включает более 80% птиц, зарегистрированных в Ленинградской области. Из них 59 видов птиц являются редкими и охраняются в Ленинградской области, 28 видов птиц внесены в Красную книгу HELCOM (2013), 14 видов птиц — в Красную книгу Российской Федерации (2001), 4 вида птиц – в Международный список находящихся под угрозой исчезновения видов животных и растений МСОП.

В природных условиях птицы достаточно придирчивы в выборе мест, где они выводят птенцов или кормятся. Участки, обладающие всеми необходимыми условиями для постоянного пребывания животных, называют их местами обитания; они, в свою очередь,

могут подразделяться на биотопы или станции, несущие конкретную функциональную нагрузку – например, гнездовые, кормовые и т.п.

Как видно из рисунка 9.1, значительная часть прибрежных местообитаний птиц в настоящее время представлена в 10 существующих КОТР (Ключевые Орнитологические Территории России, часть международной программы “Important Bird Areas” (IBA), <http://www.rbcu.ru/programs/77/3387/>) и в 17 региональных заказниках.

Говоря об особенностях структуры местообитаний птиц на береговых и островных участках региона Финского залива, необходимо подчеркнуть природную неоднородность этих территорий, и, как следствие, присутствие здесь представителей совершенно различных экологических групп птиц.

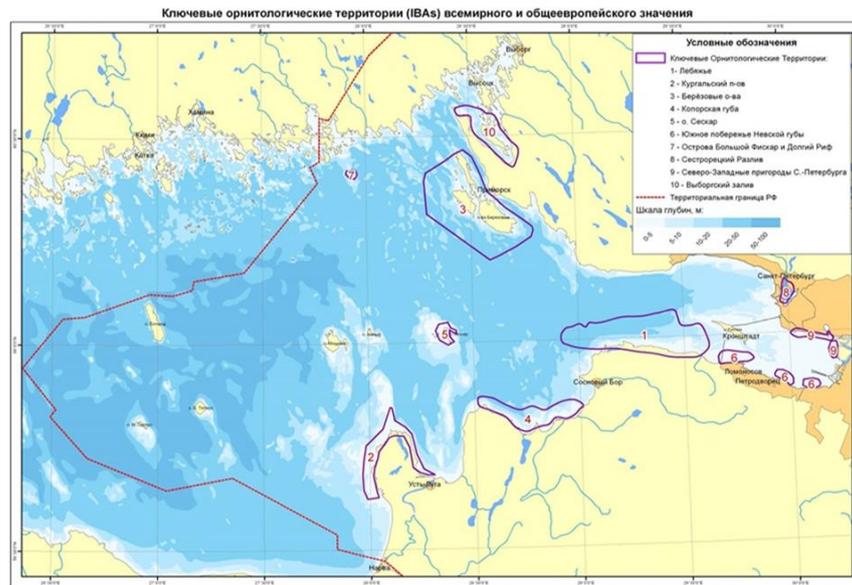


Рисунок 9.1 – В Российском секторе Финского залива расположено 10 КОТР

Самыми заселенными гнездовыми станциями на побережье восточной части Финского залива, являются приморские луга (Рис.9.2.).

Вторыми по значимости для птиц являются заросли прибрежной околводной растительности (в общей сложности 32%). Валунные гряды, песчаные, песчано-галечные пляжи и дюны используются для гнездования немногими видами птиц, однако именно в этих местообитаниях предпочитают гнездиться многие редкие виды региона (белощекая казарка, галстучник, камнешарка, чернозобик, кулик-сорока и др.).

Всего 7% птиц используют антропогенные ландшафты как гнездовые станции. Кроме того, из них ряд видов более охотно занимает естественные местообитания (большой и средний крохали, хохлатая чернеть), и лишь некоторые воробьиные (белая трясогузка,

обыкновенная каменка, все виды ласточек) легко поселяются на антропогенно-трансформированных территориях (Бубличенко, Бубличенко, 2020 (in print)).

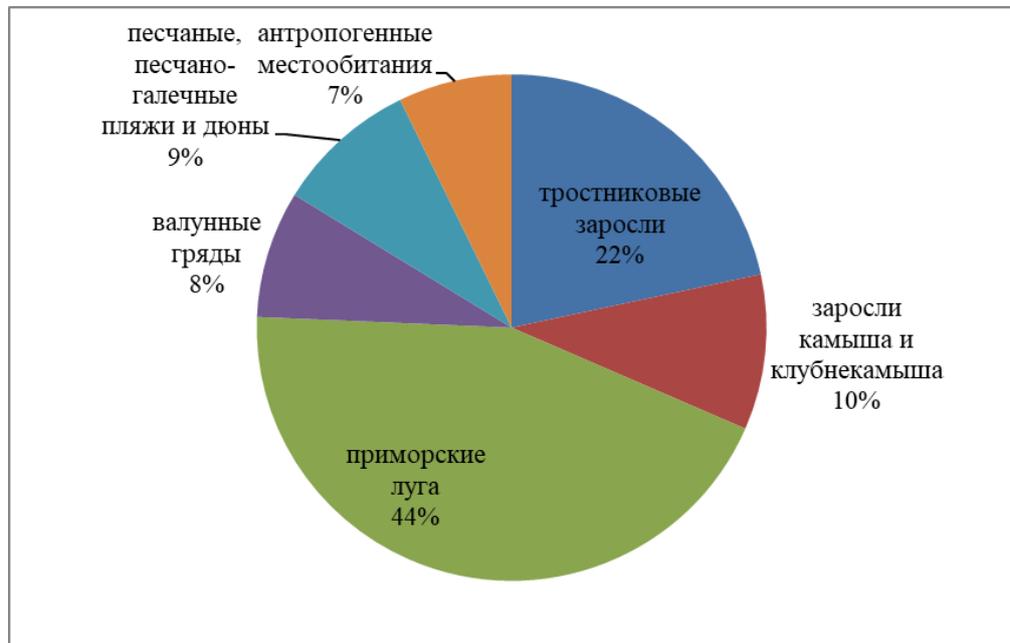


Рисунок 9.2 – Распределение околоводных и водоплавающих птиц Финского залива по основным гнездовым биотопам (по: Бубличенко, 2014)

Видовой состав орнитофауны, пространственное распределение и численность птиц, гнездящихся на Финском заливе и мигрирующих через его акваторию, могут значительно варьировать по годам под влиянием целого ряда причин – например, в зависимости от обилия кормов или площади мелководий. Так, количество крякв и хохлатых чернетей в некоторые годы колеблется в 6-8-кратных пределах. Быстрая реакция на вновь возникающие кормовые угодья характерна для погоныша и камышницы. Увеличение численности этих видов наблюдается, когда из-за высокого паводка и обилия дождей, или, в ряде случаев, в результате хозяйственной деятельности человека, - на побережье залива возникает широкая зона мелководий. А вот рост численности чаек следует, по-видимому, объяснять освоением ими новых источников кормов в рудеральной зоне города. Ежедневно эти птицы совершают кормовые кочевки на городские свалки; особенно они многочисленны вблизи рыбных заводов (например, в пос. Усть-Луга Ленинградской области) и рыбоперерабатывающих хозяйств.

Изучение гнездящихся водоплавающих птиц на островах Финского залива и на Кургальском полуострове было начато лишь в 90-е гг XX века. В настоящее время орнитофаунистические наблюдения ведутся на островах и на материковом побережье

Финского залива достаточно регулярно – в том числе, авиаучеты, позволяющие одновременно охватить практически все ключевые места гнездования наиболее массовых водоплавающих и околоводных птиц, что крайне важно для мониторинга авифауны в целом.

Особенности весенней миграции птиц в российской части акватории Финского залива.

Благодаря своему географическому положению, Финский залив выполняет функцию «бутылочного горлышка», через которое проходят миллионы мигрантов. Эта роль «накопителя» пролетных водоплавающих птиц обусловлена также климатическими и биоценотическими факторами.

В весеннее время подавляющее большинство водоплавающих птиц попадает в акваторию Финского залива из районов Прибалтики (Носков и др., 1965; Носков, Рымкевич, 2014).

Наблюдения за весенней миграцией в последние десятилетия показали, что в это время на Северо-Западе России по-прежнему функционируют два основных пути пролета водоплавающих птиц, пересекающих Ленинградскую область:

- первый путь – на восток к Невской губе и далее по южному побережью Ладожского озера к Свирской губе;
- второй (наиболее значимый для выполняемых работ) путь – от Рижского залива Балтийского моря через центральную часть Финского залива к Выборгскому заливу и далее через север Карельского перешейка и Ладожского озера (Рис. 9.3).

По второму миграционному пути летят, в основном, массовые арктические виды (гагары, лебедь-кликун, казарки, морские утки, чайки).

В то же время залив не является местом крупных стоянок арктических мигрантов, за некоторым исключением - морской чернети (*Aythya marila*), гагар и лебедей.

Массовые стоянки лебедей (кликун *Cygnus cygnus* и малого *C. bewickii* обнаружены в северной части Финского залива на мелководьях вокруг Березовых островов, а также у мыса Пихлисар Кургальского полуострова. На этой территории в прошлые годы регистрировались также крупные скопления гусей, нырковых и речных уток, чаек. Стоянки казарок во время весенней миграции известны на островах и полуостровах Финского залива.

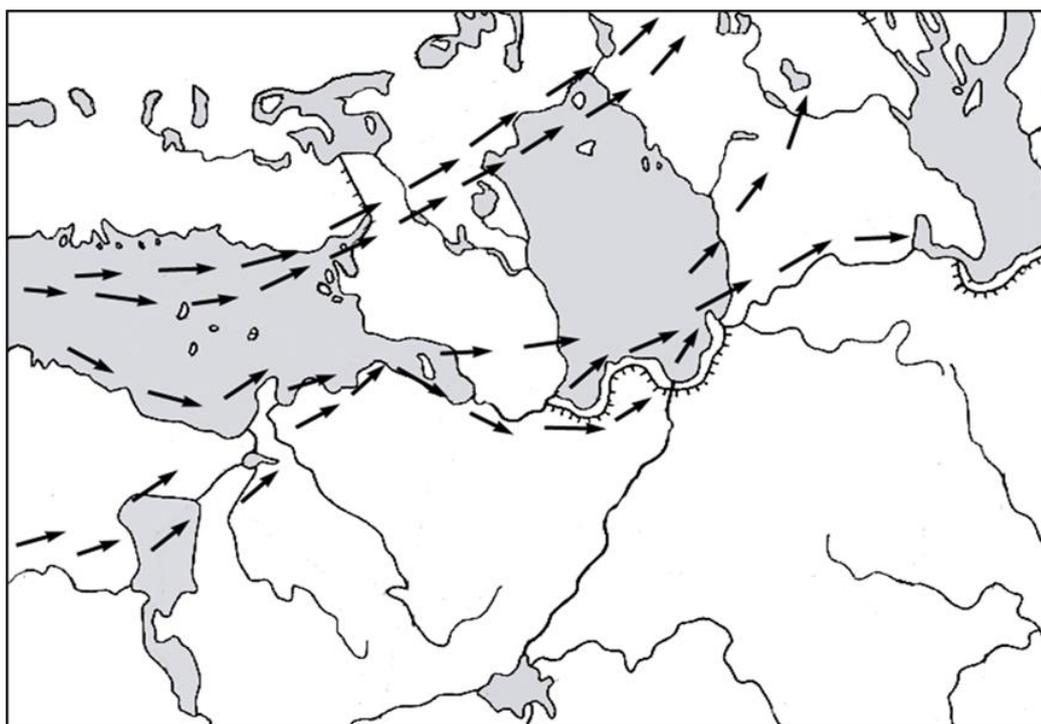


Рисунок 9.3 – Схема весеннего пролета водоплавающих птиц через Финский залив (по: Атлас миграций птиц...1995, Носков, 1997)

Первые аэроучеты водоплавающих и околоводных птиц в данном регионе проводились с борта вертолета в мае 2002 г. в районе Выборгского залива и Березовых островов; впоследствии в российской части Финского залива весенние авиационные учеты были проведены только в 2016 г. и 2018 г. Они дали возможность оценить интенсивность и направления миграционного потока гусей, казарок, многих видов речных и нырковых уток.

Авиаучеты 2020 г. позволили составить более полную картину миграционных стоянок птиц, дополнив уже известные сведения данными по поздним мигрантам, а также отметить локальные гнездовые колонии крупных видов птиц – больших бакланов, серебристых чаек, лебедей-шипунцов и некоторых других.

Полученные результаты

Всего в период наблюдений было зарегистрировано 27 561 птиц 29 видов из 7 отрядов (Gaviiformes, Pelecaniformes, Ciconiiformes, Anseriformes, Falconiformes, Gruiformes и Charadriiformes), из них:

- 26.05.2020 года – 9 218 птиц;
- года – 18 343 птиц

Из 29 видов, зарегистрированных в дни наблюдений:

– 7 видов птиц занесены в список охраняемых видов IUCN (2019) – красноголовый нырок *Aythya ferina*, морянка *Clangula hyemalis*, гага *Somateria mollissima*, длинноносый крохаль *Mergus serrator*, клуша *Larus fuscus*, гагарка *Alca torda*, атлантический подвид тонкоклювой кайры *Uria aalge*;

– 7 видов включены в Красную книгу Российской Федерации (2020) – чернозобая гагара *Gavia arctica*, серый гусь *Anser anser*, атлантический подвид тонкоклювой кайры *Uria aalge*, орлан-белохвост *Haliaeetus albicilla*, клуша *Larus fuscus*, материковый подвид кулика-сороки *Haematoropus ostralegus longipes*, чеграва *Hydroprogne caspia*;

– 13 видов занесены в Красную книгу животных Ленинградской области (2018);

– 7 видов занесены в списки охраняемых видов HELCOM (2013) (табл. 9.1).

Таблица 9.1 – Перечень зарегистрированных в период наблюдений видов птиц, занесенных в списки охраняемых видов животных разного ранга

	Научное название Scientific name	Красная книга России Red Data List of Russian Federation	Красная книга Лен.обл. Red Data Book of Leningrad region	Красная книга Helcom HELCOM Red list	Красная книга МСОП IUCN (EU) Red list
	<i>Gavia arctica</i>	2	L3	H(CRw)	
	<i>Branta leucopsis</i>		L(B)		
	<i>Anser anser</i>	2	L3		
	<i>Cygnus cygnus</i>		L3		
	<i>Anas strepera</i>		L3		
	<i>Aythya ferina</i>				EU(VU)
	<i>Aythya fuligula</i>			H (NTb)	
	<i>Clangula hyemalis</i>			H (ENw)	EU(VU)
0	<i>Somateria mollissima</i>		L3	H(ENw;VUb)	EU(VU)
1	<i>Mergus serrator</i>			H (VUb)	EU(NT)
2	<i>Mergus merganser</i>		L4		

3	<i>Haliaeetus albicilla</i>	5	L3		
4	<i>Haematopus ostralegus</i>	3	L3		
5	<i>Larus fuscus</i>	2	L2	H(VUb)	EU(NT)
6	<i>Hydroprogne caspia</i>	3	L(B)	H(VUb)	
7	<i>Alca torda</i>		L3		EU(NT)
8	<i>Uria aalge</i>	2	L3	H(NTw;NTb)	EU(NT)

Примечание. Категории по Красным книгам:

IUCN Red List (2019): EN – находящийся в угрожаемом состоянии; VU – уязвимый вид; NT – потенциально уязвимый вид;

виды, занесенные в Красную книгу Российской Федерации (2020); Категории статуса редкости объектов животного мира: 0 - вероятно исчезнувшие, 1 - находящиеся под угрозой исчезновения, 2 - сокращающиеся в численности и/или распространении, 3 - редкие, 4 - неопределенные по статусу, 5 - восстанавливаемые и восстанавливающиеся;

– Helcom Red List of Baltic Sea species in danger of becoming extinct: Hb – список для гнездящихся видов, Hw – список для зимующих видов; CR – находящийся в критическом состоянии; EN – находящийся в угрожаемом состоянии; VU – уязвимый вид; NT – потенциально уязвимый вид;

– Красная книга природы Ленинградской области. Животные (2018): 0 – вероятно исчезнувший вид; 1 – вид, находящийся в критическом состоянии; 2 — вид с сокращающимся ареалом и численностью; 3 – редкий вид; 4 — вид с неопределенным статусом; 5 – вид, восстанавливающий численность; В – вид, включенный в списки требующих внимания («бионадзор»).

Весенние миграции

Среди мигрантов в период наблюдений доминировали представители семейства Anatidae (отряд Гусеобразные Anseriformes), общая численность которых составила 6 549 особей, т.е. 23,8% от общего числа зарегистрированных птиц, и 84% общего числа мигрантов. Всего отмечены 1 вид гусей, 2 вида лебедей, 10 видов уток. Из общего числа

зарегистрированных видов птиц (23) наиболее многочисленными были гоголь *Vucephala clangula* (2 631 особь), морянка *Clangula hyemalis* (1 402), серый гусь *Anser anser* (374), гага *Somateria mollissima* (366) и большой крохаль *Mergus merganser* (301). Неразмножающиеся большие бакланы, чайки и крачки разных видов, наблюдавшиеся на камнях вдали от колоний одиночно или стаями, были отнесены к отдыхающим или кормящимся птицам; их перемещения следует квалифицировать не как миграции, а как кормовые кочевки.

Небольшие стаи (до 15-20 особей) были характерны для лебедя-шипунa *Cygnus olor*, лебедя-кликунa *Cygnus cygnus*, большого крохалья, гаги, серого гуся и хохлатой чернети *Aythya fuligula*. Большинство других птиц встречались стаями не менее 15-30 особей (белошекая казарка, свиязь *Anas penelope*, кряква *Anas platyrhynchos*, длинноносый крохаль *Mergus serrator*). Наиболее крупные стаи отмечены у гоголя *Vucephala clangula* и морянки *Clangula hyemalis* (от 60 до 100 птиц и более). Столь значительные скопления этих видов объясняются тем, что миграции гоголя на Балтике могут быть в значительной мере растянуты по срокам и продолжаться до конца мая - начала июня, а морянка является поздним мигрантом.

В первый день наблюдений (26.05.2020) было выявлено 8 наиболее крупных мест концентрации водоплавающих птиц на стоянках (Рис. 9.4):

- это, в первую очередь, Копорская губа, Усть-Лужская губа, Нарвский залив, Кургальский полуостров с островами Кургальского Рифа, о.Сескар, о.Мощный, о.Малый, район материкового побережья Лебяжье - Черная Лахта,
- в меньшей степени - Березовые острова и архипелаг Большой Фискал.

Небольшие единичные стаи отмечены у берегов островов: Родшер, Гогланд, Котлин.

Во второй день наблюдений (02.06.2020) стаи мигрантов были обнаружены также вдоль материкового побережья от Лебяжьего - Черной Лахты до Кургальского полуострова с островами включительно, на Сескаре, Мощном, на архипелаге Большой Фискал; незначительные скопления отмечены у островов Малый, Большой Тютерс, Малый Тютерс. на Березовых островах (Рис. 9.5).

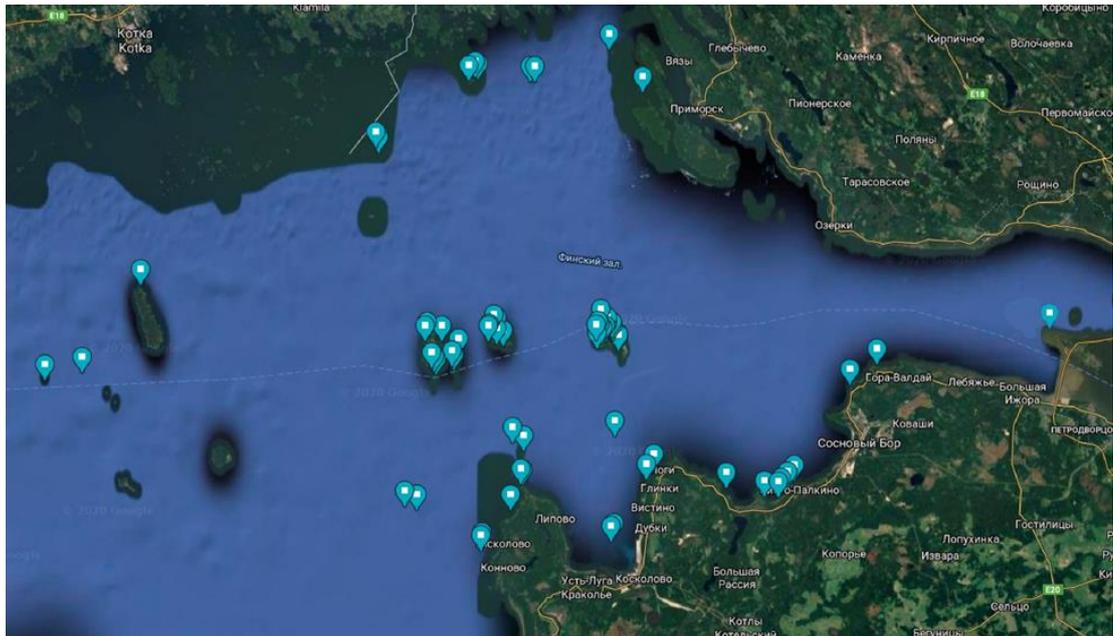


Рисунок 9.4 – Точки фиксации миграционных стай водоплавающих птиц в зоне учетов 26.05.2020. (<https://goo.gl/maps/3wMStGNyfaFYdb64A>)

На островах Родшер, Южный и Северный Виргини и Гогланд отдыхающие стаи мигрирующих птиц не обнаружены.

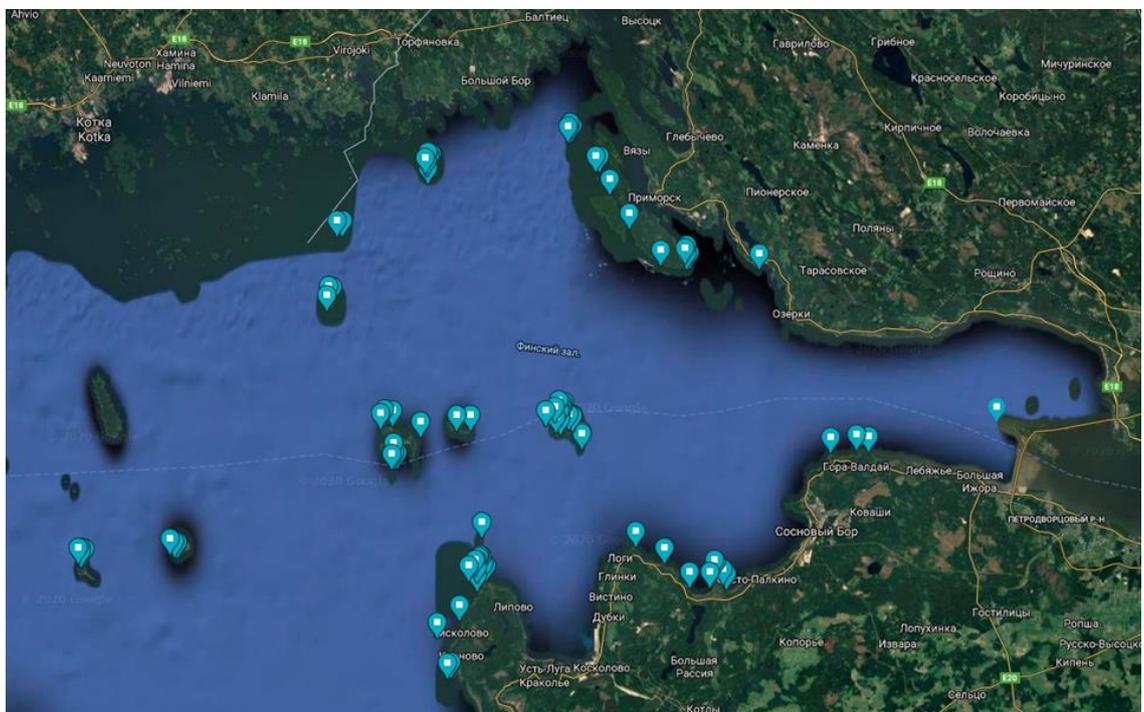


Рисунок 9.5 – Точки фиксации миграционных стай водоплавающих птиц в зоне учетов 02.06.2020 (<https://goo.gl/maps/gyak9w7ZjDNR66LL6>)

В связи с тем, что сроки весенней миграции водоплавающих птиц в данном регионе очень растянуты (приблизительно с конца марта - начала апреля до конца мая), а пик пролета водоплавающих птиц у одних видов приходится на вторую декаду апреля, а у других – на первую – вторую декады мая или на конец мая-начало июня, как и следовало ожидать, массовых миграций в период наблюдений зарегистрировано не было. Необходимо также отметить, что в связи с теплыми весенними температурами основные миграции могли пройти через Финский залив в более ранние сроки даже у поздних мигрантов.

Наибольший интерес представляли интенсивные миграции гоголя (Рис.9.6), большого крохалея, серого гуся и морских уток (в данном случае – морянки) (Рис. 9.7).



Рисунок 9.6 – Стая гоголей у о.Сескар 2.06.2020 (60.0263250 28.3286783).

Фото Ю.Н. Бубличенко

Миграции последних были вполне характерны для данных сроков, т.к. арктические морские утки в нашем регионе летят в массе как раз в третьей декаде мая – начале июня. Интересны единичные встречи чернозобой гагары *Gavia arctica*, чьи миграции сильно растянуты по срокам, причем птицы летят в основном всего по 1-2 особи, задерживаясь на некоторое время на воде на отдых. Также отмечено окончание пролета белошекой казарки *Branta leucopsis* 26 мая в Копорской губе, стая около 70 птиц) – одного из наиболее массовых мигрантов в регионе, пик миграции которых здесь приходится обычно на 1-2 декады мая.

Зарегистрированы интенсивные кормовые перемещения орланов-белохвостов *Haliaeetus albicilla* (6 особей за два дня) – от Кургальского Рифа до о.Сескар и о.Халикарти. Отмечено увеличение численности мигрирующих больших белых цапель *Casmerodius albus*

(Рис. 9.8), чья численность на Финском заливе в последние годы заметно возросла; зафиксированы первые попытки гнездования вида.



Рисунок 9.7 – Стая морянок недалеко от архипелага Большой Фискарь (60.3974450, 27.9571083) 26.05.2020. Фото М.В. Вережкина



Рисунок 9.8.а.



Рисунок 9.2.8.б – Большие белые цапли в Копорской губе (59.7936400; 28.8037717)
а) 26.05.2020. Фото С.В. Брылякова; б) 2.06.2020. Фото Ю.Н. Бубличенко.

В начале лета на Финском заливе концентрируются многочисленные группы не принимающих участия в размножении речных и нырковых уток.

Начало формирования таких скоплений было зарегистрировано нами в дни наблюдений: это, в первую очередь, кряква (237 особей), хохлатая чернеть (102) и свиязь *Anas penelope* (81) (Рис. 9.9).



Рисунок 9.9 – Стая крякв в Копорской губе (59.7953117, 28.8014733) 2.06.2020.

Фото Ю.Н. Бубличенко.

Гнездящиеся птицы

Среди гнездящихся птиц наиболее массовым видом были большие бакланы *Phalacrocorax carbo sinensis*: их общая численность за два дня наблюдений составила 12 369 особей, т.е. 44,9 % от всех зарегистрированных птиц. Представители семейства чайковых (*Laridae*), в первую очередь – серебристая чайка *Larus argentatus* – составили вторую по

численности доминирующую группу, до 7 357 особей, или 26,7 % от общего числа наблюдений. При этом значительная часть зарегистрированных серебристых чаек (всего за два дня было отмечено 6 634 особи) и больших бакланов уже сидела на гнездах (Рис.9.10).



Рисунок 9.10 – Небольшая колония больших бакланов и серебристые чайки на гнездах – по периферии. Островок у о.Сескар (60.0207233; 28.3546267) 2.06.2020.

Фото Ю.Н.Бубличенко

Самые крупные колонии больших бакланов были отмечены на 6 из обследованных участков (Рис.9.11): на островах Курголовской Реймы и о.Реймосар у Кургальского полуострова, на мелких островах у о.Сескар, на о.С.Виргин, на архипелаге Большой Фискар и, в меньшей степени – на Березовых островах.

Основные гнездовые участки серебристой чайки были расположены на 7 участках (Рис.9.12): на островах Курголовской Реймы и о.Реймосар у Кургальского полуострова, на мелких островах у о.Сескар, на о-вах Южный и Северный Виргины, на архипелаге Большой Фискар, на о.Родшер и, в меньшей степени – на архипелаге Березовых островов и на о.Малый Тютерс.

Колонии крачек зарегистрированы на песчаной косе Кургальского Рифа (по-видимому, это смешанная колония полярной и речной крачек, однако идентификация птиц на гнездах при авиаучетах несколько затруднена), у о.Малый Тютерс, на о.Ю.Виргин, Родшер. Колония озерных чаек *Larus ridibundus* и сизой чайки *Larus canus* обнаружена на о.Малый Тютерс.

На о.С.Виргин зарегистрирована смешанная колония больших бакланов, гагарок *Alca torda* и тонкоклювых кайр *Uria aalge*. На о.Родшер также отмечена крупная колония

гагарок. Единичные случаи гнездования клуши *Larus fuscus* отмечены на островах Мощный, Кокор (у о.Сескар), Большой Фискар: при этом на о.Рондо (Березовые острова), где ранее находилась самая большая на Финском заливе колония, в этом году клуш зарегистрировать не удалось. Отмечены 1 пара серого гуся – на о.Рондо, и 2 пары белощекой казарки – одна на архипелаге Большой Фискар, другая – на о Звеньевой (Березовые острова).

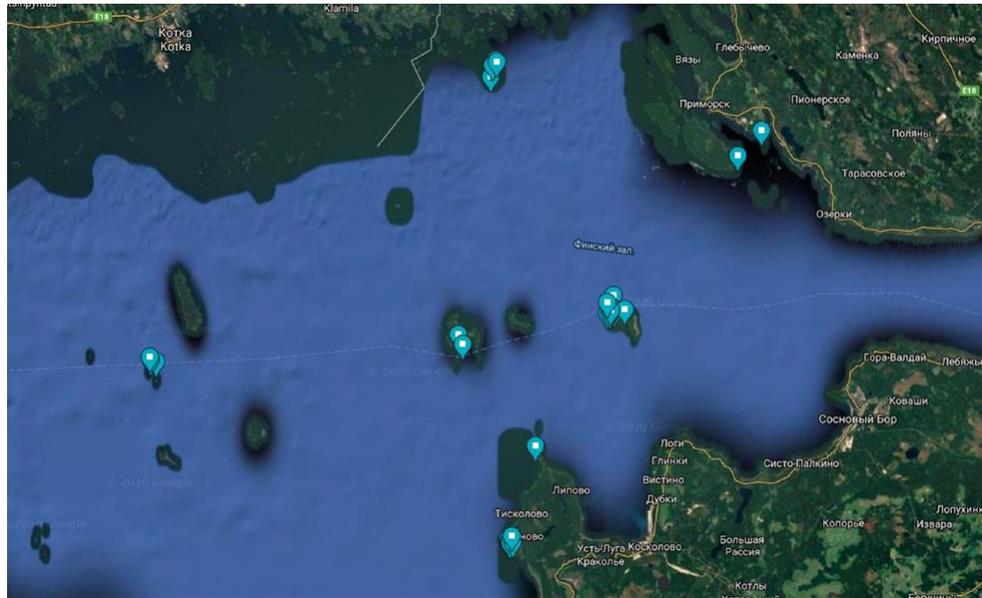


Рисунок 9.11 – Схема расположения основных колоний больших бакланов в российском секторе Финского залива в 2020 году (<https://goo.gl/maps/9DG7QSBzcGELjQEz5>)

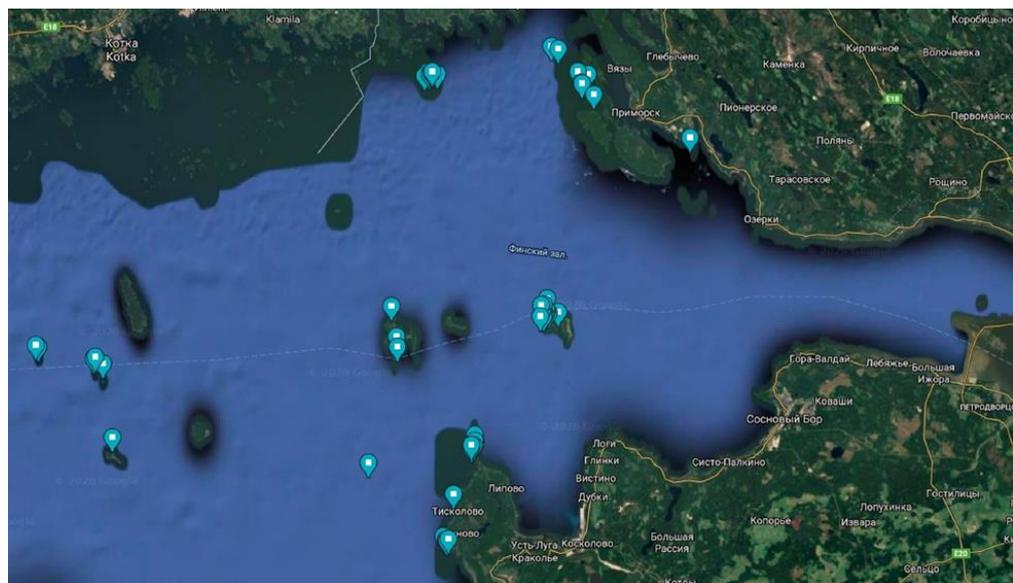


Рисунок 9.12 – Схема расположения основных колоний серебристых чаек в российском секторе Финского залива в 2020 г. (<https://goo.gl/maps/hebaKkoKt3h8rwr7>)

Достаточно точным методом авиаучета оказался и для определения числа гнездящихся на Финском заливе пар лебедей-шипунов (Рис.9.13).

Всего на гнездовании со значительной долей достоверности было зарегистрировано 12 видов птиц (большой баклан, серебристая чайка, озерная чайка, сизая чайка, клуша, речная и полярная крачки, серый гусь, белошекая казарка, лебедь-шипун, тонкоклювая кайра, гагарка). У больших бакланов, лебедей-шипун и серебристой чайки с борта самолета в ряде случаев удается разглядеть содержимое гнезд или наличие выводков или отдельных птенцов на воде (Рис.9.15, 9.16) или берегу.



Рисунок 9.15 – Лебеди-шипун с выводком недалеко от Черной Лахты 02.06.2020.
59.9860750; 29.1358683 (Фото Ю.Н. Бубличенко)

Можно предполагать, что встречи кулика-сороки *Naematopus ostralegus* на островах Мощный и Сескар по 1-2 особи также указывают на наличие в данной точке гнездового участка вида. Остальные виды куликов или не видны с самолета, или не подлежат видовой идентификации.

Во время авиаучетов был зарегистрирован также ряд других крупных видов птиц, как гнездящихся в регионе, так и летующих – серая цапля *Ardea cinerea*, большая белая цапля, серый журавль *Grus grus* (Рис.9.17), орлан-белохвост и др.

Таким образом, всего в дни наблюдений было отмечено 16 основных мест скоплений водоплавающих птиц на кормежке, отдыхе и на гнездовых участках (Рис.9.13): Березовые острова, Лебяжье - Черная Лахта, Копорская губа, Кургальский полуостров с островами Кургальского Рифа, о.Сескар, о.Мощный, о.Малый, архипелаг Большой Фискар, Родшер,

Южный и Северный Виргини, в меньшей степени - острова Гогланд, Большой Тютерс, Малый Тютерс, Халикарти, Котлин.



Рисунок 9.16 – Большие бакланы на гнездах с кладками яиц на о. Близнецы архипелага Березовые острова (60.2624167; 28.7103217) 2.06.2020. Фото Ю.Н. Бубличенко



Рисунок 9.17 – Серый журавль на мелководье у о.Сескар 2.06.2020 (60.0220050; 28.3713817). Фото М.В. Веревкина

Наибольшие скопления птиц на воде и у побережья островов были отмечены на архипелаге Большой Фискал, на островах Кургальского Рифа и на о.Реймосар, а также на о.Мощный, о.Сескар, о.Малый, (Рис.9.18), причем в первых четырех районах стаи птиц были зарегистрированы в оба дня наблюдений (Рис.9.18).

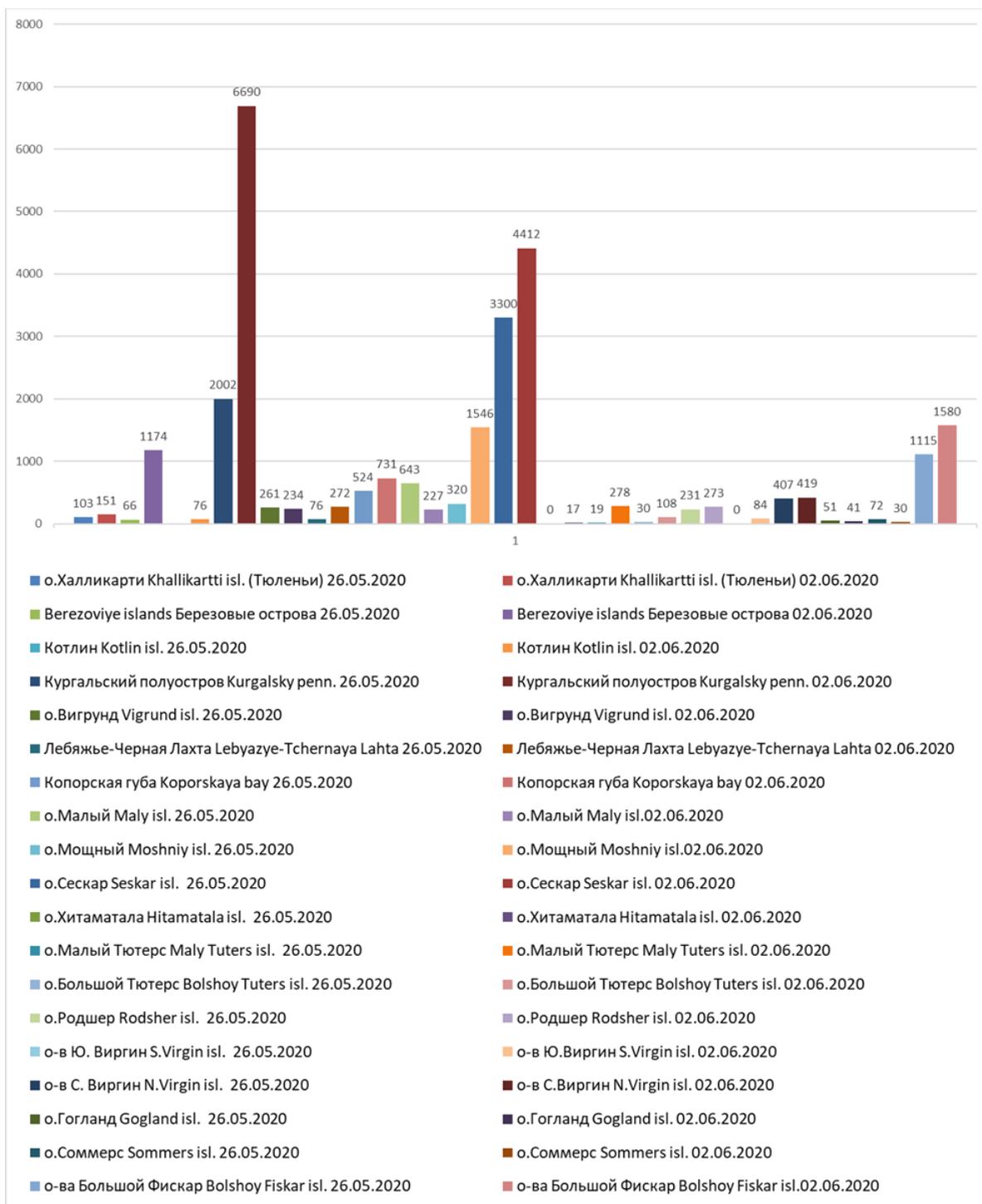


Рисунок 9.18 – Численность водоплавающих и околоводных птиц в российской части Финского залива в период наблюдений 2020 г.

Все отмеченные места отдыха и кормежки водоплавающих располагались на многочисленных мелководьях вокруг островов Финского залива или на береговых участках, несколько реже – на одиночных крупных камнях, выступающих из воды, или на «банках». Массовые миграции морских уток зарегистрированы в Нарвской губе и в Усть-Лужской губе 26 мая, у архипелага Большой Фискар и о. Сескар – в оба дня наблюдений, у о. Мощный - только 2 июня.

Основные гнездовые колонии больших бакланов и серебристых чаек расположены на мелких островах в районах Кургальского полуострова (в первую очередь – о. Реймосар) и у о. Сескар, колонии гагарок – у о-вов Родшер и Ю. Виргин, тонкоклювой кайры – только у о.Ю.Виргин, гнезда или выводки лебедей-шипунув обнаружены почти на всех обследованных территориях.

Отмечено резкое снижение численности мигрирующих и гнездящихся птиц на архипелаге Березовые острова в сравнении с предыдущими годами наблюдений. Редкие виды, занесенные в Красные книги различного ранга, обнаружены в основном на островах Кургальского Рифа, в Копорской губе, на островах Мощный, Сескар, на архипелаге Большой Фискар и на о.Рондо (архипелаг Березовые острова). Отмечено катастрофическое снижение численности клуши в сравнении с предыдущими годами исследований – как и на всем протяжении ареала вида, занесенного в 2020 году в новую редакцию Красной книги РФ и IUCN.

Ниже приведены более подробные результаты наблюдений за миграциями водоплавающих птиц и по основным гнездовым участкам, обнаруженным в период наблюдений на островах и материковом побережье в российском секторе Финского залива.

Остров Гогланд. Расположен приблизительно в 17, 4 км от ближайшей точки прокладки газопровода. На острове и окружающей его акватории слабо представлен комплекс гнездящихся и мигрирующих водоплавающих и околоводных птиц, что обусловлено отсутствием зарослей и прогреваемой зоны мелководий, с хорошими кормовыми и защитными условиями; большая часть побережий представлена скалистыми участками (Рис.9.19), малопригодными и для гнездования птиц. Мигрирующие стаи гусей, казарок, лебедей, журавлей, а также гагар пересекают Гогланд транзитом: весной с запада на восток на значительной высоте, осенью — в обратном направлении.



Рисунок 9.19 – о.Гогланд (59.9747533; 26.7906250). Фото М.В. Веревкина

В период наблюдений общая численность птиц, зарегистрированных в акватории, составила 92 особи. Они были представлены 3 видами, из которых основную часть составляли сизые чайки (74), гнездящихся, по всей видимости, на скалистых берегах Гогланда. Отмечены единичные встречи лебедей-шипунув (14), кормящихся у побережья. Виды, занесенные в Красные книги разных рангов, в дни наблюдений не обнаружены.

Остров Большой Тютерс расположен приблизительно в 7,3 км от ближайшей точки трассы газопровода. Это скалистый остров площадью 730 га, покрытый лесом и возвышающийся над морем на высоту до 56 м (Рис.9.20).

Входит в состав заповедника «Восток Финского залива». Весенние миграции водоплавающих птиц здесь никогда не изучались, а наблюдения за осенними миграциями в 1996 г. позволяют предположить, что большая часть мигрантов идет через данный участок акватории транзитом, не останавливаясь в этом районе на отдых или кормежку. Гнездящиеся водоплавающие птицы, как уже говорилось, предпочитают не скалистые побережья, а мелководья с пологими песчаными или галечниковыми пляжами или приморские луга.

Во время наблюдений вблизи острова было зарегистрировано 138 птиц, 107 из которых составляли серебристые чайки. Отмечены немногочисленные стаи уток и единичные встречи лебедей-шипунув. Виды, занесенные в Красные книги разных рангов, в дни наблюдений не обнаружены.



Рисунок 9.20 – Скалистые берега о.Большой Тютерс (59.8570100; 27.1681367)

Фото М.В.Веревкина

Остров Малый Тютерс расположен в 15 км к юго-западу от острова Большой Тютерс и приблизительно в 2 км от места прохождения трассы газопровода: соответственно, его фауна была наиболее подвержена техногенному воздействию в период строительства. Площадь острова — 142 га.

Входит в состав заповедника «Восток Финского залива». Характерной особенностью острова является длинная песчаная коса, расположенная на его южной оконечности, вокруг которой находится обширная зона мелководий. Литературные сведения по мигрирующим здесь видам птиц немногочисленны, но свидетельствуют о том, что большая часть стай летит над островом и акваторией транзитом. Во время наблюдений было зарегистрировано около 300 птиц 13 видов (в период авиаучетов 2016 г. – 250 особей 7 видов). Отмечены пролетные стаи краквы, гоголей, гаги, большого и длинноносого крохалей. Некоторые из обнаруженных видов уже приступили к гнездованию – лебедь-шипун (1 выводок), озерные (не менее 15-20 пар) и сизые чайки (5-7 пар), речные крачки (20-25 пар). Из охраняемых видов Ленинградской области отмечены обыкновенная гага (стая 11 особей), большой крохаль (стая 15 особей), кулик-сорока (6 особей), из видов, занесенных в Красную книгу РФ – кулик-сорока, из птиц, занесенных в списки HELCOM (2013), - хохлатая чернеть и обыкновенная гага.



Рисунок 9.21 – Побережья, пригодные для гнездования водоплавающих и околоводных птиц на о. Малый Тютерс (59.811058, 26.897977). Фото Ю.Н.Бубличенко



Рисунок 9.22 – Колония крачек на о.Малый Тютерс (59.8172967; 26.9209367). Фото Ю.Н. Бубличенко



Рисунок 9.23 – Колония озерной чайки на о. Малый Тютерс (59.7979700; 26.9363683). Фото Ю.Н. Бубличенко

Остров Родшер расположен на самой границе Ленинградской области (примерно в 500-700 м от российской границы) и менее чем в 2,5 км зоны прокладки газопровода (Рис.9.24).



Рисунок 9.24 – О.Родшер (59.9668033; 26.6856483). Фото Ю.Н. Бубличенко

Имеет протяженность с севера на юг менее 180 м, с запада на восток – около 80 м. Численность зарегистрированных в период наблюдений птиц была достаточно велика для столь малой площади острова – более 500 птиц 6 видов за два дня наблюдений. Особо следует отметить скопления гагарок *Alca torda* (до 143 птиц), сидящих на камнях возле

колонии (Рис.9.25), редких на гнездовании и охраняемых как в Ленинградской области (2018), так и во всем Балтийском регионе (HELCOM, 2013).

Кроме них, были отмечены лебедь-шипун *Cygnus olor* (1), стаи гоголей (21 и 70 особей), колония серебристой чайки *Larus argentatus* (не менее 30 пар), полярных крачек и речных крачек (не менее 20 пар). Всего из зарегистрированных здесь птиц занесены в Красную книгу Ленинградской области - 2 вида, в списки HELCOM – 1 вид.



Рисунок 9.25 – Колония гагарок на о.Родшер (59.9666417; 26.6744667).

Фото Ю.Н. Бубличенко

Острова Южный и Северный Виргини расположены в 12 км к юго-западу от острова Гогланд и на таком же расстоянии, но к востоку, от острова Родшер. Два небольших островка, общая площадь которых составляет 4 га, находятся в 1900 м друг от друга. Оба острова входят в состав заповедника «Восток Финского залива». Расположены приблизительно в 3,6-5, 8 км от трассы газопровода. Несмотря на малую площадь, острова и окружающие их мелководья активно используются водоплавающими птицами для гнездования и, в меньшей степени, - для отдыха и кормежки мигрантов.

В период наблюдений здесь было зарегистрировано около 1000 птиц 10 видов. Интересно, что если на о. Южный Виргин в основном гнездятся только серебристые чайки, и отмечены единичные птицы, отдыхающие на берегу или камнях, то о. Северный Виргин активно заселяется: здесь отмечены 2 колонии бакланов (не менее 100 пар), гнездятся тонкоклювые кайры и гагарки, серебристые чайки (не менее 60-70 пар) (Рис.9.26), отмечены

отдыхающие стаи серых гусей (12), лебедь-шипун (3). В оба дня наблюдений зарегистрирована клуша (2 и 3 птицы), что позволяет предположить гнездование 1-2 пар на острове.

Из зарегистрированных здесь видов 3 включены в Красную книгу Ленинградской области (клуша, гагарка, тонкоклювая кайра), 1 вид (клуша) – в списки HELCOM, 1 вид (североатлантический подвид тонкоклювой кайры) – в Красную Книгу РФ.



Рисунок 9.26 – Колония больших бакланов на о.Северный Виргин (59.9372050; 26.8863433). Фото М.В. Веревкина.

Кургальский полуостров вместе с прилегающими к нему островами Кургальского Рифа и островом Реймосар является уникальным местом обитания множества видов птиц (до 130-135), в том числе водоплавающих. Вся обследованная прибрежная территория и окружающие полуостров небольшие острова входят в состав природного комплексного заказника «Кургальский». Значительная часть его береговой линии находится в непосредственной близости от трассы газопровода. Ближайшая к газопроводу ценная для гнездящихся птиц и мигрантов точка – это о. Реймосар (Рис.9.27).



Рисунок 9.27 – о.Реймосар с колониями бакланов и серебристых чаек (59.6508983; 28.0026050). Фото Ю.Н. Бубличенко

Фауна гнездящихся на полуострове околородных птиц достаточно хорошо изучена: мониторинг авифауны продолжается здесь и в настоящее время. За годы предыдущих исследований было отмечено, что значительная часть мигрантов (в первую очередь, синьга, турпан, морянка, гуси, казарки, арктические виды куликов) следуют через полуостров транзитом, делая основные стоянки у островов Мощный, Сескар и Малый. Тем не менее, мелководья вокруг островов Кургальского Рифа также являются местом стоянок и кормежки ряда видов. Предшествовавшие работы показали, что наиболее значимые стоянки водоплавающих птиц, места кормежки и размножения в период наблюдений находились именно у Кургальского полуострова. Особо важными для мигрантов являются участки акватории в Нарвском заливе и в Усть-Лужской губе (несмотря на функционирование порта Усть-Луга).

Всего численность зарегистрированных нами у Кургальского полуострова птиц составила порядка 8 700 особей (2 002 - в первый день (без о.Реймосар) и 6 690 – во второй (Рис. 9.28)).

Всего у берегов Кургальского полуострова был отмечен 21 вид птиц (из 27 зарегистрированных в период наблюдений на всей территории Финского залива) из 5 отрядов. Здесь доминировали три группы птиц: пеликанообразные (Pelecaniformes) (1 вид, 64,4%), гусеобразные (Anseriformes) (13 видов, 16,8% от общей численности зарегистрированных птиц) и ржанкообразные (Charadriiformes) (4 вида, 1,8%).



Рисунок 9.28 – Стая гоголей в Нарвском заливе у побережья Кургальского п-ова (59.7365033; 28.0275133). Фото Ю.Н. Бубличенко

Среди гусеобразных преобладали мигранты и неразмножающиеся птицы: белошекая казарка, серый гусь, кряква, свиязь, морянка, гоголь (рис.9.2.28), длинноносый и большой крохали. Наиболее крупные стаи отмечены у морянки (370) и гоголя (более 600 птиц за 2 дня): они были зарегистрированы преимущественно в Нарвском заливе и Усть-Лужской губе. Из обнаруженных гнездящихся видов этой группы наиболее многочисленным оказался лебедь-шипун: на обследованном участке было обнаружено 13 гнезд, 6 из которых был расположены на о.Хангелода (Рис.9.29).



Рисунок 9.29 – Гнезда лебедя-шипуна на о.Хангелода (59.8124233; 28.0863567).

Фото Ю.Н. Бубличенко

Самыми многочисленными гнездящимися видами птиц были большой баклан (Рис.9.30) (только на о. Реймосар, судя по данным авиаучета, гнездится не менее 760 пар; всего вокруг полуострова отмечено около 6 000 птиц) и серебристая чайка (не менее 300 пар: всего отмечено за 2 дня около 1 200 птиц).



Рисунок 9.30 – Одна из колоний больших бакланов на о.Реймосар (59.6605817; 28.0013033). Фото Ю.Н. Бубличенко

Зарегистрированы колонии крачек на островах Кургальского Рифа (всего более 300 особей), в том числе существующая в течение ряда лет на песчаной косе у о.Хангелода (Рис.9.31).



Рисунок 9.31 – Колония крачек на песчаной косе у о.Хангелода (59.8062383; 28.0877183). Фото Ю.Н. Бубличенко

Поскольку по нашим данным здесь обычно присутствуют минимум два вида крачек – полярная и речная, мы склонны считать, что колония этого года также смешанного типа – хотя идентифицировать крачек до вида с самолета в большинстве случаев невозможно.

Из всех отмеченных на данном участке видов птиц 8 занесены в Красную книгу Ленинградской области (орлан-белохвост (Рис. 9.2.32), белошекая казарка, серый гусь, лебедь-кликун, серая утка, гага, большой крохаль, полярная крачка), 3 вида – в списки охраняемых видов HELCOM (хохлатая чернеть, гага, длинноносый крохаль) и 2 вида (серый гусь, орлан-белохвост) – в Красную книгу Российской Федерации (2020).



Рисунок 9.32 – Орлан-белохвост у о.Ремисаари (Кургальский Риф) (59.8094200; 28.0854433). Фото Ю.Н. Бубличенко

Остров Сескар расположенный в 19 км от южного берега Финского залива, имеет площадь 4,16 кв. км. Входит в состав заповедника «Восток Финского залива». На расстоянии до 4-5 км к западу и северо-западу от острова находится каменистая отмель площадью 8 км² с глубинами менее 5 м, где расположено множество мелких островков, привлекающих птиц не только во время сезонных миграций, но и в период гнездования (Рис. 9.33). Общая численность птиц, зарегистрированных в акватории и на отмелях в дни наблюдений, составила 7 700 особей; они были представлены 23 видами – т.е. в период

работ видовое разнообразие птиц на о.Сескар оказалось выше, чем на островах Кургальского заказника.

Наиболее многочисленным видом был большой баклан (более 4 300 птиц); было зафиксировано 5 крупных колоний (от 160 до 670 гнезд), большая часть которых была расположена на о. Кокор (островок на мелководье западнее о.Сескар).



Рисунок 9.2.33 – Мелководья у о.Сескар (60.0402733; 28.3366667). Фото Ю.Н. Бубличенко

Кроме того, были обнаружены колонии 5 видов ржанкообразных, где доминировала серебристая чайка (Рис.9.2.34) (6 колоний общей численностью не менее 500 пар). Здесь же зарегистрирована самая высокая численность клуши (17 птиц за 2 дня), что позволяет предположить гнездование минимум 4-5 пар этих птиц.



Рисунок 9.34 – Серебристые чайки, отдыхающие на песчаной косе о.Сескар.
(60.0402733; 28.3366667). Фото Ю.Н. Бубличенко

Отмечены миграционные скопления 10 видов гусеобразных, среди которых наиболее многочисленными были морянка, гоголь и серый гусь; обнаружено 5 гнезд лебеда-шипунa.

Число видов, занесенных в Красные книги разных рангов: 1) Ленинградской области (10 видов), HELCOM (6 видов), РФ (1 вид – орлан-белохвост), IUCN (5 видов).

Остров Мощный расположен в 40 км к западу от Гогланда. Ближайший к о. Мощный остров — Малый — находится в 6 км восточнее. Площадь острова Мощный состоящего из двух частей, соединённых песчаным перешейком шириною в 0,3 км, составляет 13,4 км². Изрезанные берега острова и многочисленные мелководья (Рис. 9.35) делают его привлекательным для мигрирующих и гнездящихся в регионе водоплавающих птиц.

В дни наблюдений на побережье и в акватории было зарегистрировано почти 1 900 птиц 21 вида. Самыми многочисленными были представители отряда гусеобразных (1078 птиц 12 видов, или 57,8 % от общего числа зарегистрированных птиц).

Наиболее многочисленные скопления наблюдали у морянки (310 особей, 1 стая), гоголя (364, несколько стай) и гаги (134, несколько стай).

Серые гуси (Рис.9.36) останавливались на пролете наибольшими стаями, обычно не более 8-12 птиц (110). Обнаружены гнездовые колонии серебристой чайки (до 150 пар), отмечена 1 пара лебедей-шипунa с выводком.



Рисунок 9.35 – Бухты и мелководья о.Мощный (60.0166433; 27.7975783). Фото Ю.Н.Бубличенко



Рисунок 9.36 – Серые гуси у о. Мощный 26.05.2020 (59.981667, 27.822633). Фото М.В. Веревкина

Число видов, занесенных в Красные книги разных рангов: 1) Ленинградской области (6 видов), HELCOM (5 видов), РФ (4 вида – серый гусь, орлан-белохвост, клуша, кулик-сорока), IUCN (4 вида).

Архипелаг Большой Фискаар расположен в северо-восточной части Финского залива и состоит из нескольких небольших скалистых островов (Рис.9.37).

Входит в состав Заповедника «Восток Финского залива». В 9 км к востоку от него находится скала Халли, которая также включена в состав заповедника.

В период наблюдений на архипелаге было отмечено почти 2 700 птиц из 4 отрядов. Здесь были зарегистрированы миграционные стаи 8 видов гусеобразных, а также 2 большие колонии большого баклана (численностью не менее 200 пар) и колонии серебристой чайки (общей численностью не менее 250-300 пар). Отмечены единичные пары серого гуся, белошекой казарки, клуши.

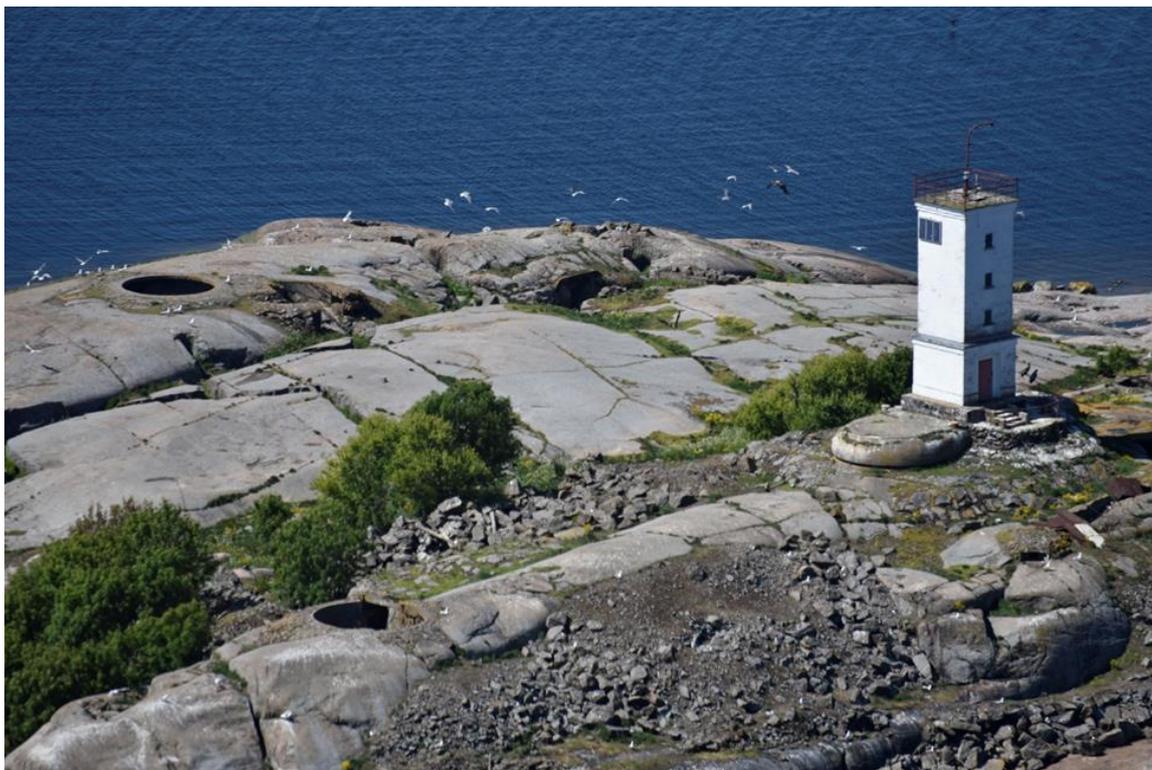


Рисунок 9.37 – Серебристые чайки и орланы-белохвосты на арх.Б.Фискара 2.06.2020 (60.4069417; 27.9469117). Фото Ю.Н.Бубличенко

Интересна встреча на архипелаге трех орланов-белохвостов одновременно (Рис.9.38). На о. Халли зарегистрирована единственная в дни наблюдений встреча чегравы *Hydroprogne caspia*, которая в последние годы крайне редко встречается в российском секторе Финского залива.

Виды, занесенные в Красные книги разных рангов: 1) Ленинградской области (9 видов), HELCOM (5 видов), РФ (4 вида – серый гусь, орлан-белохвост, клуша, чеграва), IUCN (5 видов).

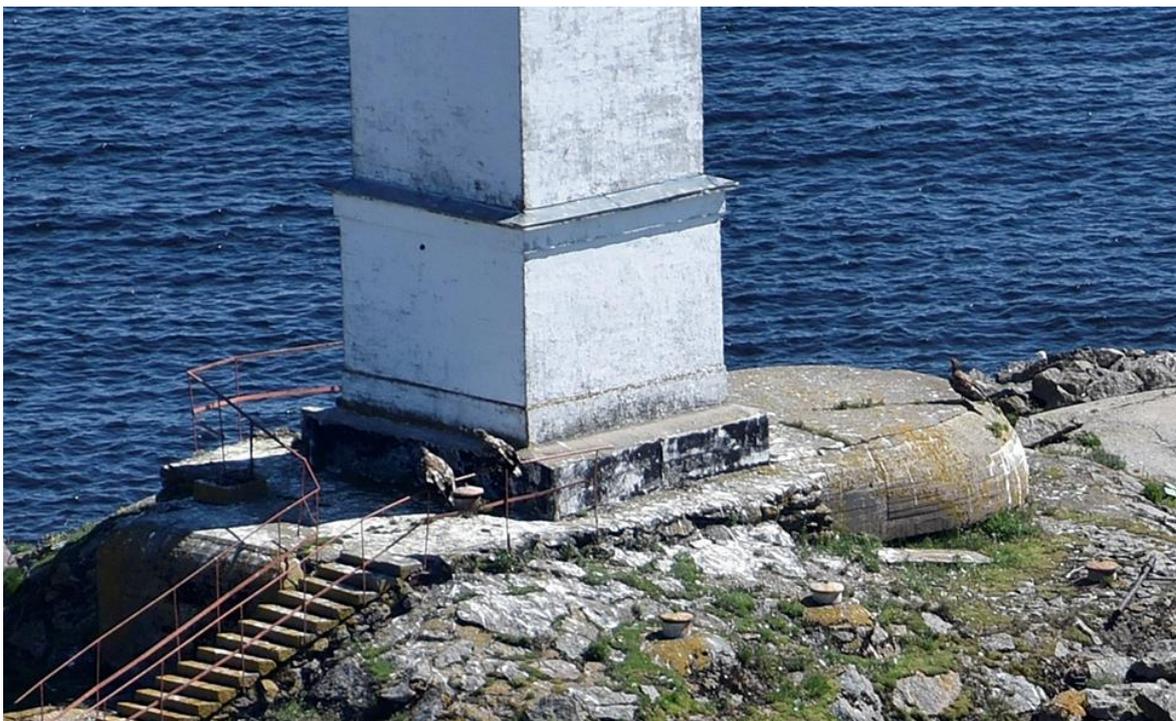


Рисунок 9.38. Орланы-белохвосты на арх.Б.Фискара 2.06.2020 г.
(60.4069417; 27.9469117). Фото Ю.Н.Бубличенко

Архипелаг Березовые острова (Рис.9.39) расположен в северной части акватории Финского залива. От материка острова отделены проливом Бьёркезунд шириной 2—5 километров. Общая площадь архипелага — 83,9185 км². Является государственным комплексным заказником.



Рисунок 9.39 – Березовые острова. На дальнем плане порт Приморск (60.3587967; 28.5050483). Фото Ю.Н. Бубличенко

Исследования авифауны островов были начаты еще в начале 80-х гг XX в., затем продолжены в начале 2000-х гг и продолжаются по настоящее время.

По всей видимости, серьезное негативное влияние на разнообразие и численность водоплавающих и околоводных птиц (как на мигрантов, так и на гнездящиеся виды) в наши дни оказывает соседство двух портов – Приморска и Высоцка (Рис.9.38).

В дни наблюдений на архипелаге было зарегистрировано крайне мало птиц (1 240 за 2 дня), причем основную долю составляли многочисленные в регионе виды серебристая чайка (47,7%) и большой баклан (25%). Правда, необходимо отметить, что колония больших бакланов на о.Рондо исчезла и переместилась на о-ва Близнецы, а колонии серебристых чаек сократились в разы как на о.Рондо, так и на островах Цепной, Клинок, Звеньевой, где ранее они были крайне многочисленны. В дни наблюдений на всех островах архипелага было зарегистрировано всего 18 клуш (т.е. 9 пар), тогда как ранее здесь гнезилось до 400 пар этих птиц. Отмечены на островах небольшие стаи хохлатой чернети (16), морянки (47), гоголя (96) и единичные встречи красноголового нырка, серой утки, двух видов крохалей.

Найдено 3 гнезда лебедя-шипун (Рис.9.40). Вероятно гнездование на о.Рондо одной пары белошекой казарки и серого гуся.



Рисунок 9.2.40 – Лебедь-шипун на гнезде и серебристые чайки на гнездах и с птенцами. О.Рондо (Березовые острова :60.4506267; 28.3602950). Фото Ю.Н. Бубличенко

Виды, занесенные в Красные книги разных рангов: Ленинградской области (5 видов), HELCOM (5 видов), РФ (2 вида – серый гусь, клуша), IUCN (4 вида).

На островах **Малый, Котлин, Вигрунд** (Рис.9.41) (который также входит в состав заповедника «Восток Финского залива») не было зарегистрировано значительного видового разнообразия и высокой численности мигрантов и гнездящихся птиц.

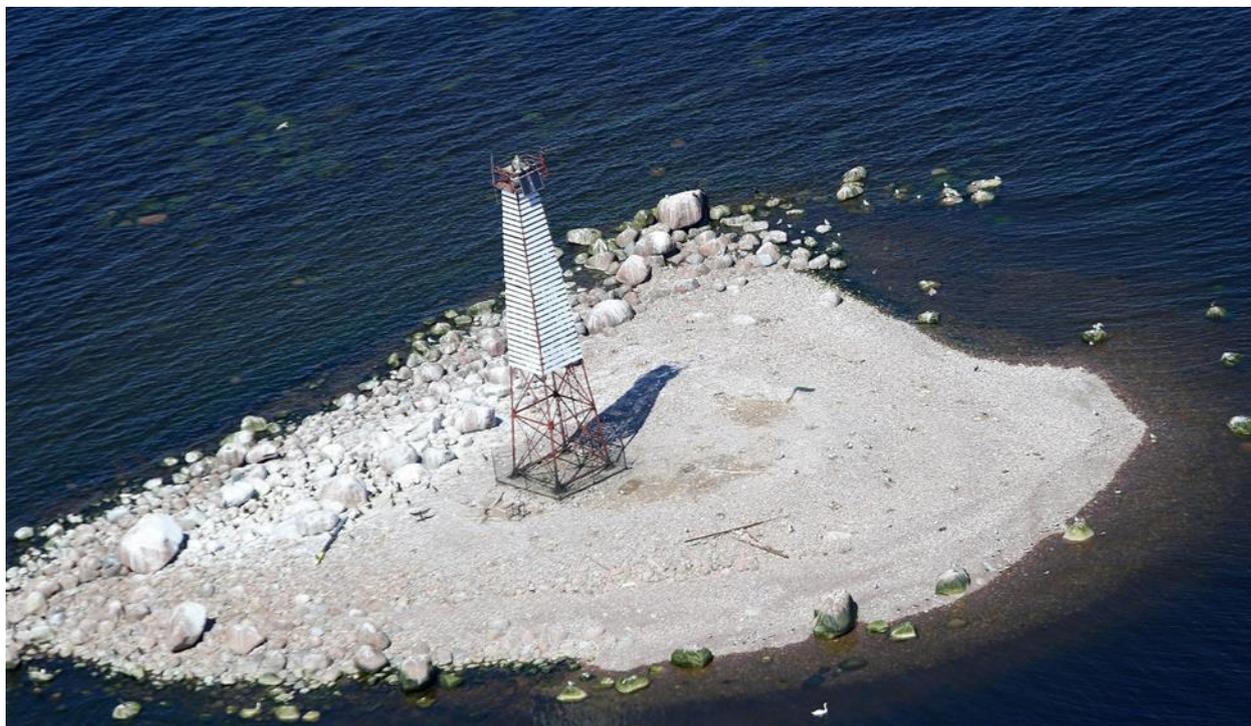


Рисунок 9.41 – Колонии серебристой чайки и больших бакланов на о.Вигрунд.
(59.7755533; 27.7424833). Фото М.В. Веревкина

Участки материкового побережья в районе **Копорской губы и Черной Лахты – Лебяжьего** представляют несомненный интерес для мониторинга мигрирующих видов. Именно в Копорской губе находится одна из 10 КОТР Финского залива, а окрестности пос. Лебяжье являются заказником регионального значения. Несмотря на то, что летняя фауна здесь представлена по данным авиаучетов только небольшими колониями разных видов чаек и крачек, а наблюдения велись в поздние сроки миграции, здесь было отмечено более 1 600 птиц 21 вида (346 птиц на последнем участке и 1 255 – в Копорской губе). Несомненный интерес представляют единичные встречи чернозобой гагары *Gavia arctica*, 2 стаи больших белых цапель, стаи белошекой казарки, гоголя, морянки, связы, лебедя-кликун (Рис.9.42).

Всего на побережье и акватории было зарегистрировано 10 видов гусеобразных. Из них на гнездовании достоверно отмечен только лебедь-шипун (2 пары с выводками и 1 пара

на гнезде). Обнаружить во время авиаучетов гнезда уток, если таковые имеются, среди тростников и другой околотоводной растительности не представляется возможным.

Виды, занесенные в Красные книги разных рангов: Ленинградской области (7 видов), HELCOM (5 видов), РФ (2 вида – чернозобая гагара, клуша), IUCN (4 вида).



Рисунок 9.42 – Стая лебедей-кликун в Копорской губе 26.05.2020
(59.8214983; 28.6405250). Фото М.В. Веревкина

Таким образом, на основании данных, полученных во время двухдневных авиаучетов птиц, проведенных с разницей в 6 дней в российской части акватории Финского залива, можно утверждать, что на обследованном участке в данный временной период существует 16 мест основных стоянок мигрирующих птиц (Рис. 9.4, 9.5, 9.1.18), где было зарегистрировано 27 561 (из них 26.05 – 9 218, 2.06 – 18 343) птиц 29 видов из 7 отрядов.

Из 29 видов птиц, зарегистрированных в дни наблюдений, 7 видов занесены в список охраняемых видов IUCN (2019); 7 видов включены в Красную книгу Российской Федерации (2020); 7 видов - в списки охраняемых видов HELCOM (2013) и 13 видов – в Красную книгу животных Ленинградской области (2018).

Наиболее крупные стоянки мигрирующих птиц находились вблизи Кургальского полуострова, архипелага Большой Фискарь, у о-вов Мощный и Сескар, в Копорской губе.

Для гнездящихся видов водоплавающих и околотоводных птиц большую роль играют также побережье и острова у Кургальского полуострова, архипелаги Березовые острова и Большой Фискарь, о-ва Мощный, Сескар, Родшер, Северный и Южный Виргини, Малый Тютерс, в значительно меньшей степени – Большой Тютерс и Гогланд.

По результатам наблюдений можно сделать вывод, что строительство и прокладка газопровода не оказали влияния ни на формирование стоянок мигрирующих птиц, ни на состав и численность летней орнитофауны островов Финского залива.

Вместе с тем, беспокойность вызывает резкое снижение биоразнообразия на архипелаге Березовые острова, что, вероятно, связано с функционированием двух портов, расположенных в непосредственной близости от заказника.

9.2 Особенности осенней миграции птиц в Российской части акватории Финского залива

По результатам авиаучетов 2020 г.

На основании наблюдений за миграциями птиц, которые проводятся российскими орнитологами с 1958 г., анализа данных кольцевания и литературных источников, показано, что район российской акватории Финского залива является местом регулярных массовых скоплений мигрирующих птиц как в весенний, так и в осенний периоды. Разнообразие ландшафтов, значительная протяженность сильно зарастающих прибрежных мелководий, многочисленные проливы и мелкие острова Финского залива делают их удобной точкой остановок и отдыха птиц как в период весенней, так и осенней миграции. Здесь останавливаются и держатся в течение 1–3 месяцев птицы не только из разных областей Северо-Запада России, но также из Финляндии, Эстонии, Латвии, Швеции.

Основные маршруты осенних миграций остаются почти неизменными на протяжении десятков лет наблюдений российских орнитологов (Рис.9.2.1).

Тем не менее, на отдельных участках побережья и акватории залива (например, на Березовых островах, в районе Лахтинского разлива, окрестностях п. Лебяжье) за последние 20–30 лет интенсивность пролета птиц и расположение мест их стоянок значительно изменились, что, по всей видимости, связано с активной хозяйственной деятельностью человека – строительством и функционированием портов в г. Приморске и на о. Высоцкий, прибрежной застройкой, ростом рекреационной нагрузки и т.д.

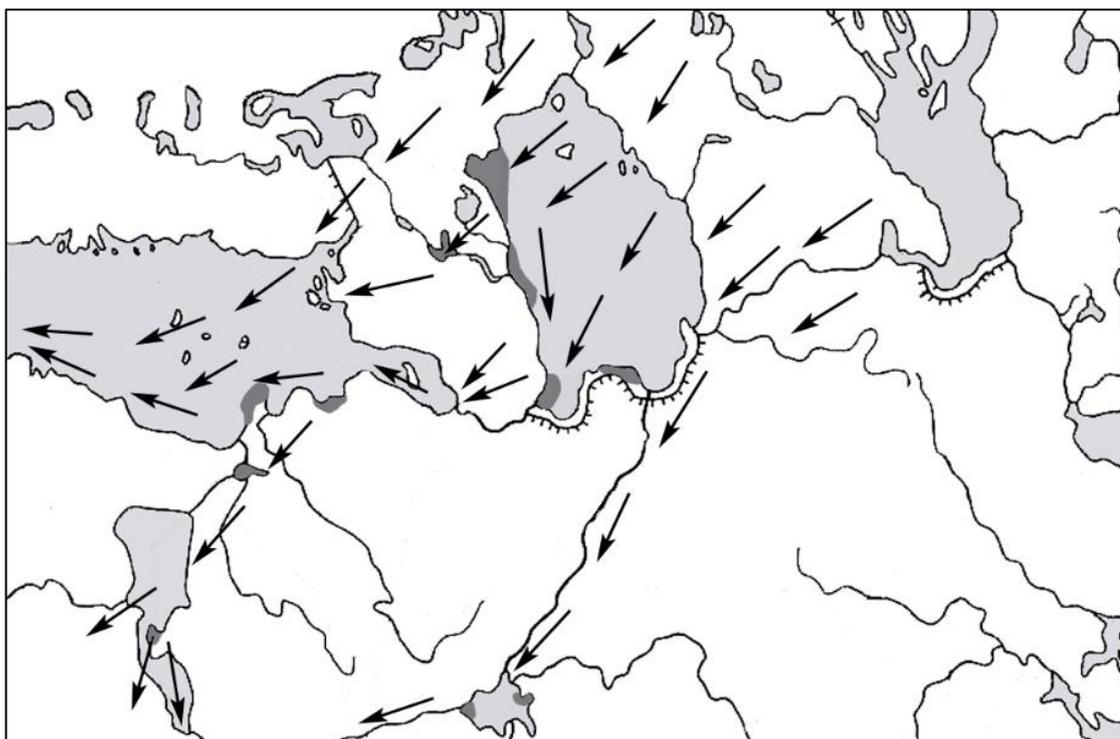


Рисунок 9.2.1. – Направления осенней миграции водоплавающих птиц через Финский залив (цит. по: Носков, 1997)

Видовой состав орнитофауны, пространственное, временное распределение и численность птиц, мигрирующих через акваторию Финского залива, могут значительно варьировать по годам под влиянием целого ряда причин – например, погодных условий, обилия кормов или площади мелководий. Так, в последние годы из-за устойчивых положительных температур в августе-сентябре, многие птицы, задерживаются в акватории Финского залива на протяжении всего октября и в ноябре.

Полученные результаты:

Всего в период наблюдений было зарегистрировано 32 тыс.786 (из них 7.10 – 18 261, 16.10 – 14 525) птиц 31 вида из 7 отрядов (Pelecaniformes, Ciconiiformes, Anseriformes, Falconiformes, Gruiformes, Charadriiformes и Passeriformes).

Из 31 вида, зарегистрированного в дни наблюдений:

- 6 видов птиц занесены в список охраняемых видов IUCN (2019) – малый лебедь *Cygnus bewickii*, красноголовый нырок *Aythya ferina*, морская чернеть *Aythya marila*, гага *Somateria mollissima*, длинноносый крохаль *Mergus serrator*, клуша *Larus fuscus*;

- 4 вида включены в Красную книгу Российской Федерации (2020) – серый гусь *Anser anser*, малый лебедь *Cygnus bewickii*, орлан-белохвост *Haliaeetus albicilla*, клуша *Larus fuscus*;

- 10 видов занесены в Красную книгу животных Ленинградской области (2018) и 5 видов - в списки охраняемых видов HELCOM (2016) (табл. 9.2.1.1).

Хотелось бы отметить, что серебристая чайка *Larus argentatus*, по нашему мнению, была ошибочно внесена в последнюю электронную версию Красной книги IUCN (2020), поэтому мы намеренно не внесли ее в таблицу 9.2.1.

Данный вид распространен повсеместно в Балтийском регионе, и только в российской части акватории Финского залива гнездится не менее 2000 пар. Тем не менее, в очерках, посвященных миграциям на отдельных островах, мы упоминаем серебристую чайку как охраняемый вид.

Таблица 9.2.1 – Перечень зарегистрированных в период осенних наблюдений видов птиц, занесенных в списки охраняемых видов животных разного ранга

	Научное название Scientific name	Красная Книга России Red Data List of Russian Federation	Красная Книга Лен.обл. Red Data Book of Leningrad region	Красная Книга Helcom HELCOM Red list	Красная Книга МСОП IUCN (EU) Red list
	<i>Anser anser</i>	2	L3		
	<i>Cygnus bewickii</i>	3	L5		EU(EN)
	<i>Cygnus cygnus</i>		L3		
	<i>Anas strepera</i>		L3		
	<i>Aythya ferina</i>				EU(VU)
	<i>Anas acuta</i>		L2		
	<i>Aythya fuligula</i>			H (NTb)	
	<i>Aythya marila</i>			H(VUb)	EU(VU)
0	<i>Somateria mollissima</i>		L3	H(ENw;VUb)	EU(VU)
1	<i>Mergus serrator</i>			H (VUb)	EU(NT)
2	<i>Mergus merganser</i>		L4		
3	<i>Mergellus albellus</i>		L4		
4	<i>Haliaeetus albicilla</i>	5	L3		
5	<i>Larus argentatus</i>				EU(NT)
6	<i>Larus fuscus</i>	2	L2	H(VUb)	EU(NT)

Примечание. Категории по Красным книгам:

- IUCN Red List (2019): EN – находящийся в угрожаемом состоянии; VU – уязвимый вид; NT – потенциально уязвимый вид;

- виды, занесенные в Красную книгу Российской Федерации (2020); Категории статуса редкости объектов животного мира: 0 - вероятно исчезнувшие, 1 - находящиеся под угрозой исчезновения, 2 - сокращающиеся в численности и/или распространении, 3 - редкие, 4 - неопределенные по статусу, 5 - восстанавливаемые и восстанавливающиеся;

- Helcom Red List of Baltic Sea species in danger of becoming extinct: Hb – список для гнездящихся видов, Hw – список для зимующих видов; CR – находящийся в критическом состоянии; EN – находящийся в угрожаемом состоянии; VU – уязвимый вид; NT – потенциально уязвимый вид;

- Красная книга природы Ленинградской области. Животные (2018): 0 – вероятно исчезнувший вид; 1 – вид, находящийся в критическом состоянии; 2 — вид с сокращающимся ареалом и численностью; 3 – редкий вид; 4 — вид с неопределенным статусом; 5 – вид, восстанавливающий численность

Среди мигрантов в период наблюдений доминировали представители семейства Anatidae (отряд Гусеобразные Anseriformes), общая численность которых составила 24 035 особей, т.е. 73% от общего числа мигрантов (Рис.9.2.2 – 9.2.3).

Всего отмечено 3 вида гусей, 3 вида лебедей, 13 видов уток.

Из общего числа зарегистрированных видов гусеобразных (19) наиболее многочисленными были свиязь *Anas penelope* (8 578 особей), что составило 36% всех определенных до вида представителей отряда, кряква *Anas platyrhynchos* (1 959), серая утка *Anas strepera* (1 136), хохлатая чернеть *Aythya fuligula* (1 803), гоголь *Vucephala clangula* (1 172 особи) и лебедь-шипун *Cygnus olor* (1 762) (Рис.9.3.4).

Большая часть больших бакланов *Phalacrocorax carbo*, по всей видимости, улетела в более ранние сроки, т.к. для самого многочисленного вида птиц Финского залива (около 17 000-19 000 пар только в акватории российского сектора ФЗ!) наблюдались лишь незначительные скопления – 1 172 особи (всего 4% от всех мигрантов, Рис. 9.2.2, Рис.9.2.5).

Среди представителей отряда Ржанкообразных наиболее многочисленными были сизые чайки *Larus canus*, отмеченные практически повсеместно в оба дня наблюдений. Всего зарегистрировано 3 516 особей, что составило 52% от всех идентифицированных птиц (Рис.3.6- 3.7).

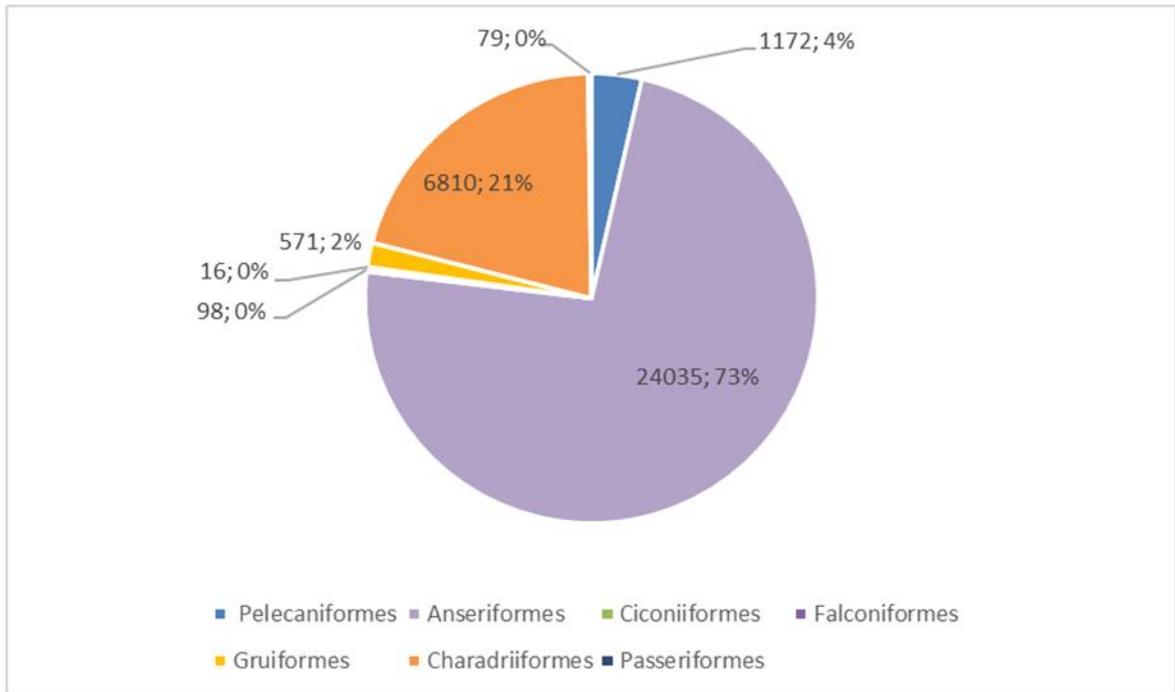


Рисунок 9.2.2 – Численность и процентное соотношение различных отрядов птиц в период наблюдений за осенней миграцией 2020 г.



Рисунок 9.2.3 – Массовая миграция кликунов, крякв, свиязей и гоголей у о.Сескар 7.10.2020 (N60.0303500; E 28.3407100). Фото Ю.Н.Бубличенко

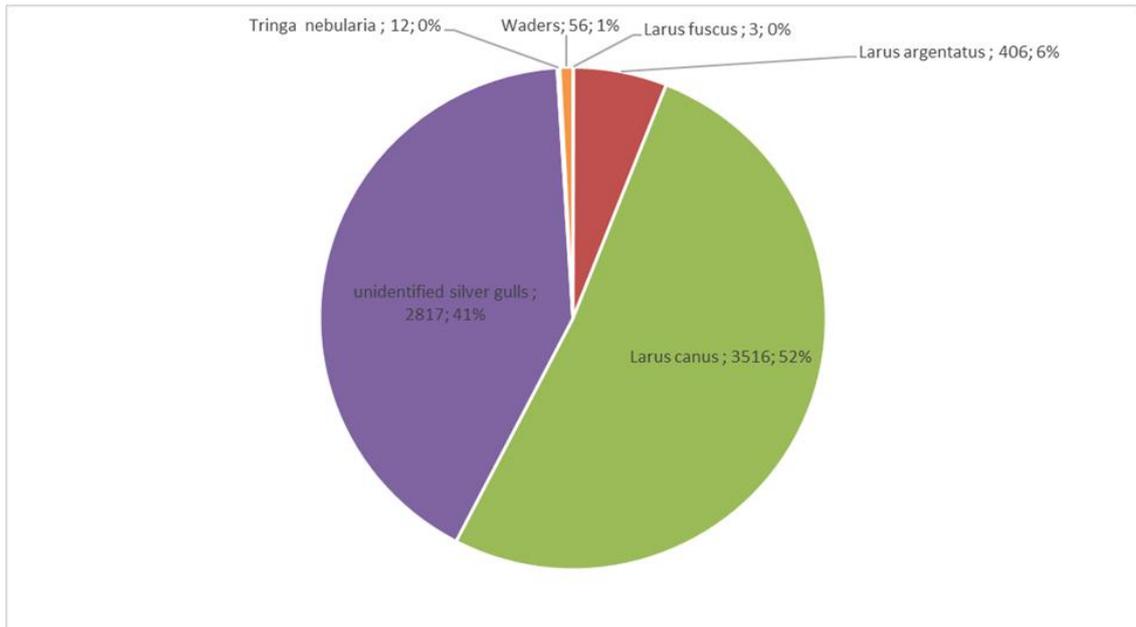


Рисунок 9.2.6 – Видовое соотношение и численность представителей отряда Ржанкообразных в период наблюдений за осенней миграцией 2020 г.

Следует отметить, что несмотря на то, что часть чаек из-за особенностей освещения или удаленности от самолета невозможно было определить до вида, по нашему мнению, значительную их часть также составляли сизые чайки (Рис.9.2.7).



Рисунок 9.2.7 – Сизые чайки и несколько серебристых чаек на отмели у о.Мощный 7.10.2020, (N60.2948100; E 28.7873717). Фото Ю.Н.Бубличенко



Рисунок 9.2.8. – Стая гоголей у о.Б.Тютерс 7.10.2020 (N59.8476383; E 27.1678600).

Фото Ю.Н.Бубличенко

Наиболее крупные стаи отмечены у гоголя *Vucephala clangula* (более 30-40 птиц в стае, Рис.9.2.8), хохлатой чернети *Aythya fuligula* (до 60-80), но самые значительные – у сизой чайки (до 100-150), связи *Anas penelope* (до 100-150) и кряквы *Anas platyrhynchos* (до 60-80). Ранее считалось, что массовый пролет связи осенью приходится на 5-15 сентября, однако судя по полученным данным, пик пролета в 2020 г. пришелся на первую половину октября (7.10. было зарегистрировано 4 318 птиц, 16.10. – 4 260). По всей видимости, растянутые сроки пролета связаны с аномально теплыми осенними температурами 2020 г.

На стоянках часто встречались смешанные стаи кряквы, связи и серой утки *Anas strepera* (Рис.9.2.9). Интересно, что столь массовый пролет серой утки (1 136 особей, т.е. 5% от всех зарегистрированных в дни наблюдений птиц) в российском секторе Финского залива зарегистрирован впервые.

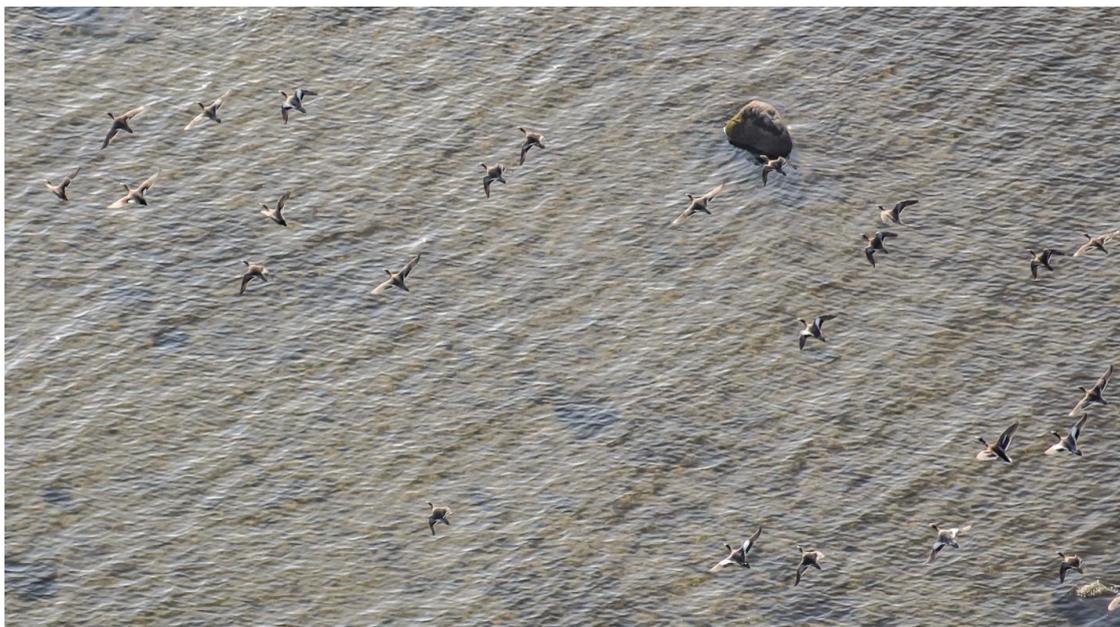


Рисунок 9.2.9 – Фрагмент смешанной стаи уток (связи, кряквы, серые утки) у о.Сескар (N60.0188083; E 28.3355383). Фото Ю.Н.Бубличенко

Довольно крупные стаи (от 15-20 до 40-60 особей) были характерны для лебедя-шипунa *Cygnus olor* (Рис. 9.2.10). Для лебедя-кликунa *Cygnus cygnus* напротив, были отмечены лишь небольшие стаи (в среднем до 15-20 особей), причем многие из них – совместно с малым лебедем *Cygnus bewickii*, численность которого в эти дни на пролете была крайне мала (всего 57 особей на всей обследованной акватории). Гуси (гуменник *Anser fabalis*, белолобый *Anser albifrons* и серый *Anser anser*) также были немногочисленны на пролете в данный период (общая численность 3 видов на пролете составила менее 100 особей), что вероятно, также связано с растянутыми сроками пролета из-за теплой осени. Большинство других птиц встречались стаями не менее 15-30 особей.



Рисунок 9.2.10 – Стая лебедей-шипунув в Лужской губе 7.10.2020

(N59.8042583; E 28.4482567). Фото М.В.Веревкина

Отмечено резкое снижение численности серебристой чайки *Larus argentatus* (Рис.9.2.11) (всего 406 встреч) и клуши *Larus fuscus* (3 встречи), еще в недавнем прошлом обычных, и даже многочисленных птиц Финского залива. Аналогичную картину снижения численности серебристой чайки и клуши, начиная с начала 2000-х гг. наблюдают и на островах финской части акватории залива, что связывают с кишечными инфекциями чаек, связанными с попаданием в организм органохлоринов, а в ряде случаев – с птичьей холерой.

Заметное снижение численности клуши зарегистрировано не только на Финском заливе, но и во всех частях ареала.

В первый день наблюдений (7.10.2020) было выявлено 8 наиболее крупных мест концентрации водоплавающих птиц на стоянках (Рис.9.2.12): это - Копорская губа, Усть-Лужская губа, Нарвский залив, Кургальский полуостров с островами Кургальского Рифа, о.Сескар, о.Мощный, о.Малый, район материкового побережья Лебяжье - Черная Лахта.

Несколько меньшее количество стай зарегистрировано у островов Большой Тютерс и Малый Тютерс. Небольшие единичные стаи отмечены у берегов островов Родшер, Гогланд, Соммерс, у банки Вигрунд.



Рисунок 9.2.11 – Молодая серебристая чайка у о.Малый 7.10.2020.
(N60.0393517; E 27.9953800). Фото Ю.Н.Бубличенко

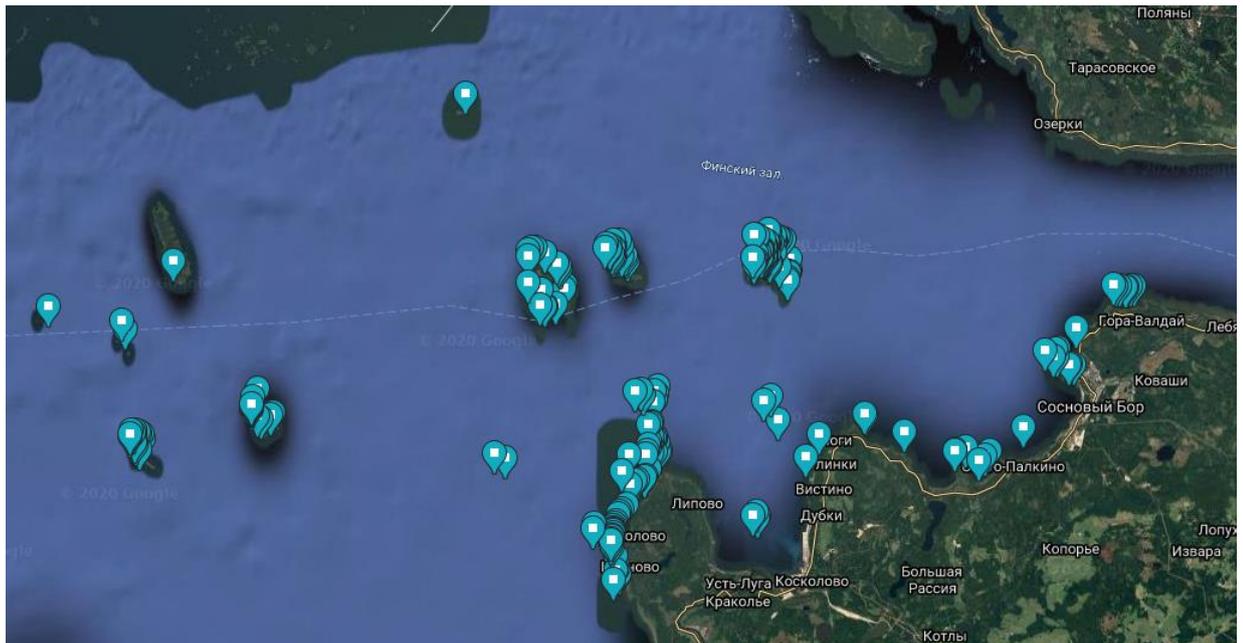


Рисунок 9.2.12 – Точки фиксации наиболее крупных миграционных стай
водоплавающих птиц в зоне учетов (<https://goo.gl/maps/Kf5WpJ5nHntb2woE9>) 7.10.2020.

Во второй день наблюдений (16.10.2020) наиболее значительные скопления мигрантов были обнаружены также вдоль материкового побережья от Лебяжьего - Черной Лахты до Кургальского полуострова с островами включительно, на Сескаре, Мощном и Малом, а также на Березовых островах; несколько меньшее количество стай отмечено у островов Большой Тютерс и Малый Тютерс (Рис.9.2.13).

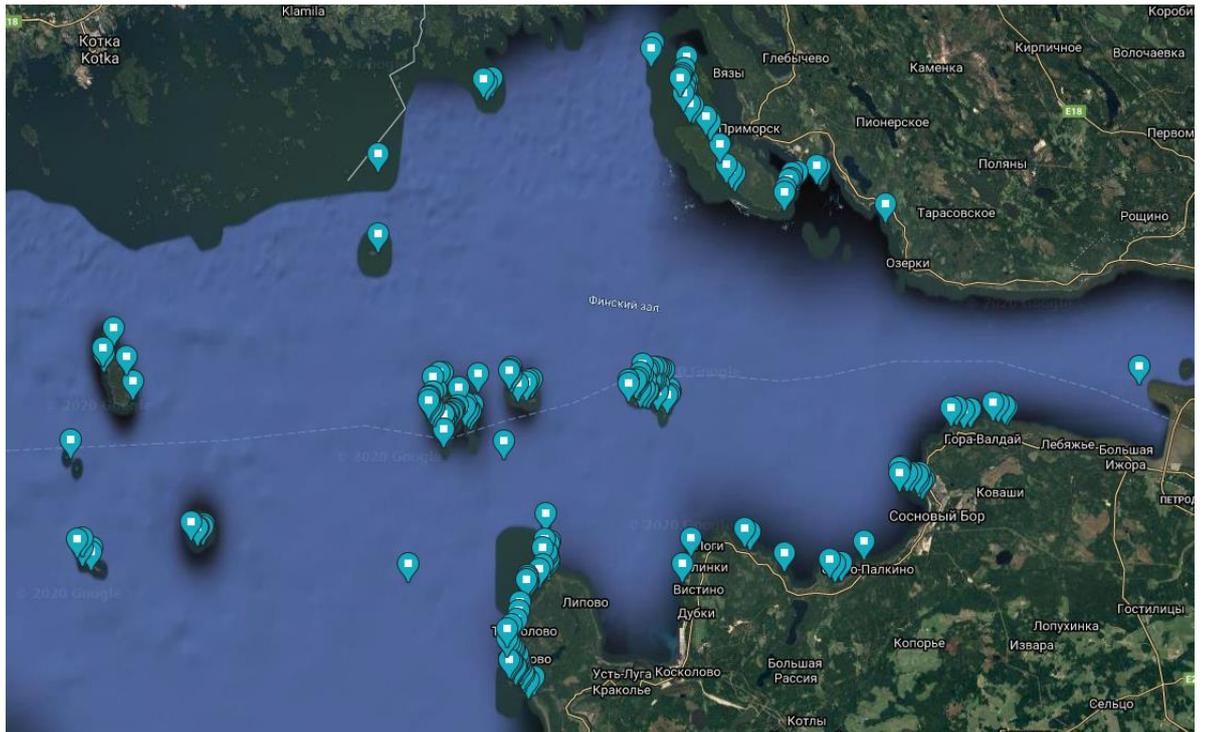


Рисунок 9.2.13 – Точки фиксации наиболее крупных миграционных стай водоплавающих птиц в зоне учетов (<https://goo.gl/maps/ZjwwPnL8amV9jW389>) 16.10.2020.

Единичные стаи зарегистрированы у островов Гогланд, Родшер, Южный и Северный Виргины, Коммерс, Котлин, на архипелаге Большой Фискар, у банки Вигрунд.

Известно, что сроки осенней миграции водоплавающих птиц в данном регионе сильно растянуты (приблизительно с середины-конца августа до конца октября-начала ноября; очевидно, в связи с этим во время осенних авиучетов нами были зарегистрированы интенсивные миграции целого ряда видов водоплавающих и околоводных птиц: свиязи, кряквы, гоголя, серой утки, хохлатой чернети, сизой чайки. На некоторых участках отмечены также значительные скопления лысухи *Fulica atra* (Рис.9.2.14), большого баклана. Зарегистрированы активные осенние кормовые перемещения орлана-белохвоста *Haliaeetus albicilla* (Рис.9.2.15 – 9.2.16), который в теплые зимы при отсутствии льда может зимовать на Финском заливе.

В период наблюдений были также отмечены кочевки серой вороны *Corvus (corone) cornix* (Рис.9.2.17).

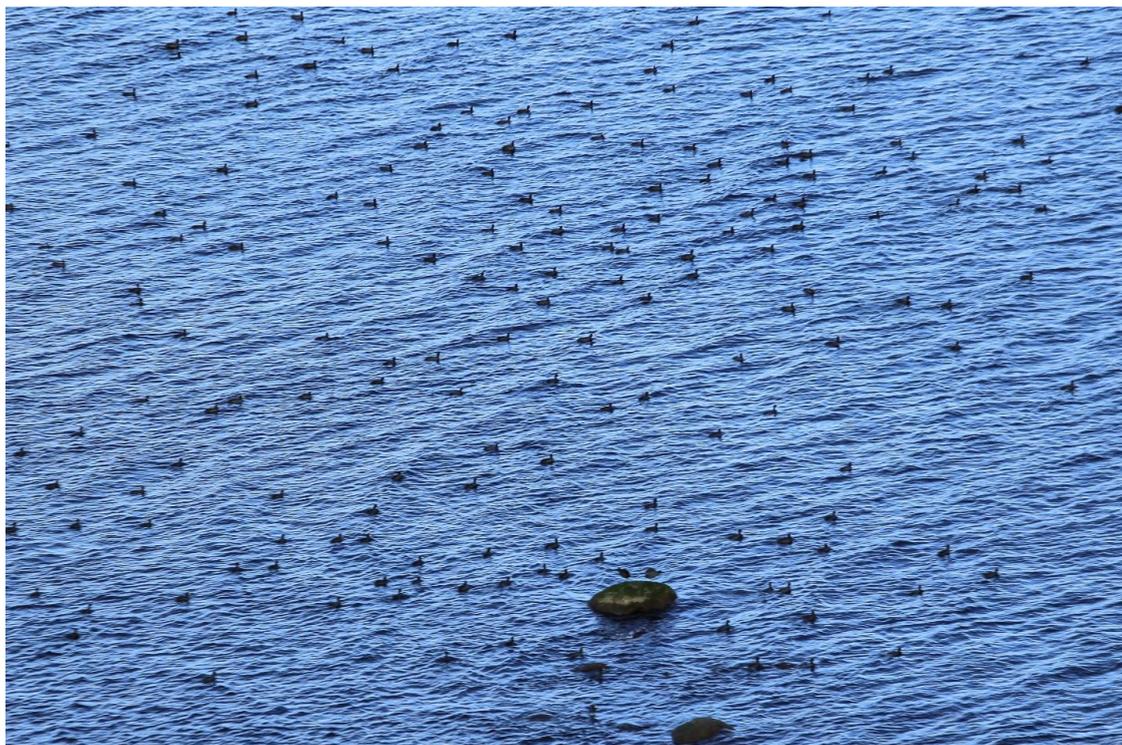


Рисунок 9.2.14. – Скопления лысухи в Копорской губе (59.8151033; 28.9038533).

Фото М.В.Веровкина



Рисунок 9.2.15 – Два орлана-белохвоста на о.Хангелода (о-ва Кургальского Рифа)
(59.8120633; 28.0898150) 7.10.2020. Фото Ю.Н.Бубличенко



Рисунок 9.2.16 – Два орлана-белохвоста на маяке о.Малый (60.0214933 28.0125983)
16.10.2020. Фото Ю.Н.Бубличенко



Рисунок 9.2.17 – Серые вороны у о.Кокор (рядом с о.Сескар) (N60.0136750;
E28.3191883). Фото Ю.Н.Бубличенко

Для лебедя-шипунa и кликуна на Финском заливе характерно растянутая миграционная активность у разных возрастных групп, в связи с поздней половозрелостью и особенностями миграции. Бóльшая часть молодых птиц становится способным к полету

лишь к середине октября. Выводки покидают места гнездования с 2-ой половины октября до 1-ой декады ноября.

У побережья Кургальского полуострова выводки кликунов встречаются до конца ноября. Основной пролет половозрелых особей приходится на вторую-третью декаду октября.

Во время авиаучетов были зарегистрированы как стаи взрослых лебедей обоих видов, так и молодых (Рис.9.2.18 – 9.2.22).



Рисунок 9.2.18 – Лебеди-шипунуны в Копорской губе (N 60.0374367, E 27.9947100)

Фото Ю.Н.Бубличенко



Рисунок 9.2.19 – Лебеди-шипунуны у островов Курголовской реймы (N59.804495, E28.077302). Фото Ю.Н.Бубличенко



Рисунок 9.2.20 –Лебеди-шипуны с молодыми птицами у о.Малый (N 59.7995133, E 26.9104433). 7.10.2020. Фото Ю.Н.Бубличенко



Рисунок 9.2.21 –Лебеди-шипуны с молодыми птицами у о.Большой Фискаар 16.10.2020 (60.407568, 27.941520). Фото Ю.Н.Бубличенко

Белолобые гуси и гуменники, как правило, проходят транзитом Нарвский залив и значительную часть акватории Финского залива и не используют его побережья или акваторию для остановок. По этой причине во время авиаучетов скоплений гусей не было выявлено.



Рисунок 9.2.22 – Лебеди-кликунуны с молодыми птицами у западного берега Кургальского полуострова 16.10.2020 (59.6624133, 28.0165883). Фото Ю.Н.Бубличенко

Таким образом, всего в дни наблюдений было отмечено 16 основных мест скоплений водоплавающих птиц на кормежке, отдыхе и на гнездовых участках (Рис. 9.3.23): Лебяжье - Черная Лахта, Копорская губа, Кургальский полуостров с островами Кургальского Рифа, о.Сескар, о.Мощный, о.Малый, в меньшей степени - архипелаг Большой Фискар, острова Родшер, Южный и Северный Виргины, Гогланд, Большой Тютерс, Малый Тютерс, Березовые острова, Халикарти, Котлин.

Самые крупные скопления птиц были отмечены на о.Сескар (6 711 птиц – 7.10.20 и 4 267 – 16.10.20). Кроме того, крупные скопления птиц на воде и у побережья островов были отмечены на островах Кургальского Рифа, о.Реймосар, на о.Мощный, о.Малый, (Рис.9.2.23), причем стаи птиц были зарегистрированы в оба дня наблюдений (Рис.9.2.23).

Все отмеченные места отдыха и кормежки водоплавающих располагались на многочисленных мелководьях вокруг островов Финского залива или на береговых участках, несколько реже – на одиночных крупных камнях, выступающих из воды, или на «банках». Массовые миграции уток, чаек и лебедей, помимо островов и Кургальского полуострова зарегистрированы в Усть-Лужской губе, Копорской губе и в районе Лебяжье-Черная Лахта-Шепелево. Полученные данные полностью согласуются с известными литературными сведениями.

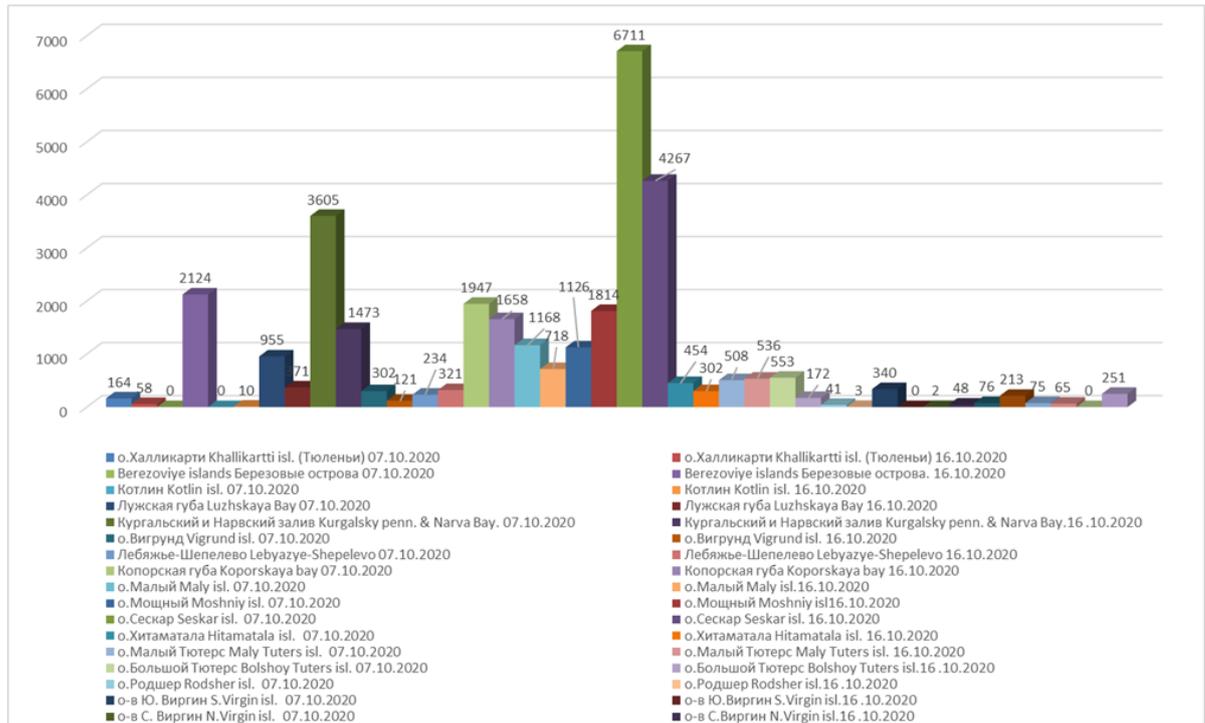


Рисунок 9.2.23 – Численность водоплавающих и околоводных птиц в российской части Финского залива в период наблюдений в октябре 2020 г.

Отмечен некоторый рост численности мигрирующих птиц на архипелаге Березовые острова в сравнении с предыдущими годами наблюдений. Редкие виды птиц, занесенные в Красные книги различного ранга, обнаружены в основном на островах Кургальского Рифа, в Копорской губе, в Нарвском заливе, на островах Мощный, Сескар, Малый, М.Тютерс. Отмечено катастрофическое снижение численности – как и на всем протяжении ареала вида, занесенного в 2020 году в новую редакцию Красной книги РФ и IUCN, а также некоторое снижение численности серебристой чайки в сравнении с предыдущими годами исследований.

Ниже приведены более подробные результаты наших наблюдений за миграциями водоплавающих птиц, обнаруженным в период наблюдений на островах и материковом побережье в российском секторе Финского залива.

Остров Гогланд. На острове и окружающей его акватории слабо представлен комплекс мигрирующих водоплавающих и околоводных птиц, что обусловлено отсутствием прибрежных зарослей макрофитов и прогреваемой зоны мелководий, с хорошими кормовыми и защитными условиями; большая часть побережий представлена скалистыми участками (Рис.9.2.24) с большими прибрежными глубинами, мало пригодными для кормежки птиц. Мигрирующие стаи гусей, казарок, лебедей, журавлей, а

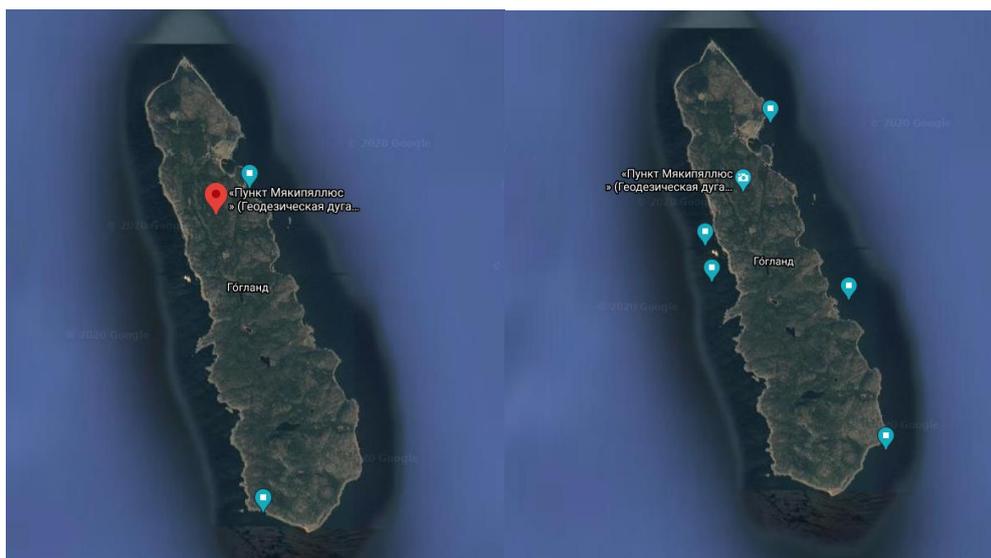
также гагар пересекают Гогланд транзитом: весной с запада на восток на значительной высоте, осенью — в обратном направлении.

В дни наблюдений были отмечены лишь единичные стаи птиц, которые отдыхали в бухтах острова (Рис.9.2.25 а,б). В первый день наблюдений было отмечено 76 птиц 4 видов, во второй - 213 птиц также 4 видов.

Из них большую часть составляли сизые чайки. Стаи отмечены вдоль западного и восточного побережий острова (Рис.9.2.26).



Рисунок 9.2.24 – Скалистые берега о.Гогланд. Фото Ю.Н.Бубличенко



а) б)

Рисунок 9.2.25 – Стаи птиц, зарегистрированные у берегов о.Гогланд:

а) 7.10.2020, б) 16.10.2020.



Рисунок 9.2.26 – Большие крохали у западного берега о.Гогланд
(60.0416300, 26.9681317). Фото Ю.Н.Бубличенко

Обнаружены виды, занесенные в Красные книги разных рангов: морская чернеть, большой крохаль (Рис.9.2.26)

Остров Большой Тютерс входит в состав заповедника «Восток Финского залива». Осенние миграции водоплавающих птиц здесь детально изучались в 1996 г. и, в некоторой степени в 2012-2013 гг и 2015-2016 гг. во время судовых учетов. Известные в литературе сведения позволяют предположить, что большая часть мигрантов идет через данный участок акватории транзитом, не останавливаясь в этом районе на отдых или кормежку. Околоводные и водоплавающие птицы, как уже говорилось, предпочитают не скалистые побережья, а мелководья с пологими песчаными или галечниковыми пляжами. Во время наблюдений вблизи острова было зарегистрировано 553 (7.10.20) и 172 птицы (16.10.20) 10 видов (Рис.9.2.27).

Как видно из Рис.9.2.27, наиболее многочисленными были гоголи (Рис.9.2.8) и сизая чайка. Отмечены немногочисленные стаи 6 видов уток (Рис.9.2.28 – 9.2.29), лебедей-шипун и кликунов. Основные места стоянок птиц приведены на рисунке 9.3.30 а, б.

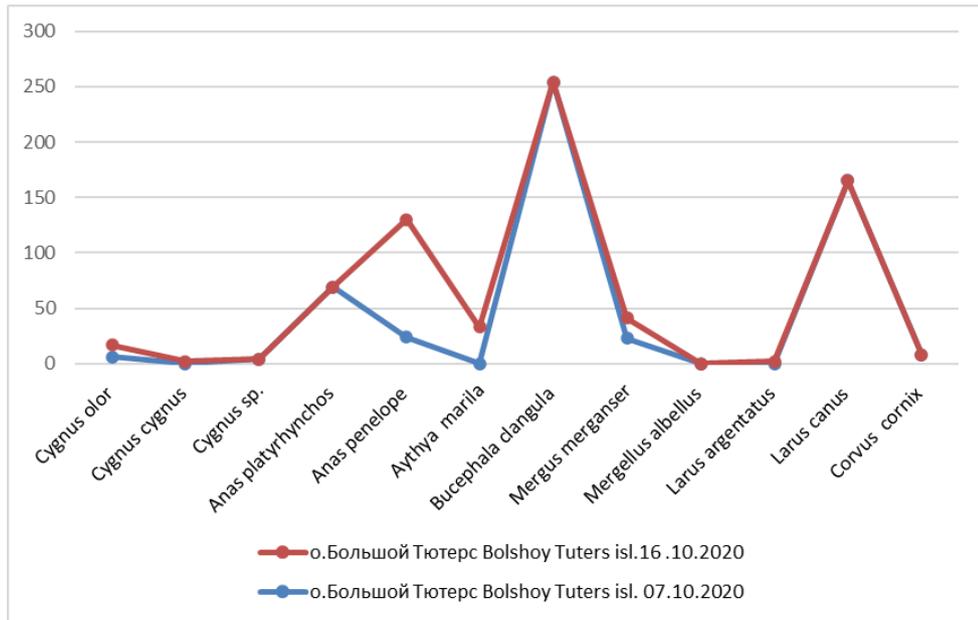


Рисунок 9.2.27 – Видовое разнообразие и численность птиц, зарегистрированных в период наблюдений 2020 г.

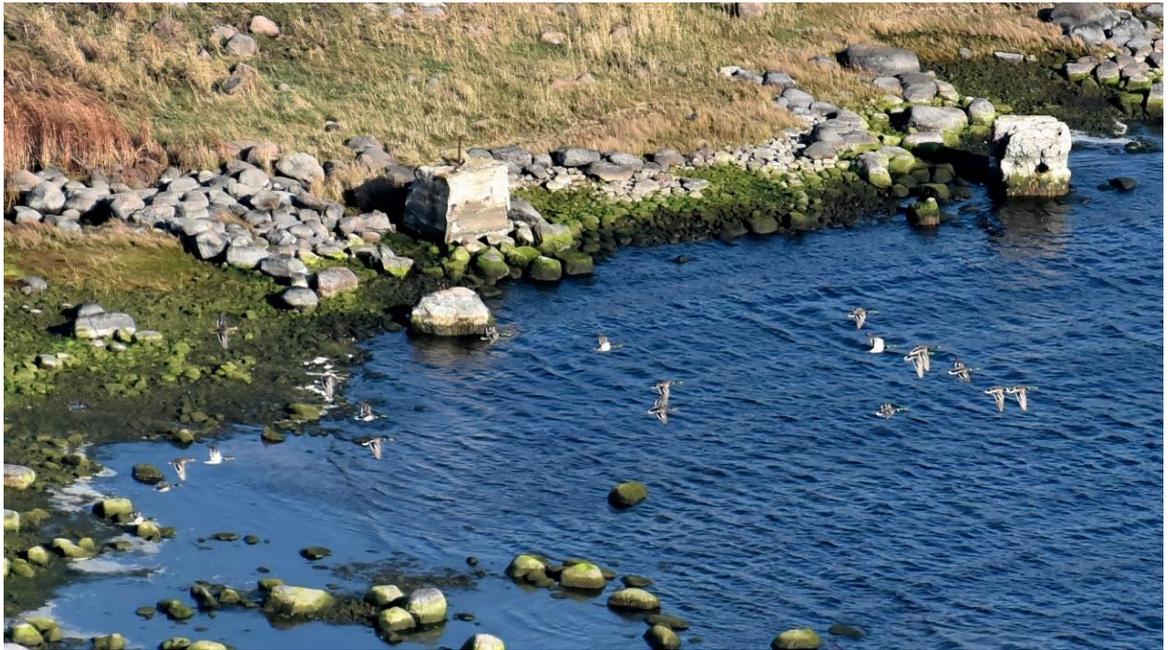


Рисунок 9.2.28 – Кряквы у о.Б.Тютерс (59.8349000 27.1813817) 7.10.2020.

Фото Ю.Н.Бубличенко



Рисунок 9.2.29 – Большие крохали, морские чернети и гоголи у о.Б.Тютерс (59.8459617 27.1684350) 7.10.2020. Фото Ю.Н.Бубличенко

Из всех зарегистрированных в дни наблюдений птиц 6 видов занесены в Красные книги разных рангов: лебедь-кликун, морская чернеть, гоголь, луток, большой крохаль, серебристая чайка.



а) б)

Рисунок 9.2.30 – Стаи птиц, зарегистрированные у берегов о.Большой Тютерс: а) 7.10.2020, б) 16.10.2020.

Остров Малый Тютерс входит в состав заповедника «Восток Финского залива». Характерной особенностью острова является длинная песчаная коса, расположенная на его южной оконечности, вокруг которой находится обширная зона мелководий. Литературные

сведения по мигрирующим здесь видам птиц немногочисленны, но свидетельствуют о том, что бóльшая часть стай летит над островом и акваторией транзитом.

Во время наблюдений было зарегистрировано всего 1 048 птиц 11 видов (508 особей 7.10.2020 г. и 536 – 16.10.2020) (Рис.9.2.31). Отмечены на мелководьях стаи кряквы, гоголей, хохлатой чернети, крохалей; на песчаной косе и россыпях камней держались сизые и серебристые чайки. Значительная часть лебедей-шипунов держалась с подростками этого года рождения (Рис.9.2.32). Наиболее многочисленными были гоголь (260) и сизая чайка (304). Места скоплений птиц представлены на рисунке 9.2.33 (а, б).

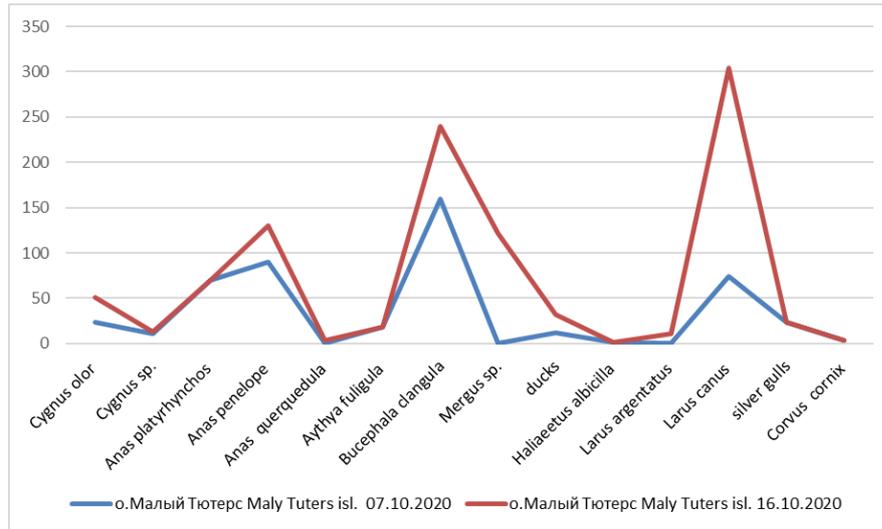


Рисунок 9.2.31 – Видовое разнообразие и численность птиц, зарегистрированных на о.Малый Тютерс в период наблюдений 2020 г.



Рисунок 9.2.32 – Лебедь-шипун с выводком у о.М.Тютерс (59.8131567; 26.9204017) 16.10.20. Фото М.В.Веревкина



а)



б)

Рисунок 9.2.33 – Стаи птиц, зарегистрированные у берегов о.Малый Тютерс:
а) 7.10.2020, б) 16.10.2020.

Обнаружены виды, занесенные в Красные книги разных рангов: гоголь, хохлатая чернеть, серебристая чайка, орлан-белохвост (Рис.9.2.34).



Рисунок 9.2.34 – Орлан-белохвост над о.Малый Тютерс (59.8126133 26.9282717)
7.10.2020. Фото Ю.Н.Бубличенко

Остров Родшер (Рис.9.2.35). Несмотря на то, что во время весенних миграций вокруг острова скапливается значительное число водоплавающих и околоводных птиц (Отчет по авиаучетам 2020 г., май-июнь), а в августе-сентябре во время судовых учетов 2020 г. мы также наблюдали скопления птиц у берегов острова, в период наблюдений здесь было отмечено всего 44 птицы (41 – 7.10.20 и 3 – 16.10.20) 2-х видов, причем 39 из них составляли чайки. Места встреч птиц представлены на рисунке 9.2.36 (а, б)

Всего из зарегистрированных здесь птиц занесены в Красную книгу Ленинградской области - 1 вид (большой крохаль), в списки МСОП – 1 вид (серебристая чайка).



Рис.9.2.35 – Береговая зона о.Родшер. Фото Ю.Н.Бубличенко



а)

б)

Рисунок 9.3.36. - Стаи птиц, зарегистрированные у берегов о.Родшер:

а) 7.10.2020, б) 16.10.2020.

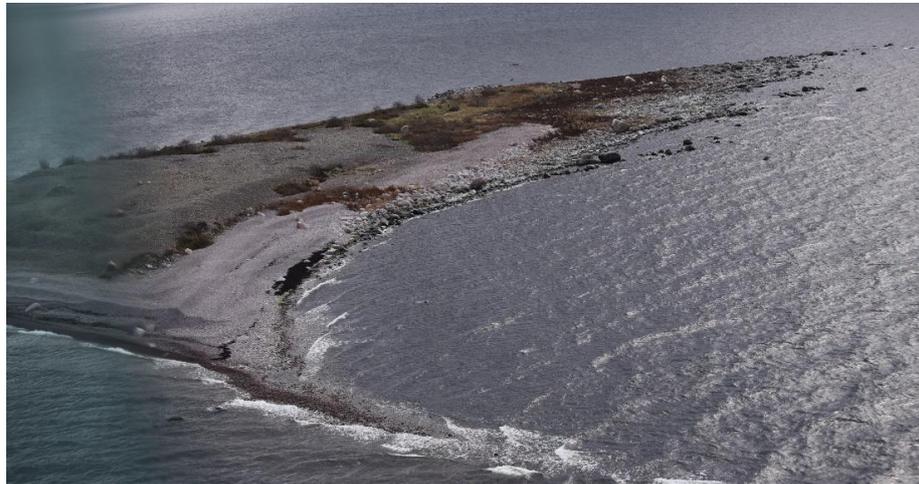
Острова Южный и Северный Виргини. Два небольших островка, общая площадь которых составляет 4 га, находятся в 1 900 м друг от друга (Рис.9.2.37) и входят в состав заповедника «Восток Финского залива». Несмотря на малую площадь, острова и окружающие их мелководья активно используются водоплавающими птицами для гнездования и, в меньшей степени, - для отдыха и кормежки мигрантов. Не смотря на то,

что во время весенних миграций вокруг островов, как и у берегов о.Рошер, скапливается значительное число водоплавающих и околоводных птиц (Отчет по авиаучетам 2020 г., май-июнь), и в августе-сентябре во время судовых учетов 2020 г. мы также наблюдали скопления птиц у берегов острова, во время осенних наблюдений в октябре здесь было зарегистрировано всего 340 чаек (преимущественно сизых) на о. Ю.Виргин 7.10.20, а на о. С.Виргин, за два дня – 50 птиц, 48 из которых также составляли сизые чайки. Виды, занесенные в Красные книги разного ранга, не обнаружены.

Места встреч птиц в дни наблюдений приведены на рисунке 9.2.38.



а)



б)

Рисунок 9.3.37 – а) о.Северный Виргин, б) о.Южный Виргин. Фото Ю.Н.Бубличенко



а)



б)

Рисунок 9.2.38 – Места встреч птиц, зарегистрированных у арх.Виргины:

а) 7.10.2020, б) 16.10.2020

Кургальский полуостров вместе с прилегающими к нему **островами Кургальского Рифа и островом Реймосар** является уникальным местом обитания множества видов птиц. Вся обследованная прибрежная территория и окружающие полуостров небольшие острова входят в состав природного комплексного заказника «Кургальский». За годы предыдущих исследований было показано, что значительная часть мигрантов (в первую очередь, синьга, турпан, морянка, гуси, казарки, арктические виды куликов) следуют через полуостров транзитом, делая основные стоянки у островов Мощный, Сескар и Малый; тем не менее, мелководья вокруг островов Кургальского Рифа также являются важным местом стоянок и кормежки ряда других видов водоплавающих и околоводных птиц.

Особо важными для мигрантов являются участки акватории в Нарвском заливе (Рис.9.2.39) и в Усть-Лужской губе (несмотря на функционирование порта Усть-Луга) (Рис. 9.2.40 – 9.2.41).



Рисунок 9.2.39 – Массовые скопления птиц в Нарвском заливе у берегов о.Реймосар (59.6571067; 28.0002633): на переднем плане утки и чайки разных видов, на дальнем плане на дереве – 2 орлана-белохвоста. Фото М.В.Веревкина



Рисунок 9.2.40. – Стая сизых чаек в Лужской губе у северо-западного побережья Сойкинского полуострова (59.8233517; 28.4631800). Фото Ю.Н.Бубличенко



Рисунок 9.2.41 – Лебеди-кликуны в Лужской губе у северо-западного побережья Сойкинского полуострова (59.8056083 28.4480583). Фото Ю.Н.Бубличенко

Всего у берегов Кургальского полуострова было отмечено 18 видов птиц из 4 отрядов (рис.9.2.42); доминировали здесь представители отряда гусеобразных (Anseriformes) (11 видов, 76% от общей численности).

Общая численность зарегистрированных птиц составила порядка 5 078 особей (3 605 - в первый день учетов (включая о.Реймосар) и 1 473 – во второй (Рис. 9.2.42)).

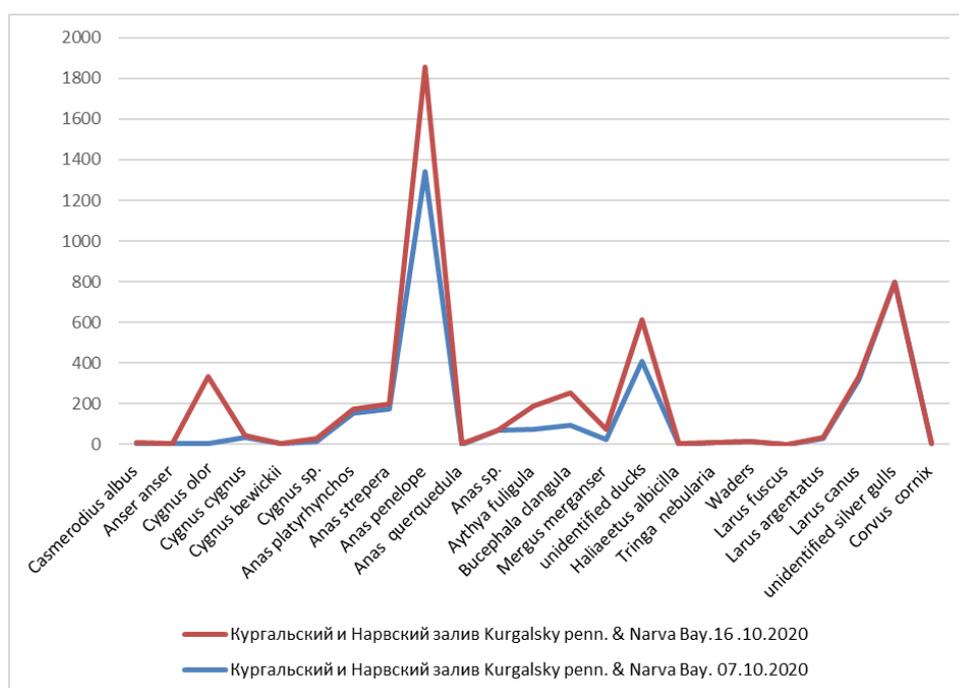


Рисунок 9.2.42 – Видовое разнообразие и численность птиц, зарегистрированных у берегов Кургальского полуострова в период наблюдений 2020 г.

Среди гусеобразных преобладали: свиязь, лебедь-шипун, кряква (Рис.9.2.43), серая утка (Рис.9.2.44), гоголь, в меньшей степени – большой крохаль, чирки, лебеди – кликун и малый. Самые крупные стаи численностью до 80-100 особей отмечены у свиязи (всего за 2 дня наблюдений зарегистрировано 1 856 особей) (Рис.9.2.45).



Рисунок 9.2.43 – Стая крякв у островов Кургальского Рифа (59.8055467; 28.0818517) 7.10.20. Фото Ю.Н.Бубличенко



Рисунок 9.2.44. – Фрагмент стаи серой утки у западного побережья Кургальского п-ва (59.7024050; 27.9939350) 7.10.20. Фото Ю.Н.Бубличенко

Отмечены крупные скопления шипунов у северного и западного побережий полуострова. Часть птиц имели местное происхождение и держались с подросшими выводками (по нашим данным весенних авиаучетов 2020 г. здесь гнездились весной 13 пар

шипун) (Рис.9.2.46). Самыми многочисленными представителями отряда ржанкообразных были, как и на остальных участках в период наблюдений, сизые чайки (332 особи) (Рис.9.2.47). В оба дня наблюдений (рисунки 9.3.13, 9.3.37, 9.3.46) регистрировали орланов-белохвостов (по 1-2 птицы).

По всей видимости, о.Хангелода и другие острова Кургальского Рифа являются местом постоянной охоты этого вида (Рис.9.2.13, 9.2.48 – 9.2.49).

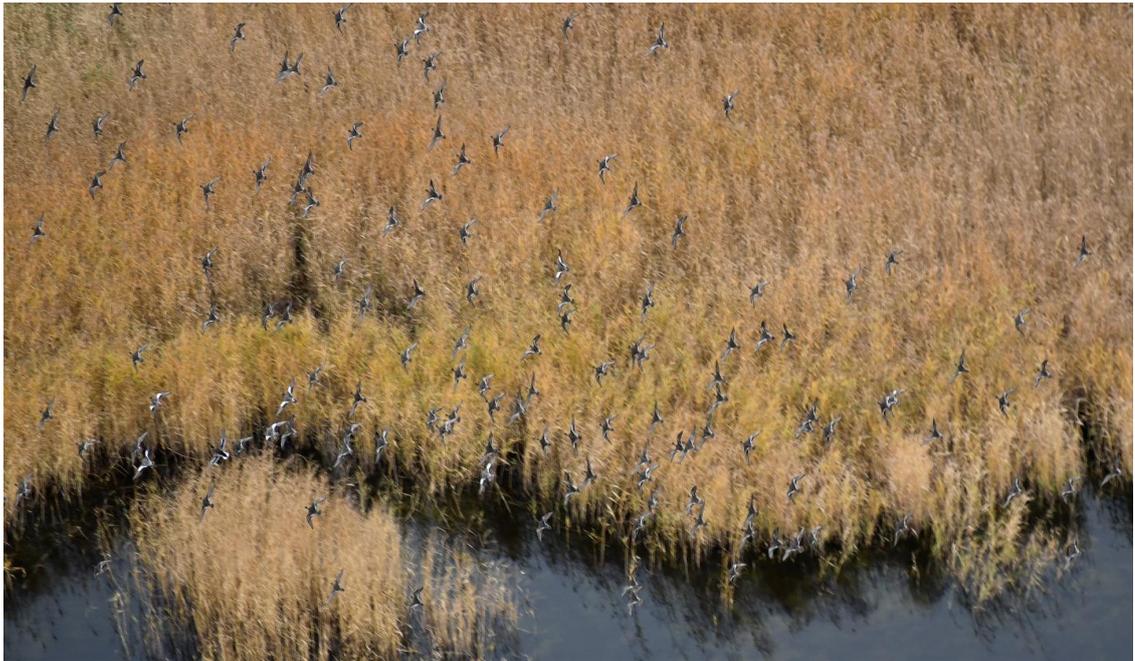


Рисунок 9.2.45. – Фрагмент стаи связи у западного побережья Кургальского п-ва (59.6554450 28.0198400) 16.10.20. Фото Ю.Н.Бубличенко



Рисунок 9.2.46 – Лебеди-шипуны с выводком у о.Хангелода (59.8099633; 28.0940250) 16.10.20. Фото Ю.Н.Бубличенко



Рисунок 9.2.47 – Сизые чайки и одна молодая серебристая чайка (вверху справа)
(59.6564100 27.9998567) 16.10.20. Фото Ю.Н.Бубличенко



Рисунок 9.2.48 – Орлан-белохвост у о.Хангелода (о-ва Кургальского Рифа)
(59.8164933; 28.0860117) 16.10.2020. Фото Ю.Н.Бубличенко

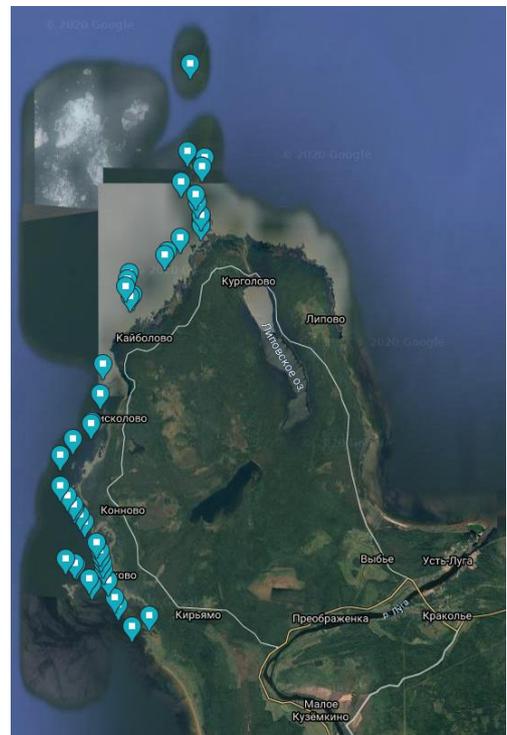


Рисунок 9.2.49 – Орлан-белохвост на о.Хитаматала (вблизи о-вов Кургальского Рифа)
(59.8564900; 28.0937250) 7.10.2020. Фото М.В.Веревкина

Места наибольших скоплений птиц в дни наблюдений представлены на рисунке
9.2.50.



а)



б)

Рисунок 9.3.50 – Места встреч птиц, зарегистрированных у Кургальского
полуострова: а) 7.10.2020, б) 16.10.2020 г.

Необходимо также отметить, что большая белая цапля стала постоянным обитателем данного участка побережья и встречается на полуострове как в гнездовой период, так и во время сезонных миграций.

Из всех зарегистрированных на данном участке видов птиц 5 занесены в Красную книгу Ленинградской области (орлан-белохвост, серый гусь, лебедь-кликун, серая утка, большой крохаль), 1 вид – в списки охраняемых видов HELCOM (хохлатая чернеть) и 3 вида (малый лебедь, серый гусь, орлан-белохвост) – в Красную книгу Российской Федерации (2020).

Остров Сескар. Входит в состав заповедника «Восток Финского залива».

На площади до 4-5 км к западу и северо-западу от острова находится каменистая отмель площадью 8 км² с глубинами менее 5 м, где расположено множество мелких островков, привлекающих птиц во время сезонных миграций (Рис.9.2.51).

Общая численность птиц, зарегистрированных в акватории и на отмелях, составила 10 978 особей, что составило 33,5% от общего числа зарегистрированных в дни наблюдений птиц; они были представлены 24 видами (Рис. 9.2.52) – т.е. в период работ видовое разнообразие и численность птиц на о.Сескар оказалось выше, чем на островах Кургальского заказника, что полностью совпадает с литературными сведениями.

Наиболее многочисленными видами были свиязь (2710 особей за 2 дня наблюдений) (Рис.9.2.53), лебеди трех видов (1203) (Рис.9.3.54-3.55), серая утка (712), кряква (751) (Рис.9.2.56), хохлатая чернеть (735), большой баклан (610 птиц), гоголь (268). Кроме того, были обнаружены 4 вида ржанкообразных (1 185 особей), где доминировала сизая чайка (Рис.9.2.57). Здесь же зарегистрирована 1 встреча клуши и самое большое число достоверно определенных встреч серебристой чайки (69). Численность и видовое соотношение птиц в дни наблюдений представлены на рисунке 9.2.52.

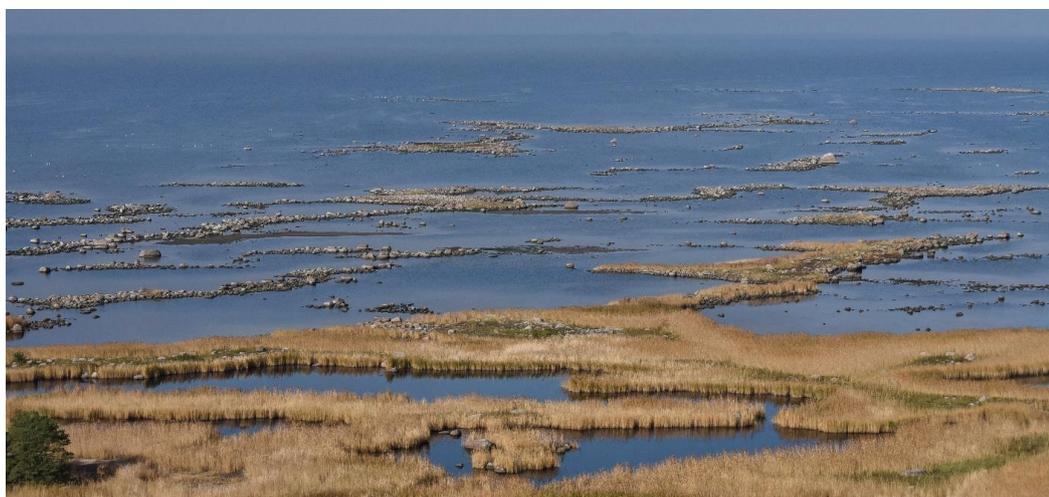


Рисунок 9.2.51 – Мелководья у о.Сескар. Фото Ю.Н. Бубличенко

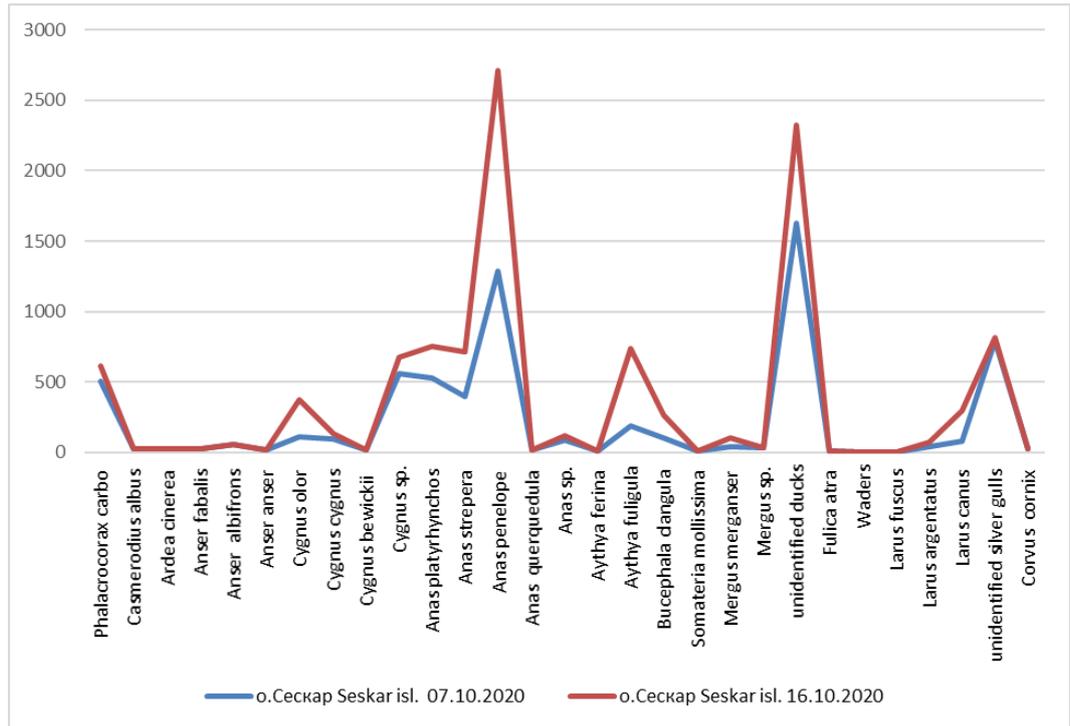


Рисунок 9.2.52 – Видовое разнообразие и численность птиц, зарегистрированных у о.Сескар в период наблюдений 2020 г.



Рисунок 9.2.53 – Связи, серые утки и кряква, летящие у о.Сескар (60.0379333; 28.3379400) 7.10.2020. Фото Ю.Н. Бубличенко



Рисунок 9.2.54 – Лебеди-кликуны, летящие у о.Сескар
(60.0156000; 28.3738433) 16.10.2020. Фото Ю.Н. Бубличенко



Рисунок 9.2.55 – Лебеди-шипуны (на переднем плане 2 молодые птицы) у о.Сескар
(60.0359567; 28.3787650) 16.10.2020. Фото Ю.Н. Бубличенко



Рисунок 9.2.56 – Кряквы у о.Сескар (60.0339033; 28.3499150) 7.10.2020 г.

Фото Ю.Н. Бубличенко



Рисунок 9.2.57 – Сизые чайки у о.Сескар (60.0393667; 28.3350067) 7.10.2020.

Фото Ю.Н. Бубличенко

На о.Сескар в дни наблюдений было зафиксировано самое большое число больших бакланов (Рис.9.2.58) и больших белых цапель (24) (Рис.9.2.59). Серые цапли (23 особи) на пролете были зафиксированы только на о.Сескар. Кроме того, именно здесь зафиксировано наибольшее количество встреч гусей (серого, гуменника, белолобого гуся), гаги и красноголового нырка (Рис.9.2.52).



Рисунок 9.2.58. – Большие бакланы у о.Сескар (60.0493133; 28.3478117) 7.10.2020 г.

Фото Ю.Н. Бубличенко



Рисунок 9.2.59 – Большие белые цапли у о.Сескар (60.0493133; 28.3478241) 7.10.2020 г.

Фото Ю.Н. Бубличенко

Места основных скоплений птиц в период наблюдений представлены на рисунке 9.3.60.

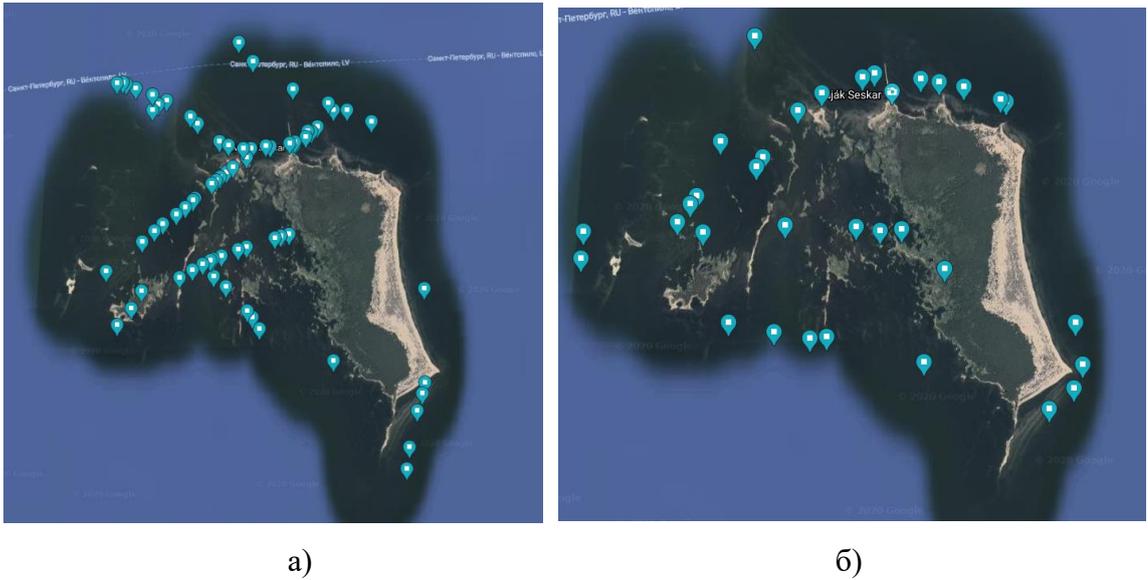


Рисунок 9.2.60 – Места встреч птиц, зарегистрированных у о.Сескар:
а) 7.10.2020, б) 16.10.2020

В районе о.Сескар отмечено самое значительно число видов (12), занесенных в Красные книги разных рангов: серый гусь, лебедь-кликун, малый лебедь, серая утка, хохлатая чернеть, красноглазый нырок, гоголь, гага, большой крохаль, клуша, серебристая чайка.

Остров Мощный. Изрезанные берега острова и многочисленные мелководья (Рис.9.2.61) делают его привлекательным для мигрирующих водоплавающих птиц.



Рисунок 9.2.61 – Мелководья на севере о.Мощный. Летящие большие белые и 1 серая цапля. 7.10.2020. Фото Ю.Н.Бубличенко

В дни наблюдений на побережье и в акватории было зарегистрировано 2 940 птиц 22 видов (Рис.9.2.62).

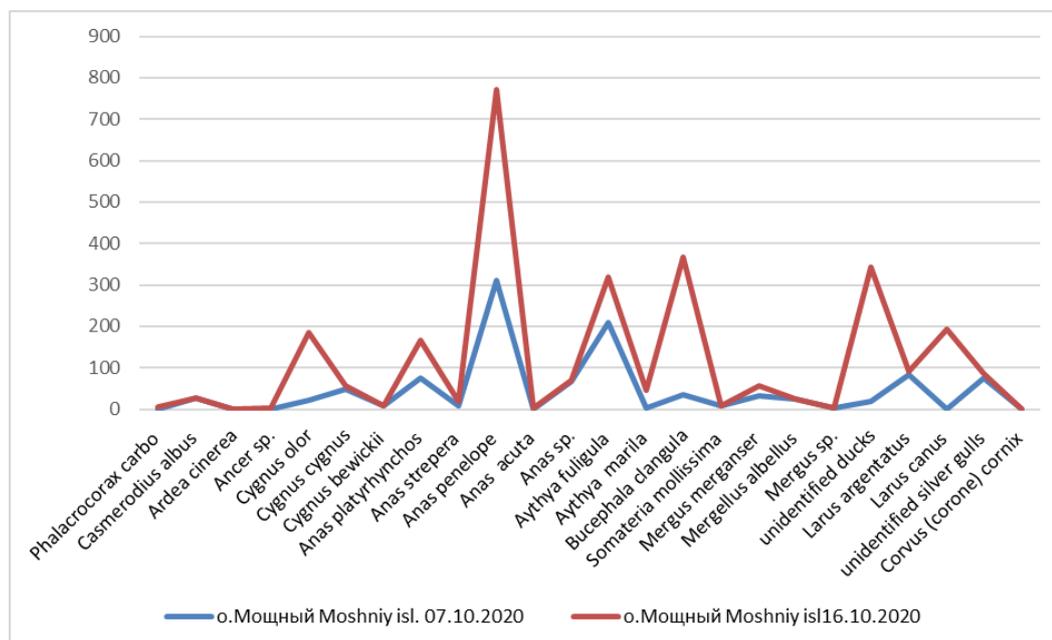


Рисунок 9.2.62 – Видовое разнообразие и численность птиц, зарегистрированных у о.Мощный в период наблюдений 2020 г.

Самыми многочисленными были представители отряда гусеобразных (2045 птиц 17 видов, или 70 % от общего числа зарегистрированных птиц). Наиболее многочисленные скопления наблюдали у связи, хохлатой чернети, лебедя-шипуна, гоголя (364 стай). Отмечены небольшие стаи гаги, большого крохалея, лутка, морской чернети (Рис.9.2.63), кликуна и малого лебедя (Рис.9.2.64).

Интересно, что один из лебедей-кликунов был окольцован (Рис.9.2.65), но номер на шейной метке, к сожалению, рассмотреть не удалось.



Рисунок 9.2.63 – Морские чернети у о.Мощный (59.9578550; 27.8234033) 16.10.2020 г.

Фото Ю.Н. Бубличенко



Рисунок 9.2.64 – Кликуны и малые лебеди у о.Мощный (60.0084800; 27.8696983)

7.10.2020. Фото Ю.Н. Бубличенко



Рисунок 9.2.65 – Кликун с шейной меткой у о.Мощный (60.0095217; 27.8680817)
7.10.2020. Фото Ю.Н. Бубличенко

Места встреч наиболее крупных скоплений птиц представлены на рисунке 9.2.66.

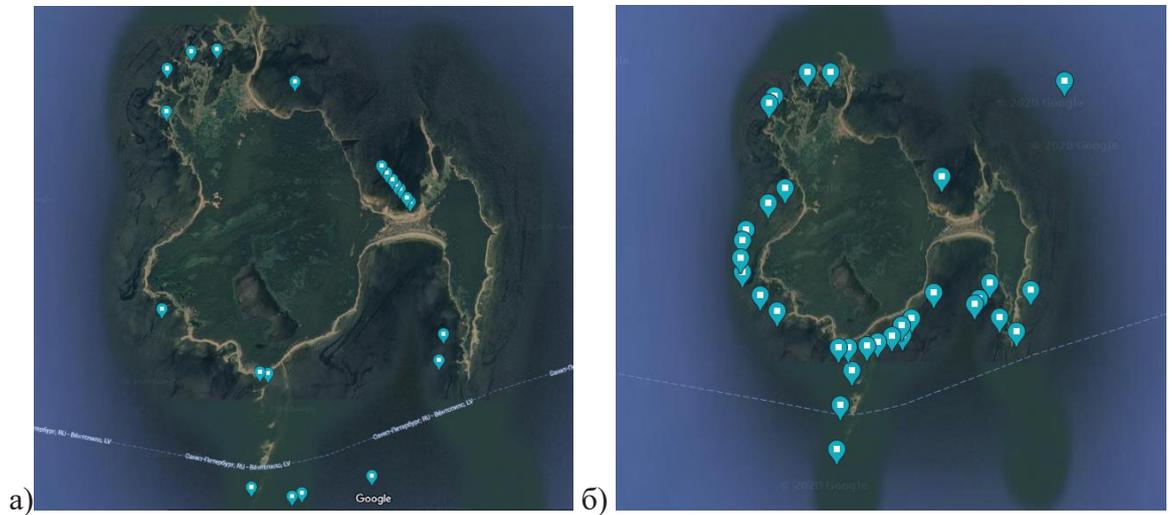


Рисунок 9.2.66 – Места встреч наиболее крупных стай птиц, зарегистрированных у о.Мощный: а) 7.10.2020, б) 16.10.2020

Отмечено 9 видов птиц, занесенных в Красные книги различного ранга: кликун, малый лебедь, серая утка, шилохвость, гоголь, гага, большой крохаль, луток, серебристая чайка, причем численность последней была достаточно высока (90 птиц).

Остров и банка Вигрунд входят в состав заповедника «Восток Финского залива») в первую очередь из-за того, что здесь располагаются крупные залежки и места щенки серых тюленей. Однако в течение полевого сезона 2020 г. здесь не было зарегистрировано сколь-нибудь значительного видового разнообразия и высокой численности мигрантов и гнездящихся птиц. Подробные данные приведены в таблице.

На рисунке 9.2.67 видно, что ни на самом острове, ни в прибрежной его части, птиц нет. Однако каменистые гряды банки Вигрунд используются немногочисленными видами птиц как места отдыха и стоянки (Рис.9.2.68). В первый день наблюдений здесь было отмечено 302 птицы, 300 из которых составляли сизые чайки; во второй день – 121 птица, причем 69 из них также были сизые чайки, а 38 - связы. Наиболее интересной находкой была регистрация сразу 3х орланов-белохвостов 7.10.2020, отдыхающих на камнях.

Всего на банке Вигрунд зарегистрировано 6 видов птиц. Места размещения птиц на этих отмелях приведены на рисунке 9.2.69.

Отмечено 3 вида птиц, занесенных в Красные книги различного ранга: орлан-белохвост, серебристая чайка, серая утка.



Рисунок 9.2.67 – Остров Вигрунд. Фото Ю.Н.Бубличенко



Рисунок 9.2.68 – Сизые и серебристые чайки на отмели б. Вигрунд
(59.7919983; 27.7220617) 7.10.20. Фото Ю.Н.Бубличенко

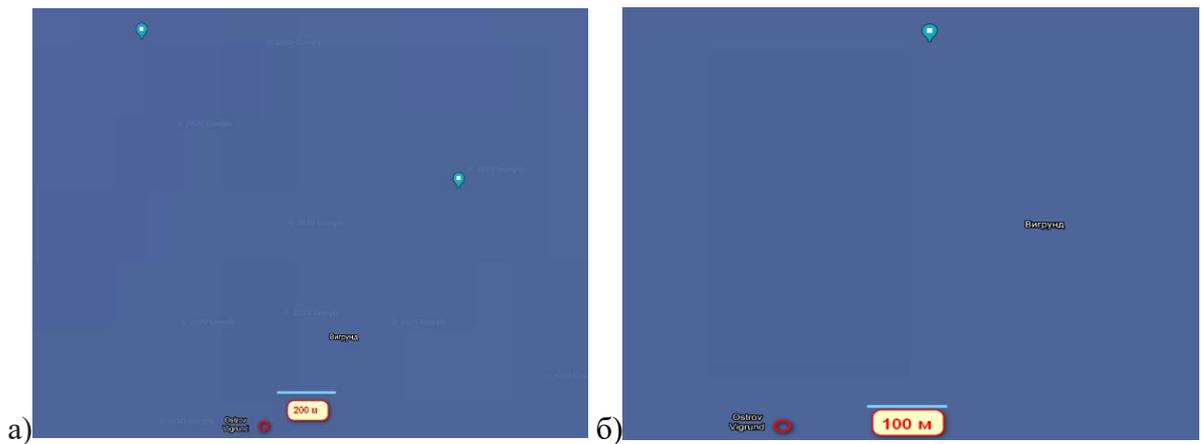


Рисунок 9.2.69 – Места встреч стай птиц, зарегистрированных
у о.Вигрунд: а) 7.10.2020, б) 16.10.2020

Архипелаг Большой Фискар входит в состав Заповедника «Восток Финского залива». В 9 км к востоку от него находится скала Халли (о.Халликарти), которая также включена в состав заповедника. В период наблюдений на архипелаге была отмечена 251 птиц (5 видов) (Рис.9.2.19; 9.2.70), на Халликарти – 222 (2 вида).

Здесь были зарегистрированы в основном свиязи (142 – на арх.Б.Фискар и 58 – на о.Халликарти) и сизые чайки (90 и 168 соответственно). Точки, где были отмечены стаи птиц, приведены на Рис.9.2.71.

Из включенных в Красные книги различного ранга птиц у арх.Б.Фискар отмечена только хохлатая чернеть (HELCOM).



Рисунок 9.2.70 – Стая связейей у арх.Большой Фискар (0.4055167; 27.9428767) 16.10.20. Фото Ю.Н.Бубличенко



Рисунок 9.2.71 – Места встреч стай на арх.Большой Фискар 16.10.2020.

Остров Соммерс. Скалистый остров в восточной части Финского залива. Соммерс вытянут с запада на восток и изрезан бухтами. Длина острова составляет около 950 м, ширина — 450 м (Рис. 9.2.72). В дни наблюдений здесь было зарегистрировано 140 птиц 4 видов, в основном – сизые чайки (Рис. 9.2.73).



Рисунок 9.2.72 – Скалистые берега и отмели о.Соммерс. Фото Ю.Н.Бубличенко



Рисунок 9.2.73. – Сизые чайки на камнях вблизи о.Соммерс (60.2110067; 27.647800).

Фото Ю.Н.Бубличенко

Остров Малый (Рис.9.2.74) расположен между островами Мощный и Сескар. В отличие от весенних наблюдений 2020 г., здесь было зарегистрировано значительное число мигрантов: 1 886 птиц (из них 1 168 – 7.10.2020 г. и 718 – 16.10.2020 г.) из 4 отрядов.



Рисунок 9.2.74 – о.Малый. На переднем плане видна стая лебедей.

Фото Ю.Н.Бубличенко

Самыми многочисленными были представители отряда гусеобразных (1 473 птицы 11 видов, или 78,1 % от общего числа зарегистрированных птиц) (Рис. 9.2.75).

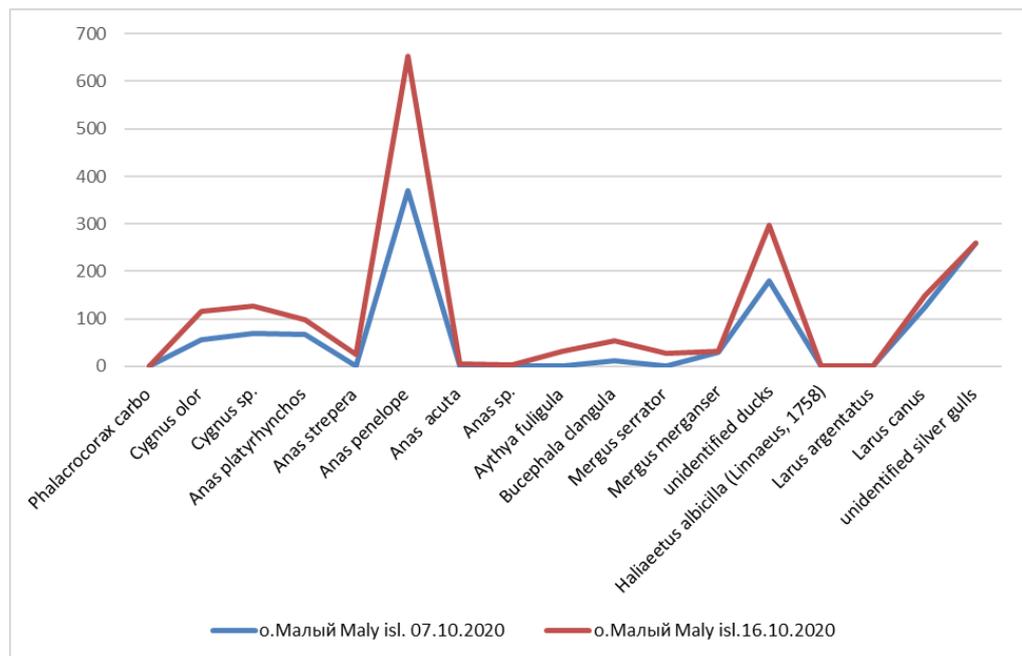


Рисунок 9.2.75 – Видовое разнообразие и численность птиц, зарегистрированных на о.Малый в дни наблюдений.

Наиболее многочисленные скопления наблюдали у свиязи (Рис.9.2.76), хохлатой чернети, лебедя-шипунa, гоголя. Из ржанкообразных самыми многочисленными были, как и на других островах, сизые чайки (149 особей).

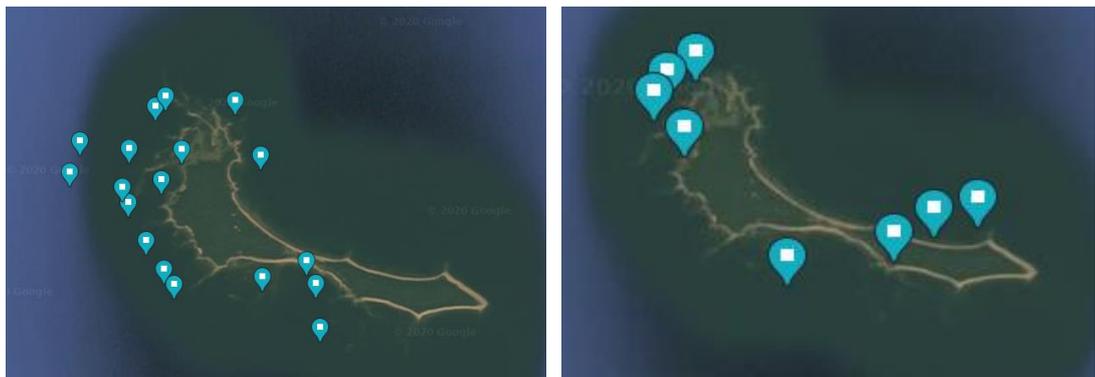
На о. Малый также были отмечены орланы-белохвосты (Рис.9.2.16).



Рисунок 9.2.76 – Стая связзей у о.Малый (60.0371383; 27.9990433) 16.10.2020 г.

Фото Ю.Н.Бубличенко

Места встреч наиболее крупных стай показаны на рисунке 9.2.77.



а)

б)

Рисунок 9.2.77. – Места встреч стай птиц, зарегистрированных у о.Малый: а) 7.10.2020, б) 16.10.2020

Из птиц, занесенных в Красные книги различного ранга, отмечены: серая утка, шилохвость, большой крохаль, длинноносый крохаль, гоголь, хохлатая чернеть.

Архипелаг Березовые острова (Рис. 9.2.78) расположен в северной части акватории Финского залива. Является государственным комплексным природным заказником. В дни наблюдений на акватории и островах архипелага было зарегистрировано значительное большее число мигрантов, чем во время весенних наблюдений 2020 г.: 2 124 птицы 4 отрядов.



Рисунок 9.2.78 – Березовые острова. Фото Ю.Н.Бубличенко

Самыми многочисленными, как и на других островах, были представители отряда гусеобразных (1 835 особей 9 видов), что составило 86,4% от всех зарегистрированных птиц. Наиболее многочисленными были свиязь (646 особей, причем на воде держались крупные стаи до 80-100 птиц) и хохлатая чернеть (490 птиц, Рис. 9.2.79).



Рисунок 9.2.79 – Стая хохлатой чернети и несколько гоголей у о.Большой Березовый (60.2800350; 28.7106583) 16.10.2020. Фото Ю.Н.Бубличенко

Крупные скопления наблюдали у большого баклана (176 птиц), гоголя (207) и лебедя-шипуна (174 птицы; Рис.9.2.80).



Рисунок 9.3.80 – Фрагмент стаи лебедей-шипунув у о.Большой Березовый (60.2857400; 28.7129317) 16.10.2020. Фото Ю.Н.Бубличенко

Небольшие стаи зарегистрированы также у кряквы, серой утки, чирков и крохалей (рис.9.2.81), отмечены единичные встречи кликуна.



Рисунок 9.2.81 – Гоголи и большие крохали у о.Западный Березовый (60.2857400; 28.7129317) 16.10.2020. Фото Ю.Н.Бубличенко

Виды, занесенные в Красные книги разных рангов: лебедь-кликун, большой и средний крохали, хохлатая чернеть, гоголь, серебристая чайка.

Участки материкового побережья в районе **Копорской губы** и **Черной Лахты** – **Лебяжьего** (рисунки 9.2.12 – 9.2.13) представляют несомненный интерес для мониторинга мигрирующих видов. Именно в Копорской губе находится одна из 10 КОТР Финского

залива (Резвый, Савинич, 2007), а окрестности пос. Лебяжье являются заказником регионального значения. Всего на побережье и акватории было зарегистрировано на участке Лебяжье-Черная Лахта-Шепелево 456 птиц, а в Копорской губе – 3 605 за 2 дня наблюдений (Рис. 9.2.82).

Всего на данных участках у материкового побережья был отмечен 21 вид птиц 7 отрядов. Как и на всех остальных обследованных участках, наиболее многочисленными были представители отряда гусеобразных – 2 593 птицы 11 видов (за оба дня наблюдений).

Из них наиболее многочисленными были связи (1 202 особи) и кряквы (477 птиц) (Рис.9.2.83), на обоих участках обычны были стаи лебедей-шипунцов (279 птиц) (Рис. 9.2.18). Здесь зарегистрированы наиболее крупные скопления лебедей-кликунов (279 птиц) (Рис.9.2.84) и в Копорской губе – малого лебедя (28).

Из представителей других отрядов также в Копорской губе отмечены крупные стаи лысухи (отр. Журавлеобразные) (Рис.9.2.14) и небольшие скопления большого баклана (всего 56 особей – на обоих участках; отр. Пеликанообразные).

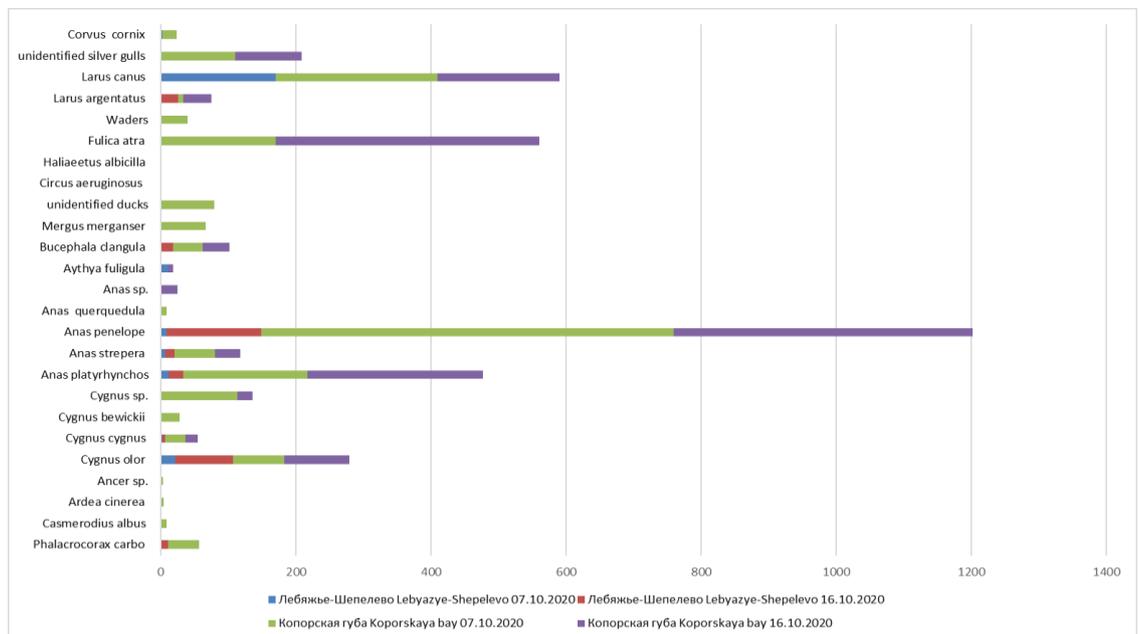


Рисунок 9.2.82 – Видовое разнообразие и численность вблизи материкового побережья на участках Лебяжье-Черная Лахта-Шепелево и в Копорской губе в дни наблюдений.

Интересны встречи серой (4) и большой белой цапель (8) (отр. Аистообразные) (Рис. 9.2.85) в Копорской губе и встречи дневных хищных птиц (орлана-белохвоста и болотного луня) (отр.Соколообразные) – в районе Черной Лахты.

Из представителей отр. ржанкообразных были многочисленны, как и везде в период наблюдений сизые чайки (590) (Рис. 9.2.86).

Обычными были и встречи серебристой чайки (75 встреч).



Рисунок 9.2.83 – Кряквы в Копорской губе (59.7851883; 28.4343417) 16.10.2020 г.

Фото Ю.Н.Бубличенко

Виды, занесенные в Красные книги разных рангов: лебедь-кликун, малый лебедь, серая утка, хохлатая чернеть, гоголь, орлан-белохвост, серебристая чайка.



Рисунок 9.2.84 – Лебеди-кликуны в Копорской губе (59.8182033; 28.6565283)

7.10.2020 г. Фото Ю.Н.Бубличенко

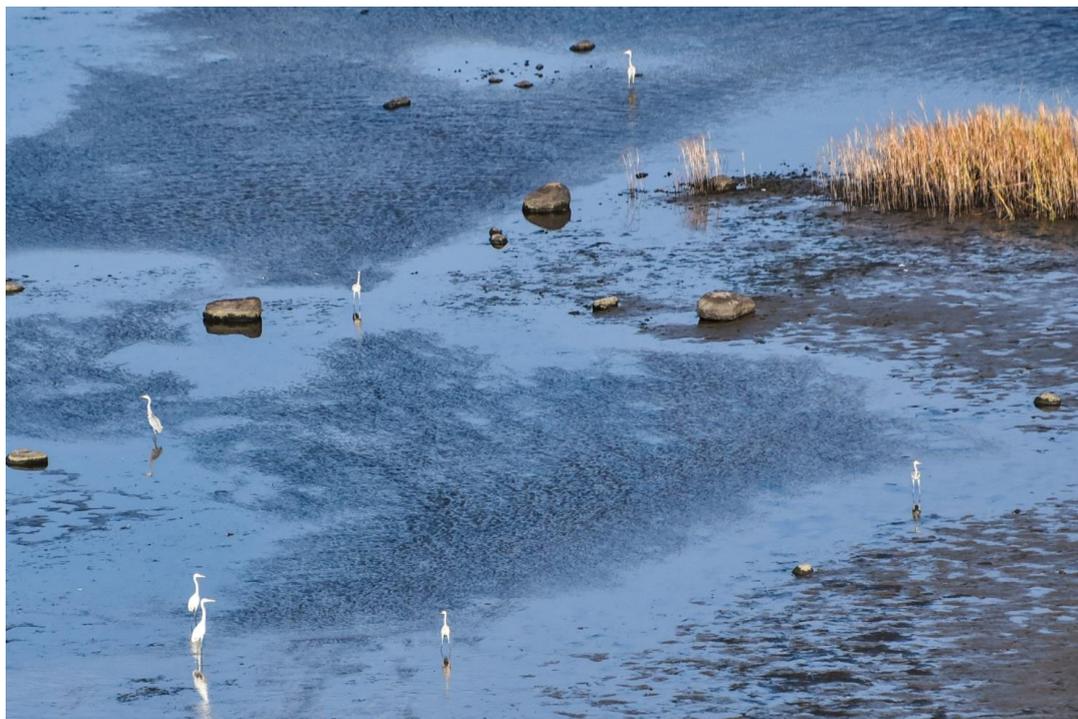


Рисунок 9.2.85 – Большие белые и серые цапли в Копорской губе (59.8950467; 29.0467550) 7.10.2020. Фото Ю.Н.Бубличенко

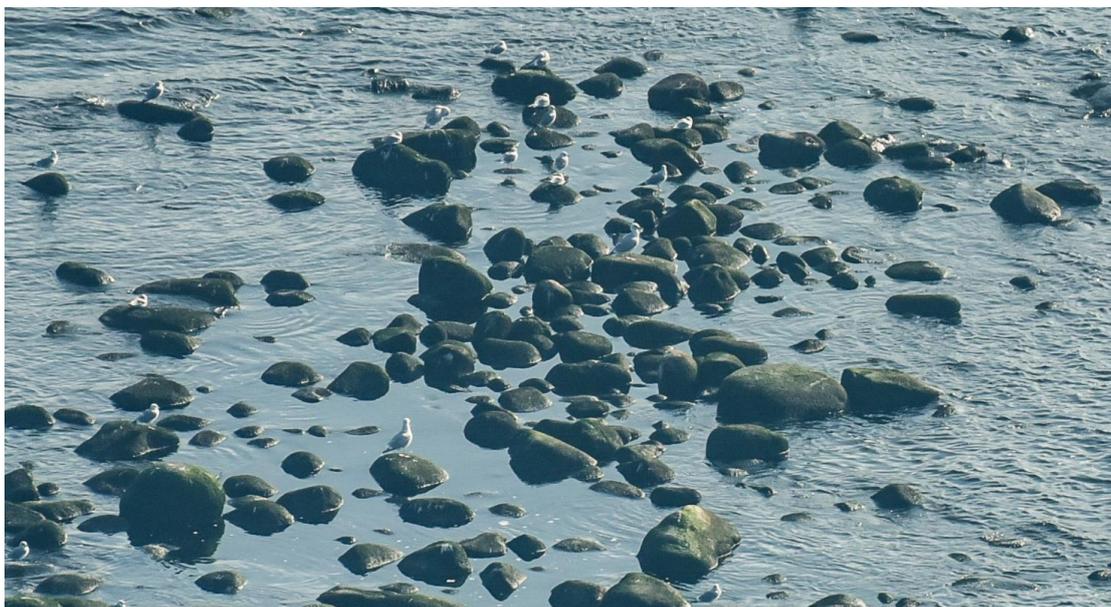


Рисунок 9.2.86 – Сизые и серебристые чайки в Копорской губе (59.8530633; 28.3385450) 7.10.2020. Фото Ю.Н.Бубличенко

На основании данных, полученных во время двухдневных авиаучетов птиц, проведенных с разницей в 8 дней в российской части акватории Финского залива, можно утверждать, что в данный временной период на обследованном участке существовало 16 мест основных стоянок мигрирующих птиц (рис. 9.2.12 – 9.2.13), на которых было

зарегистрировано в общей сложности 32 786 птиц (из них 7.10 – 18 261, 16.10 – 14 525) 31 вида, принадлежащих к 7 отрядам.

Из 31 вида птиц, зарегистрированных в дни наблюдений:

- 6 занесены в список охраняемых видов IUCN (2020);
- 4 вида включены в Красную книгу Российской Федерации (2020);
- 5 видов включены в списки охраняемых видов HELCOM (2013);
- 10 видов включены в Красную книгу животных Ленинградской области (2018).

Самые крупные стоянки отмечены у о.Сескар, где зарегистрировано около 11 000 птиц за 2 дня наблюдений, что составляет треть от всех отмеченных в обследованной части акватории Финского залива птиц. Кроме того, крупные миграционные стоянки находились вблизи Кургальского полуострова, у о-вов Мощный и Малый, в Копорской губе. Отмечена тенденция к восстановлению численности мигрантов вблизи арх. Березовые острова, хотя эти данные требуют проведения дальнейших наблюдений за состоянием стоянок птиц в этом районе.

По результатам проведенных наблюдений можно утверждать, что строительство и прокладка газопровода не оказали влияния ни на пространственное распределение стоянок мигрирующих птиц, ни на их видовой состав и численность в период осенних миграций.

Публикации по пп. 2 и 3: на стадии согласования с компанией “Nordstream 2AG”.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Обобщение материалов, собранных во время экспедиционных работ 1994-2019 гг., и написание монографии «Птицы и млекопитающие региона Финского залива». (совместно с ст.н.с. ЗИН РАН Бубличенко А.Г.)

Публикация:

Бубличенко Ю.Н., Бубличенко А.Г. Птицы и млекопитающие региона Финского залива (монография). – СПб.: Изд.СПбГЭУ. ISBN 978-5-7310-5055-5. 2020. – 219 с.

Монография посвящена анализу современного состояния и проблемам сохранения фауны птиц и млекопитающих региона Финского залива (Ленинградская область, Северо-Западный регион). Раскрываются особенности истории ее формирования и изучения, рассматриваются угрозы и риски, связанные с усилением воздействия естественных и антропогенных факторов в последние десятилетия. Прослеживаются основные тенденции изменения видового состава и численности отдельных систематических групп и фаунистических комплексов на материковом побережье и прилежащих островах.

Обсуждаются вопросы сохранения существующего биологического разнообразия и развития системы особо охраняемых природных территорий.

Монография может быть полезна магистрантам и аспирантам, занимающимся исследованием данных проблем, специалистам-экологам, сотрудникам природоохранных организаций.

9.3 Разработка нового для Балтийского региона РФ направления исследований «Воздействие пластикового загрязнения Мирового океана на различные аспекты биологии птиц», сбор первичного материала во время экспедиционных работ 2020 г.

Пластик является органическим полимером, который существует на планете немногим более 100 лет, однако в наши дни в окружающей среде он присутствует повсеместно, и рост его производства постоянно растет.

В настоящее время от 4,8 до 12,7 млн тонн полимеров ежегодно попадает в океаны. Значительная доля пластика оказывается в воде благодаря безответственности туристов, отдыхающих на пляжах, выбрасывается судами, проходит по руслам рек, преодолевает очистные сооружения. Уже в середине 1960-х - начале 1970-х гг. ученые начали изучать влияние пластикового загрязнения на состояние окружающей среды и здоровья людей и животных (в том числе птиц), определив это направление исследований как международную проблему. Около 10% всех твердых отходов человеческой жизнедеятельности — это пластик, и до 80% пластикового мусора концентрируется на береговой линии и на поверхности мирового океана. Нарастание количества выброшенного волнами пластикового мусора отмечается в последние 15 лет и в России, причем с каждым годом его становится все больше. Ежегодно около 1,500 т пластиковых отходов попадает в воду Финского залива только из г. Санкт-Петербурга. Предполагается, что эти цифры значительно занижены, и концентрация пластиковых частиц в акватории Финского залива значительно выше. Считается, что пластиковое загрязнение оказывает прямое или косвенное влияние на 90% видов морских, водоплавающих и околоводных птиц.

Экосистемы нашей планеты подвергаются загрязнению макро- и микропластиком на протяжении долгих десятилетий. Рост концентрации пластиковых отходов в Мировом океане в последнее время наблюдается повсеместно, включая арктические районы; та же тенденция прослеживается для внутренних пресноводных и соленых водоемов. Одним из важных индикаторов здоровья экосистем являются обитающие здесь водоплавающие и околоводные птицы; тем не менее, изучение воздействия пластика на их организм и

особенности поведения до сих пор находится в начальной стадии. Во многих регионах (например, Балтийское море) комплексные исследования, связанные с проблемой пластикового мусора, до сих пор не проводились несмотря на то, что по данным HELCOM, количество накопившегося здесь пластика уже представляет реальную угрозу для морской биоты. Основными источниками пластикового загрязнения Балтийского моря являются: судоходство, рыболовство, туризм, прибрежные урбанизированные территории, реки. Ежегодно около 1,500 т пластикового мусора попадает в воду только из Санкт-Петербурга. Направленный сбор материала по влиянию макропластика на различные аспекты биологии птиц Финского залива Балтийского моря мы начали с 2014 г., хотя первые единичные находки пластика в гнездах были зарегистрированы еще в 1994 г.

Выделяют три основных проблемы в отношении птиц и пластика:

- 1) использование полимеров как строительного материала в гнездах;
- 2) заглатывание;
- 3) запутывание и гибель в сетях, веревках и пр.

Во время наших исследований в акватории российского сектора Финского залива Балтийского моря в 1994-2020 гг. пластик был обнаружен в гнездовом материале или внутри колонии у 16 видов птиц. В последнем десятилетии было отмечено резкое увеличение количества пластиковых материалов в гнездах таких видов, как *Phalacrocorax carbo*, *Larus argentatus*, *L.ridibundus*, *L.canus*, *L.fuscus*. Так, у больших бакланов в 2007-2009 гг. в отдельных колониях пластик был обнаружен в 13% гнезд, а в 2019 г. – уже в 65%. Зарегистрированы случаи находок пластика в гнездах уток и лебедей: *Anas platyrhynchos*, *Aythya fuligula*, *Mergus serrator*, *Somateria mollissima*, *Cygnus olor*. Отдельные кусочки пластика находили также на территории колоний гагарки *Alca torda* и тонкоклювой кайры *Uria aalge*. В ряде случаев (у большого баклана и серебристой чайки) полиэтиленовые мешки составляли основу выстилки гнезд, что в жаркую погоду могло вызвать перегрев и гибель птенцов; тем не менее, до настоящего времени подобные случаи нами не были отмечены.

Существует мнение, что пластик в гнезде – не более, чем элемент декора. Так ли это? В наши дни доступность нового материала привела к тому, что 1-2% гнезд большого баклана под данным 2018-2020 гг. имели выстилку, целиком состоящую из полиэтилена. В солнечные дни полиэтилен в открытых гнездах не только нарушают терморегуляцию птенцов, но и испаряет вредные вещества в атмосферу; тем не менее, массовая гибель птенцов в них пока не зафиксирована. Несомненно, описанные аспекты влияния пластика на здоровье популяций водоплавающих и околоводных птиц требуют дальнейшего

детального изучения, что позволит оценить не только степень деградации водных экосистем в регионах, но и выявить возможные риски для других групп животных и человека.

Известно, что крайне опасным для птиц является заглатывание пластиковых частиц – намеренное или случайное. Заглатывание макропластика в акватории Финского залива отмечено только у большого баклана и серебристой чайки. Крупные частицы пластика часто поедаются птицами «по ошибке», - их принимают по цвету или форме за пищу. Мелкие частицы (микро- и нано пластик) попадают в желудок птиц вместе другой пищей или водой. В первом случае крупные куски пластикового мусора проглатываются птицами, что может привести или к их гибели, или отрыгиванию в виде погадок. Первые погадки, состоящие целиком из полиэтилена, были обнаружены нами у серебристых чаек в 2003-2005 гг.; в настоящее время они не только значительно чаще встречаются у данного вида, но найдены также у других птиц – большого баклана и всех видов чаек, гнездящихся в акватории Финского залива. Проблема случайного заглатывания мелких частиц пластика является не менее серьезной угрозой для жизни птиц. По данным американских орнитологов, у берегов США микро- и нанопластик обнаружен у 55% отловленных морских птиц, а рост уровня урбанизации определяет дальнейшее увеличение их содержания в мировом океане.

Не менее серьезной угрозой для птиц является запутывание в кусках полиэтилена, веревках, обрывках рыболовных сетей и т.д. В акватории Финского залива отмечены случаи гибели при запутывании (в основном в сетях) у *Gavia arctica*, *Podiceps cristatus*, *Phalacrocorax carbo*, *Mergus serrator*, *Aythya fuligula*, *Larus argentatus*, *Larus ridibundus*. Для серебристой чайки и ряда видов куликов также отмечены случаи повреждения лап. Запутывание птиц в небольших веревках или кусках полиэтилена часто приводит к потере возможности полета или передвижения по земле, и в результате – к гибели.

Необходимо отметить, что воздействие пластикового загрязнения мирового океана на различные аспекты биологии птиц в России на настоящий момент практически не изучено. Если проблема гибели в рыболовных сетях и их фрагментах периодически освещается в отечественной литературе то влияние заглатываемых частиц пластика (в особенности – микро- и нанопластика) на нарушение физиологических процессов и смертность у птиц не исследовано вообще. Не менее актуальной проблемой, на наш взгляд, становится и массовое использование полиэтилена в гнездах птиц. Изменения микроклиматических условий в гнезде (температура, влажность, аэрация), связанные с использованием нетрадиционных строительных материалов, предполагают детальные

эколого-физиологические исследования птенцов в таких гнездах для выявления степени воздействия указанных параметров на их выживаемость.

Публикации по теме:

1. Бубличенко Ю.Н. Пластик — новый элемент среды обитания птиц или реальная угроза? Минск: Беларуская навука, 2020. ISBN 978-985-08-2653-4. С. 79-80
2. Бубличенко Ю.Н. Воздействие пластикового загрязнения мирового океана на различные аспекты биологии птиц. Сборник трудов Международной орнитологической онлайн-конференции «МЕНЗБИРОВСКИЕ ЧТЕНИЯ» Мензбировские чтения. Тула. 26-28 ноября 2020 (в печати)
3. Dr. Maria Gavrilov , Dr. Ekaterina Tolmacheva , Dr. Larisa Zelenskaya , Dr. Yuri Artyukhin, Dr. Yulia Bublichenko , Uliana Babiy , Yulia Bogomolova , Alexander Cherenkov , Dr. Elena Golubova , Dmitry Pilipenko , Olga Prokopenko , Vladimir Semashko , Dr. Irina Utekhina , Grigory Tertitskiy , Dr. Eugene Syroechkovskiy. Seabirds and plastic pollution in the Russian seas - first national review on the problem. World Seabird Conference. Hobart, Australia. 2020 (in print)
4. Bublichenko Julia. Baltic Sea. Study area: Gulf of Finland (Site 23)/ CAFF-2019: Plastic Pollution and Seabirds in the Russian Arctic, Workshop Report. Arctic Migratory Birds Initiative. Conservation of Arctic Flora and Fauna, Akureyri, Iceland. 2020. P.15-16

Доклад

на Международной орнитологической онлайн-конференции «МЕНЗБИРОВСКИЕ ЧТЕНИЯ» 26 ноября 2020 г: Воздействие пластикового загрязнения мирового океана на различные аспекты биологии птиц

9.4 Изучение, сохранение и мониторинг приморских и морских ООПТ Финского залива:

Современные проблемы Рамсарских территорий региона Финского залива Балтийского моря.

Геополитические изменения последних десятилетий вызвали смену приоритетов в Морской политике России, и в первую очередь это коснулось Балтики, где после распада Советского Союза прибрежно-портовая инфраструктура была серьезно нарушена. Развитие новых портовых мощностей в регионе предполагает активное освоение побережья и островов Финского залива: вместе с тем, именно на этой акватории расположены три природные территории, номинированные в рамках Рамсарской конвенции как особо

ценные места обитания водоплавающих и околоводных птиц – Кургальский полуостров, архипелаг Березовые острова и заказник «Лебяжий».

В настоящее время фауна позвоночных животных этих территорий насчитывает порядка 120 видов птиц, более 15 видов млекопитающих, 5 видов амфибий и рептилий, 75 видов рыб, многие из которых включены в региональные и международные Красные книги. Здесь пролегают пути весенних и осенних миграций, расположены места стоянок лебедей, морских и речных уток, куликов, встречается исчезающий балтийский подвид кольчатой нерпы (*Pusa hispida botnica*).

Среди основных естественных факторов, лимитирующих стабилизацию экосистем Финского залива называют потепление климата, и действительно, на побережье и акватории в последнее время можно наблюдать явно выраженную экспансию «южных» видов птиц; вместе с тем, для некоторых аборигенных животных, и в первую очередь для балтийской нерпы, ухудшение состояния ледяного покрова в местах размножения оказались катастрофическими, вызвав резкое снижение ее численности. К естественным проблемам, определяющим деградацию прибрежных территорий можно отнести также экзогенные геологические процессы.

Но, главное – морские экосистемы Финского залива испытывают сильнейший антропогенный пресс, выражающийся в загрязнении среды, судовом трафике, запредельно высоком уровне рыболовства, добыче песка и полезных ископаемых, дноуглублении и намывке грунтов. За счет выгодного стратегического положения через регион проходят пути транспортировки нефти: с 1995 г. количество танкеров, на акватории Финского залива увеличилось в 4 раза, и такая тенденция продолжится в будущем; многократно возрастают объемы перевозок сжиженного природного газа и других грузов. Слив балластных вод приводит к появлению видов-вселенцев, роль которых в водных экосистемах востока Финского залива пока не выяснена. Однако наиболее разрушительное воздействие оказала реализация проектов строительства портов, расположенных в непосредственной близости от охраняемых территорий – в Бронке, Усть-Луге, Приморске и Высоцке: с началом строительства мутность воды залива повысилась в 10 раз, вызвав уничтожение прибрежных донных сообществ, являвшихся кормовой базой для рыб и мигрирующих птиц.

Говоря о негативных антропогенных воздействиях нельзя не упомянуть такой фактор, как беспокойство. Даже кратковременное появление людей или плавсредств в местах обитания животных приводят к оставлению этих территорий, не говоря уже о строительстве или производственных шумах.

Охрана акваторий и прибрежных ландшафтов невозможна в рамках одного субъекта федерации: в связи с этим реализована программа «Интеграция региональных особо охраняемых природных территорий Ленинградской области (Российская Федерация) в европейский контекст», согласно которой все три приморские Рамсарские территории области номинированы в сеть охраняемых районов Балтийского моря.

Публикации по теме:

1. Бубличенко Ю.Н., Бубличенко А.Г. Современные проблемы Рамсарских территорий региона Финского залива Балтийского моря. Тез.конф «Моря России». Севастополь. 2020. с.370-372

Доклад на Всероссийской научной конференции «Моря России»: Современные проблемы Рамсарских территорий региона Финского залива Балтийского моря.

9.5 Участие в написании коллективной монографии «Атлас гнездящихся птиц Европы»

Публикация:

European Breeding Bird Atlas 2. Distribution, Abundance and Change. EUBC //Editors: Verena Keller etc./ European Bird Census Council & Lynx Edicions, Barcelona. Lynx. 2020. 978-84-16728-38-1. 560 p.

Общий список публикаций за 2020 год:

1. Бубличенко Ю.Н., Бубличенко А.Г. Птицы и млекопитающие региона Финского залива (монография). – СПб.: Изд-во СПбГЭУ. ISBN 978-5-7310-5055-5. 2020. – 219 с.

2. Бубличенко Ю.Н. Пластик — новый элемент среды обитания птиц или реальная угроза? Минск: Беларуская навука, 2020. ISBN 978-985-08-2653-4. С. 79-80

3. Бубличенко Ю.Н. Воздействие пластикового загрязнения мирового океана на различные аспекты биологии птиц. Тула Мензбирские чтения. 2020. (в печати)

4. Бубличенко Ю.Н., Бубличенко А.Г. Современные проблемы Рамсарских территорий региона Финского залива Балтийского моря (тезисы доклада). – Сборник докладов Всероссийской научной конференции «Моря России». – Севастополь, 2020. - С. 370-372

5. European Breeding Bird Atlas 2. Distribution, Abundance and Change. EUBC. Editors: Verena Keller etc. (authors: Bublichenko Julia, etc). European Bird Census Council & Lynx Edicions, Barcelona. Lynx. 2020. 978-84-16728-38-1. 560 p.

6. Dr. Maria Gavriilo , Dr. Ekaterina Tolmacheva , Dr. Larisa Zelenskaya , Dr. Yuri Artyukhin, Dr. Yulia Bublichenko , Uliana Babiy , Yulia Bogomolova , Alexander Cherenkov , Dr. Elena Golubova , Dmitry Pilipenko , Olga Prokopenko , Vladimir Semashko , Dr. Irina Utekhina , Grigory Tertitskiy , Dr. Eugene Syroechkovskiy. Seabirds and plastic pollution in the Russian seas - first national review on the problem. World Seabird Conference. Hobart, Australia. 2020 (in print)

7. Bublichenko Julia. Baltic Sea. Study area: Gulf of Finland (Site 23)/ CAFF-2019: Plastic Pollution and Seabirds in the Russian Arctic, Workshop Report. Arctic Migratory Birds Initiative. Conservation of Arctic Flora and Fauna, Akureyri, Iceland. 2020. P.15-16

Участие в конференциях:

1. Всероссийская научная конференция «Моря России». Севастополь. 25-29 сентября 2020.

2. Международная орнитологическая онлайн-конференция «МЕНЗБИРОВСКИЕ ЧТЕНИЯ». 26-28 ноября 2020.

3. Член редколлегии сборника трудов «Орнитологические исследования в странах Северной Евразии: тезисы XV Междунар. орнитолог. конф. Северной Евразии, посвящённой памяти акад. М. А. Мензбира (к 165-летию со дня рождения и 85-летию со дня смерти)». – Минск: Беларуская навука, 2020. – 538 с. – ISBN 978-985-08-2653-4

4. Участие в видеоконференции, организованной Министерством природных ресурсов и экологии РФ по внесению поправок в Конституцию в области экологии и охраны природы - 18.06.2020.

Организация и проведение конференций:

1. Организация и проведение Международной научно-практической конференции, посвященной 100-тию К.Я.Кондратьева (совместно с НИЦЭБ РАН) 20-21 октября 2020.

2. Организация и проведение научно-практических медико-биологических конференций, интернет-конференций и вебинаров совместно с ООО «Дискавери Мед»:

– XI научно-практическая конференция “Грипп и другие респираторные инфекции: алгоритмы профилактики, диагностики и лечения” с симпозиумом «Бронхолегочные осложнения гриппа и ОРВИ», дата проведения - 7 февраля 2020 г.

– научно-практическая конференция «Непрерывное медицинское образование в кардиологии», дата проведения - 28 февраля 2020 г.

- научно-практическая конференция «Профилактика и лечение клещевого энцефалита», дата проведения 10 апреля 2020 г.
- II междисциплинарная научно-практическая конференция «Репродуктивное здоровье населения: реалии и перспективы», дата проведения - 15 мая 2020 г.
- вебинар «Современная гериатрия: вызовы и решения», дата проведения - 28 мая 2020 года
- научно-практический вебинар «Кардиопревенция: настоящее и будущее», дата проведения - 2 июня 2020 г.
- онлайн-вебинар "ОНКОПРЕВЕНЦИЯ: НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ". Дата проведения 07 июля 2020, Санкт-Петербург.
- XIV научно-практической конференции «ГРИПП И ДРУГИЕ ВОЗДУШНО-КАПЕЛЬНЫЕ ИНФЕКЦИИ» с симпозиумом «Итоги и уроки эпидемии COVID-19». Дата проведения: 22 сентября 2020 года, Санкт-Петербург.

10 Исследования по направлениям наук о Земле

В 2020 году в соответствии с Государственным заданием и Программой фундаментальных научно-исследовательских работ СПбНЦ РАН на период до 2030 года по плану работы Объединенного научного совета Наук о Земле выполнены исследования по двум основным направлениям:

- 1) Исследование геоморфологических особенностей береговой зоны и акватории Ладожского озера;
- 2) Исследование геоморфологических особенностей Магеллановых гор Восточно-Марианской котловины Тихого океана.

10.1 Исследование геоморфологических особенностей береговой зоны и акватории Ладожского озера

10.1.1 Исследование геоморфологических особенностей береговой зоны Ладожского озера

В 2020 г. были продолжены работы по изучению геоморфологических особенностей береговой зоны Ладожского озера. В основном, исследования касались донных ландшафтов в прибрежной полосе до 1 км.

В течение полевого сезона 2020 г. прибрежные работы велись в следующих районах:

- 15-22 июня - Волховская губа, южный берег Ладожского озера;
- 16-19 июля – Питкяранта, район шхер, северо-восточный берег Ладожского озера;
- 20-30 июля – полуостров Хунукка, район Ляскельских шхер, северо-восточный берег Ладожского озера (рис. 10.1).

В работах применялся один из вариантов подводного аппарата «Limnoscout-230» (рис. 10.2), использовавшийся на глубинах до 120 м.

Данные работы есть первый успешный опыт применения подводной фотовидеокамеры для съемки дна Ладожского озера. Серия аппаратов «Limnoscout» адаптирована для работ именно в Ладожском озере, их конструкция учитывает характер дна, глубины, мутность воды и прочие характеристики озера. Дальнейшее совершенствование этих аппаратов позволит им в ближайшее время достигать глубин в 230 м, что соответствует самым глубоким впадинам Ладожского озера.

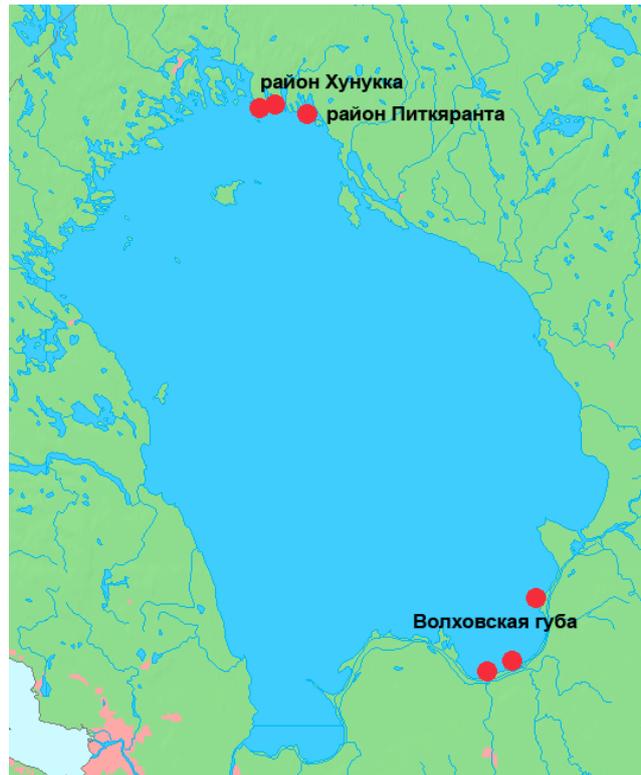


Рисунок 10.1 – Схема береговых донных фотовидеосъемок в 2020 г.

Плавсредством прибрежных работ служила надувная лодка (рис. 10.2). Параллельно с подводной съемкой производился эхолотный промер с помощью эхолота Lawtence, а также спутниковая привязка. На некоторых полигонах проводился донный пробоотбор дночерпателем с целью выявления состава донных отложений.



Рис. 10.2 – Средства подводной фотовидеосъемки: слева – надувная лодка с аппаратом «Limnoscout-230» у кормы, справа – аппарат «Limnoscout-230»

По результатам подводной съемки были составлены последовательности донных отложений, меняющих друг друга с изменением глубины (рис. 10.3 – 10.7).



Рисунок 10.3 – Песчаное дно с волновой рябью в северной прибрежной зоне Ладожского озера. Глубины – 7-9 м



Рисунок 10.4 – Песчаное дно с примесью гравия и щебня в северной прибрежной зоне Ладожского озера. Глубины – 5-7 м



Рисунок 10.5 – Щебнисто-галечное дно в северной прибрежной зоне Ладожского озера. Глубины – 4-5 м

Помимо выявления особенностей донных ландшафтов, в результате подводной фотовидеосъемки был впервые обнаружен важнейший факт вселения в Ладожское озеро двустворчатого моллюска *Dreissena Polymorpha*, который, как оказалось, несколько лет назад проник в Волховскую губу и прижился там.

Как известно, после вселения этого моллюска в систему американских Великих озер, он вытеснил ряд автохтонных видов и перестроил под себя существенную часть экосистем. После обнаружения данного вселения все прогнозы развития экосистем Ладожского озера необходимо делать с учетом этого нового факта.



Рисунок 10.6 – Валунно-глыбовое дно в северной прибрежной зоне Ладожского озера. Глубины – 2-4 м.



Рисунок 10.7 – Донные выходы коренных пород в северной прибрежной зоне Ладожского озера. Глубины – 1-2 м.

10.1.2 Морские исследования на акватории Ладожского озера

В процессе морских исследований на борту НИС «Эколог» в период рейса 03-17 октября 2020 г. проводились комплексные работы по изучению распространения донных осадков, состояния донных ландшафтов, а также уточнения положения вероятных выбросов подземных вод из рифейских водоносных горизонтов в северной части Ладожского озера.

Эти работы являются продолжением работ 2019 г. по этой же теме с борта НИС «Посейдон», с перемещением основной площади исследований в центральную часть озера.

Целью работ являлся сбор фактического материала для изучения распространения донных осадков, состояния донных ландшафтов, вероятных выбросов подземных вод из рифейских водоносных горизонтов в северной, центральной и юго-восточной частях Ладожского озера.

В число основных задач исследований входили:

- отбор проб донных осадков по субрегулярной сети для картирования распространения разновидностей донных осадков;
- изучение состояния донных ландшафтов с помощью подводной фотовидеосъемки;
- уточнение положения вероятных выбросов подземных вод из рифейских водоносных горизонтов посредством отбора проб придонной воды для последующего определения ее изотопного состава.

Кроме того, в процессе рейса были проедены опытно-методические работы по освоению и использованию новой техники, созданной в ИНОЗ РАН – усовершенствованного дночерпателя Экмана-Берджа, подводных фотовидеосъемочных аппаратов «Limnoscout-230» и «Limnoscout-50», а также температурно-глубинного зонда.

10.1.2.1 Методика проведения исследований

Исследования проводились с борта научно-исследовательского судна «Эколог» водоизмещением 250 т, специализированного для научных исследований на акваториях (рис.10.8).



Рисунок 10.8 – Общий вид НИС «Эколог»

Отбор проб производился по субрегулярной сети станций, примерно через 6-8 км вдоль ряда субпараллельных профилей ВСВ простирания, расположенных примерно через 6-10 км. В районах с однородными осадками сеть разрежалась, в районах с высокой изменчивостью осадков она сгущалась (рис. 10.9).

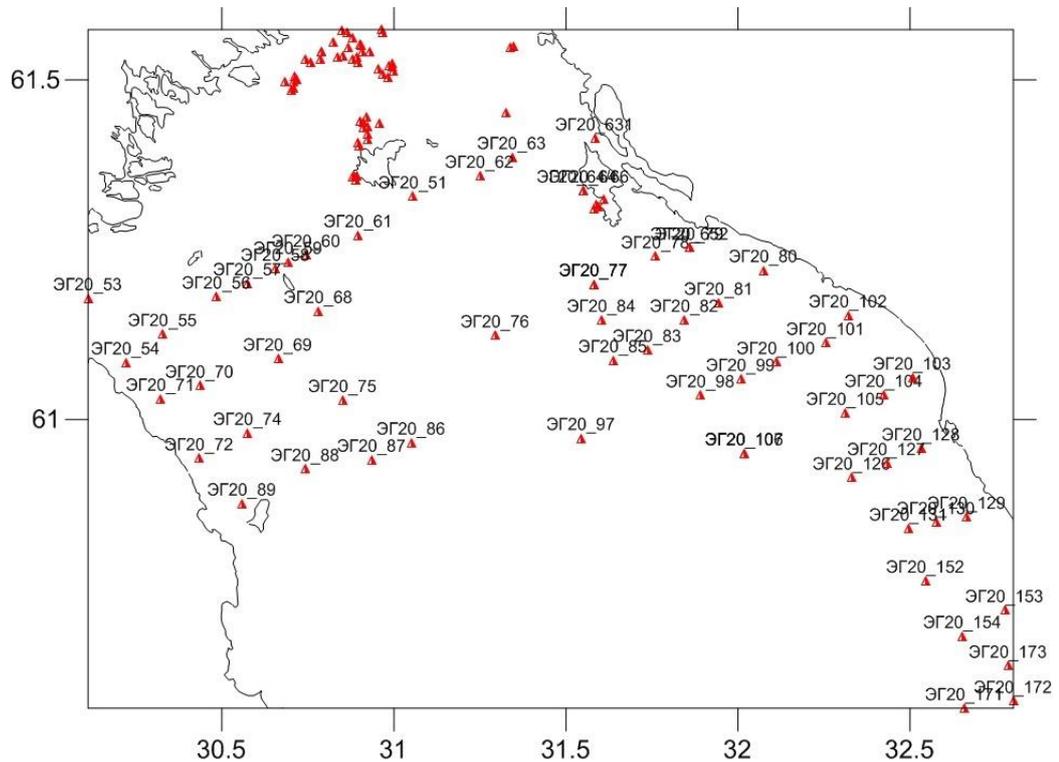


Рисунок 10.9 – Карта фактического материала общая

В районе предполагаемых входов подземных вод сеть опробования была нерегулярной и строилась, исходя из необходимости уточнения конфигурации выходов подземных вод, выявленной ранее (см. рис. 10.10).

В определенном ранее районе выходов подземных вод из рифейских водоносных горизонтов (севернее о. Валаам) производился отбор проб придонной воды для изотопного и электрохимического анализа с целью уточнения положения выходов подземных вод.

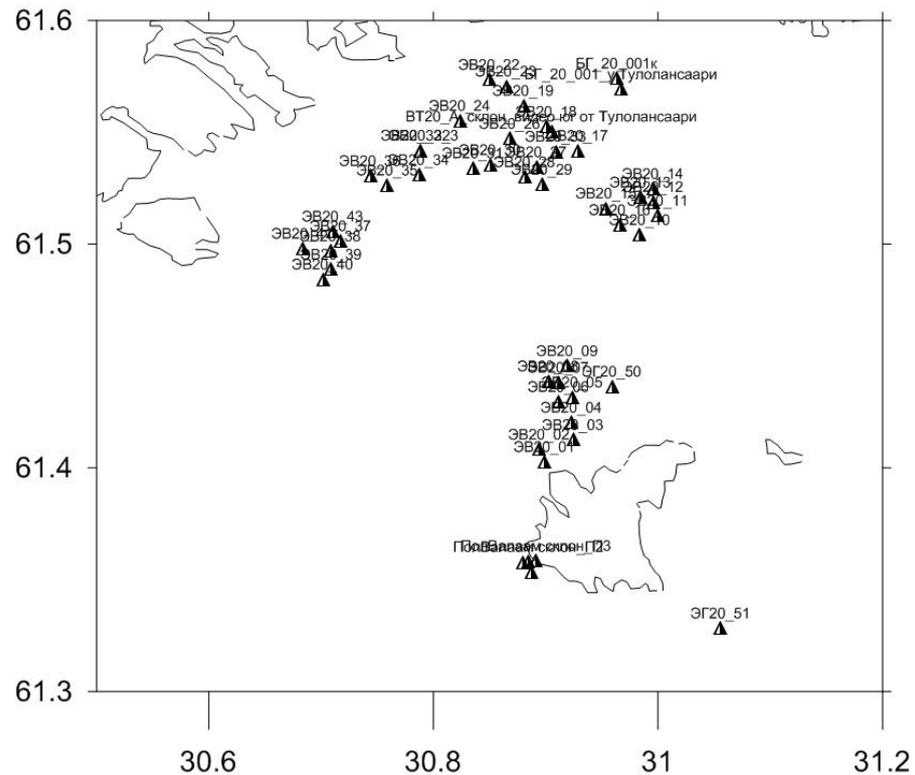


Рисунок 10.10 – Карта фактического материала водного пробоотбора

На большинстве станций проводился отбор проб донных осадков с помощью прямооточной трубки Лаури-Ниёмисте (рис. 10.11).



Рисунок 10.11 – Общий вид и работа с трубкой Лаури-Ниёмисте

В случае песчаных осадков применялся усовершенствованный дночерпатель Экмана-Берджа, позволяющий снимать на камеру дно в процессе пробоотбора, фиксировать угол посадки дночерпателя на дно и обеспечивающий свое закрытие на дне и забор донной пробы с пульта (рис. 10.16).



Рисунок 10.16 – Общий вид усовершенствованного дночерпателя Экмана-Берджа

Поднятые на борт керны и пробы донных отложений разрезались, фотографировались, описывались и опробовались для последующего гранулометрического анализа.

На рис. 10.17 показаны керны донных осадков, отобранных с помощью трубки Лаури-Ниёмисте и поднятый на борт НИС «Эколог» для изучения.

Из керна трубки отбирались пробы из основной литологической разновидности, характеризующей донные осадки на данной акватории. Пробы донных отложений упаковывались в герметичные полиэтиленовые зипперы.



Рисунок 10.17.– Примеры разрезанных кернов донных отложений

Отбор водных проб проводился с помощью батометра Нансена (рис. 10.18). Пробы придонной воды из батометра разливались в 500 г пластиковые емкости с герметичной крышкой - для изотопного анализа и измерений электропроводности.



Рисунок 10.18 – Работа с батометром Нансена

Изучение донных ландшафтов производилось с помощью подводных аппаратов «Limnoscout-230, 50», позволяющих в данной конфигурации проводить исследования до глубин 50 и более метров (рис. 10.19).



a)



б)

Рисунок 10.19 – Подводные аппараты «Limnoscout-230» (а) и «Limnoscout-50» (б)

Кроме того, на 4-х полигонах обрабатывались ландшафтные профили с борта судового катера. При этом производилась донная фотовидеосъемка с параллельными батиметрическими измерениями и спутниковой привязкой.

Фотовидеосъемка дна, проведенная на 28-ми станциях и 7-и видеопрофилях дала новую информацию о состоянии донных ландшафтов на изученной площади. Примеры донных съемок приведены на рис. 10.20.



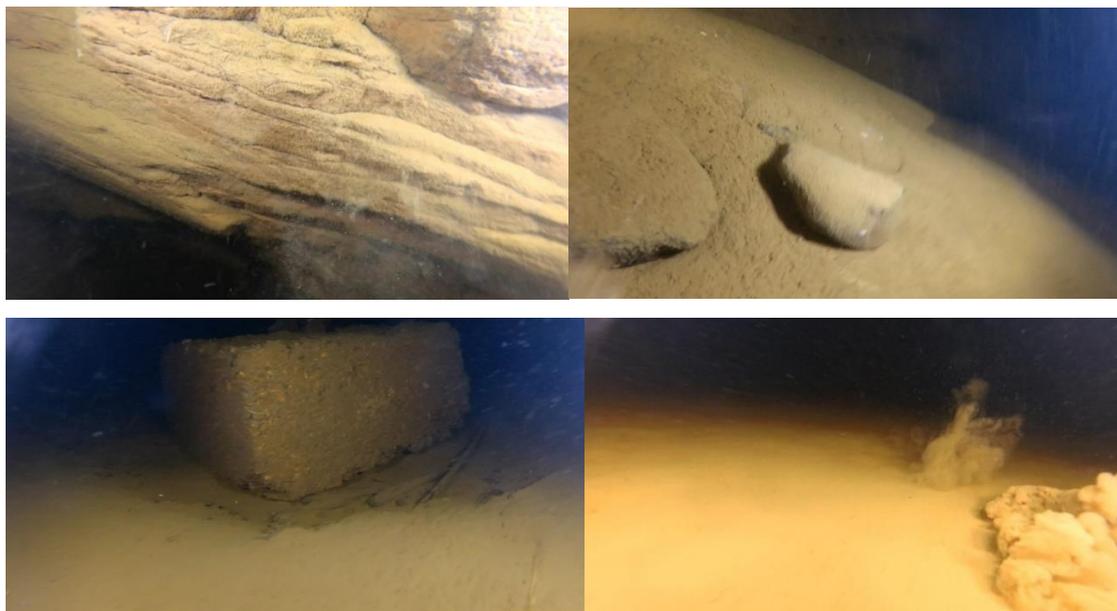


Рисунок 10.20 – Примеры фотографий донных ландшафтов, снятых с помощью подводного аппарата «Limnoscout»

Применение температурно-глубинного зонда сводилось к его медленному погружению на дно и медленному подъему на каждой станции с регистрацией температурных и батиметрических данных. При этом невысокая скорость спускоподъема обеспечивала наилучшую точность измерений температуры и глубины.

Все станции и профили сопровождалось эхолотным промером, для чего на донном пробоотборе использовался судовой эхолот (рис. 10.21), а на катерных работах – эхолот-картплоттер Lawrence. Данные по глубинам заносились в полевой дневник.



Рисунок 10.21 – Судовой эхолот FURUNO

Практически на всех станциях проводилось измерение прозрачности воды с помощью диска Секки.

Привязка станций производилась с помощью GPS-навигатора GARMIN GPSmap78.

10.1.2.2 Выполненные объемы исследований

Координаты отработанных станций, их глубина и дата отработки приведены в Таблице 10.1.

Таблица 10.1 – Координаты отработанных станций. Рейс НИС «Эколог» октябрь 2020 г. Ладожское озеро

Станция	N	E	Глубина	Дата
ЭГ20_172	60,58515	32,79802	8,4	04.10.2020
ЭГ20_173	60,63705	32,78303	14	04.10.2020
ЭГ20_153	60,71897	32,77353	11,2	04.10.2020
ЭГ20_129	60,8563	32,66322	15,6	04.10.2020
ЭГ20_64	61,33693	31,54832	27,2	04.10.2020
ЭГ20_631	61,41363	31,58132	13,6	05.10.2020
Полигон2_1	61,54747	31,33462	26,2	05.10.2020
Полигон2_2	61,54962	31,34457	110	05.10.2020

Продолжение таблицы 10.1

Крест20	61,4521	31,32238	80	05.10.2020
ЭВ20_10	61,5041	30,98145	46	05.10.2020
ЭВ20_16	61,5085	30,9638	39	05.10.2020
ЭВ20_15	61,51595	30,9516	104	05.10.2020
ЭВ20_13	61,52092	30,98218	65	05.10.2020
ЭВ20_12	61,51885	30,99323	74	05.10.2020
ЭВ20_11	61,5127	30,99752	92	05.10.2020
ЭВ20_14	61,5247	30,99332	161	05.10.2020
ЭВ20_29	61,52665	30,89433	107	05.10.2020
ЭВ20_28	61,52995	30,87895	111	05.10.2020
ЭВ20_27	61,53447	30,88928	145	05.10.2020
ЭВ20_17	61,54175	30,92615	63	05.10.2020
ЭВ20_18	61,55252	30,89835	54	05.10.2020
БГ_20_001_у Тулолансаари	61,56928	30,96475	118	05.10.2020
БГ_20_001к	61,57413	30,96085	114	05.10.2020
ВТ20_А_склон_видео юг от Тулолансаари	61,55033	30,90298	27	06.10.2020
ЭВ20_19	61,56187	30,87777	42	06.10.2020
ЭВ20_05	61,43157	30,92133	32	06.10.2020
ЭВ20_09	61,44557	30,91695	46	06.10.2020
ЭВ20_08	61,4387	30,90005	50	06.10.2020
ЭВ20_07	61,4381	30,909	40	06.10.2020
ЭВ20_06	61,42948	30,9092	36	06.10.2020
ЭВ20_04	61,42022	30,92067	38	06.10.2020
ЭГ20_50	61,4363	30,95653	42	06.10.2020
ЭВ20_03	61,41253	30,922	27	06.10.2020
ЭВ20_02	61,4082	30,89195	80	06.10.2020
ЭВ20_01	61,40265	30,8966	20	06.10.2020
полигон1_П1	61,35765	30,87693	16-156	07.10.2020
полигон1_П2	61,35793	30,88252	8-153	07.10.2020

Продолжение таблицы 10.1

полигон1_ПЗ	61,3585	30,8892	8-150	07.10.2020
ЭВ20_40	61,48425	30,69913	133	08.10.2020
ЭВ20_39	61,4887	30,70668	142	08.10.2020
ЭВ20_38	61,49685	30,70593	121	08.10.2020
ЭВ20_41	61,49802	30,68092	115	08.10.2020
ЭВ20_37	61,50132	30,71517	99	08.10.2020
ЭВ20_43	61,50563	30,70818	105	08.10.2020
ЭВ20_35	61,52623	30,75662	116	08.10.2020
ЭВ20_36	61,5305	30,74142	138	08.10.2020
ЭВ20_33	61,54135	30,90675	132	08.10.2020
ЭВ20_34	61,531	30,78483	134	08.10.2020
ЭВ20_32	61,54182	30,7856	85	08.10.2020
ЭВ20_32_3	61,54182	30,7856	73	08.10.2020
ЭВ20_24	61,55522	30,8212	127	08.10.2020
ЭВ20_26	61,54718	30,86568	136	08.10.2020
ЭВ20_30	61,53535	30,84828	106	08.10.2020
ЭВ20_31	61,53392	30,83272	147	08.10.2020
ЭВ20_23	61,57052	30,86243	101	08.10.2020
ЭВ20_22	61,57353	30,84737	38	08.10.2020
ЭГ20_63	61,38613	31,34102	33,3	09.10.2020
ЭГ20_62	61,35853	31,2473	98	09.10.2020
ЭГ20_51	61,3283	31,05353	64	09.10.2020
ЭГ20_61	61,27145	30,89432	148	09.10.2020
ЭГ20_60	61,24223	30,74323	131	09.10.2020
ЭГ20_58	61,22185	30,65403	23	09.10.2020
ЭГ20_59	61,232	30,69052	55	09.10.2020
ЭГ20_57	61,20053	30,57295	130	09.10.2020
ЭГ20_56	61,18058	30,48268	107	09.10.2020
ЭГ20_55	61,12565	30,32633	130	09.10.2020
ЭГ20_53	61,17837	30,10867	25	09.10.2020
ЭГ20_54	61,08398	30,21878	122	10.10.2020

Продолжение таблицы 10.1

ЭГ20_71	61,03047	30,31968	129	10.10.2020
ЭГ20_70	61,04985	30,43343	120	10.10.2020
ЭГ20_69	61,08953	30,66078	125	10.10.2020
ЭГ20_68	61,15933	30,77843	28	10.10.2020
ЭГ20_75	61,02842	30,84912	76	10.10.2020
ЭГ20_74	60,98018	30,57317	120	10.10.2020
ЭГ20_72	60,94258	30,43225	97	10.10.2020
ЭГ20_89	60,876	30,55608	44	11.10.2020
ЭГ20_88	60,92698	30,74028	83	11.10.2020
ЭГ20_87	60,94057	30,93352	64	11.10.2020
ЭГ20_86	60,96582	31,04833	58	11.10.2020
ЭГ20_76	61,12372	31,2948	90	11.10.2020
ЭГ20_77	60,19912	30,57847	104	11.10.2020
ЭГ20_78	61,24018	31,75845	36	11.10.2020
ЭГ20_79	61,25285	31,85757	19,5	11.10.2020
ЭГ20_64/65	61,33693	31,54832	44	12.10.2020
ЭГ20_651	61,25288	31,8576	13	12.10.2020
полигон3_П1	61,32428	31,60723	4-22	12.10.2020
полигон3_П2	61,31308	31,59093	10-40	12.10.2020
ЭГ20_80	61,21957	32,0721	14	13.10.2020
ЭГ20_81	61,17183	31,94225	82	13.10.2020
ЭГ20_82	61,1464	31,84268	89	13.10.2020
ЭГ20_83	61,10252	31,73487	59	13.10.2020
ЭГ20_85	61,08718	31,63522	82	13.10.2020
ЭГ20_84	61,14637	31,60195	77	13.10.2020
ЭГ20_77	61,19912	31,57847	105	13.10.2020
ЭГ20_97	60,9724	31,54192	75	13.10.2020
ЭГ20_98	61,03562	31,88883	49	13.10.2020
ЭГ20_99	61,05955	32,00607	65	13.10.2020
ЭГ20_102	61,15303	32,3182	20,5	14.10.2020
ЭГ20_101	61,11265	32,2533	42	14.10.2020

Продолжение таблицы 10.1

ЭГ20_100	61,08437	32,10908	79	14.10.2020
ЭГ20_107	60,9499	32,01702	55	14.10.2020
ЭГ20_106	60,9499	32,01702	62	14.10.2020
ЭГ20_105	61,00933	32,3108	49	14.10.2020
ЭГ20_104	61,03605	32,42255	25	14.10.2020
ЭГ20_103	61,06155	32,5048	17	14.10.2020
ЭГ20_128	60,957	32,53035	15	14.10.2020
ЭГ20_127	60,93638	32,936	29	15.10.2020
ЭГ20_126	60,91438	32,32947	59	15.10.2020
ЭГ20_130	60,84838	32,57447	25	15.10.2020
ЭГ20_131	60,83897	32,49373	40	15.10.2020
ЭГ20_152	60,76245	32,54295	30	15.10.2020
ЭГ20_154	60,68092	32,65053	17	15.10.2020
ЭГ20_171	60,57458	32,65602	11	15.10.2020

Объемы выполненных работ

- Пробы грунта 63;
- Пробы воды 42;
- Пробы бентоса 48;
- Число станций измерения температурного разреза 74;
- Число станций измерения прозрачности 95;
- Число видеопрофилей (протяженностью от 300 до 1000 м) 7;
- Число видеостанций 28.

Проведенные опытно-методические работы по изучению возможностей новой техники показали потенциально высокую эффективность ее применения. Полевые данные, полученные с помощью усовершенствованного дночерпателя Экмана-Берджа, подводных фотовидео съемочных аппаратов «Limnoscout-230» и «Limnoscout-50», температурно-глубинного зонда, составили значительную часть выполненных объемов работ.

Все материалы рейса находятся в данный момент в обработке. Результаты их интерпретации, аналитических исследований будут использованы для создания новых карт донных осадков, ландшафтов и выходов подземных вод в северной части Ладожского озера.

Обобщение результатов исследований

Ниже приводится ряд обобщенных результатов исследований, проведенных ранее 2020 года, но обработка, анализ, обобщение и публикация этих материалов производились в 2020 г.

Большая часть этих результатов опубликована.

10.1.3.1 Исследование донных осадков северной части Ладожского озера

В результате проведенного в 2019 г. донного пробоотбора на акватории Ладожского озера были получены 84 пробы донных отложений. В основном это алевропелитовые осадки, с практически повсеместным распространением приповерхностного слоя алевритового наилка мощностью 1-3 см.

Результаты описания донных осадков сведены в предварительную схему распределения донных отложений по точкам пробоотбора в северной части Ладожского озера (рис. 10.22).

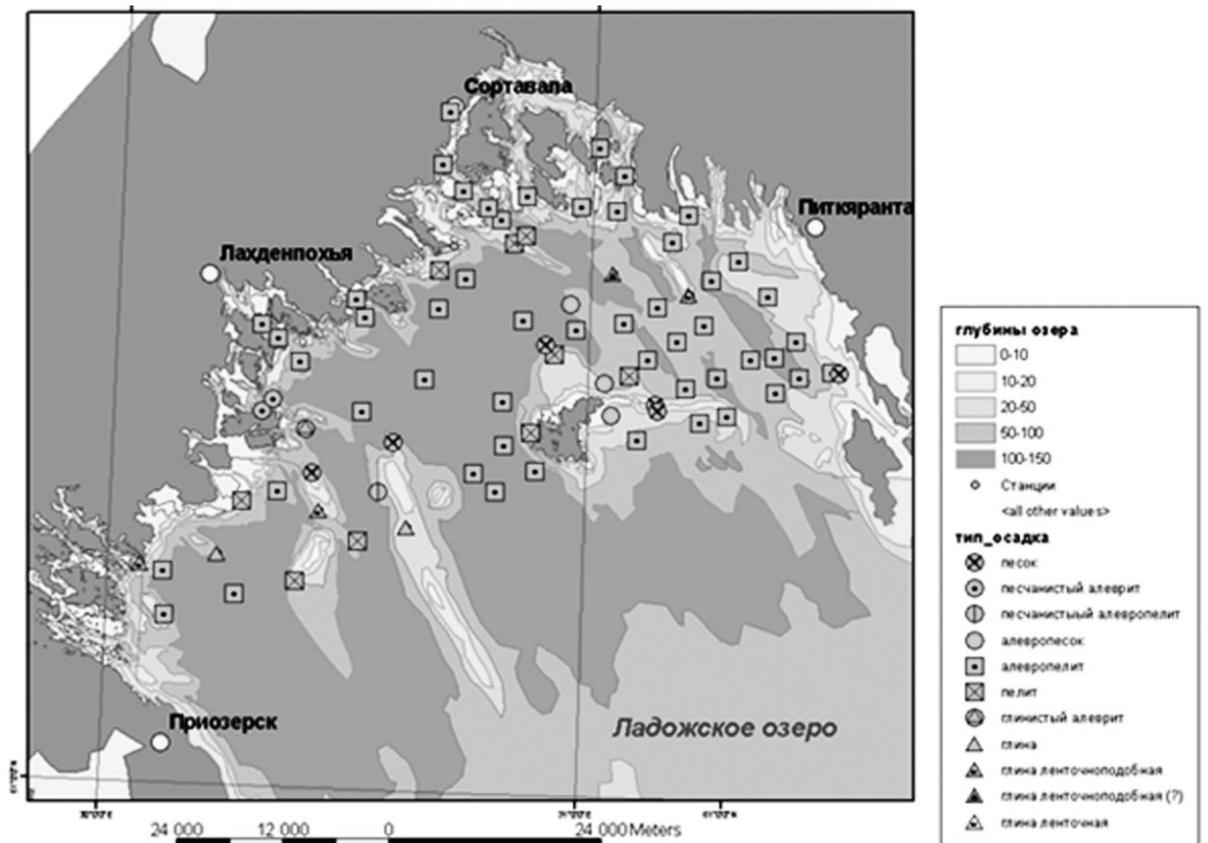


Рисунок 10.22 – Схема распределения донных отложений по точкам пробоотбора в северной части Ладожского озера

На схеме отчетливо видно, что при общем сохранении обычной зональности распространения донных отложений в крупных водоемах с коренными берегами с увеличением глубины (коренные породы – крупнообломочные – среднеобломочные – мелкообломочные – тонкообломочные) имеется и ряд особенностей. В частности, заметно заполнение алевропелитовыми отложениями мелководных зон во фиардах северного побережья озера, где эти осадки подходят практически к самому берегу до глубин нескольких метров. Пелитовые осадки напротив, часто занимают более высокую позицию на бортах глубоководных котловин, чем алевропелиты, что может говорить об особенностях более глубинного строения осадочного чехла, при котором глубокие котловины заполнены современными алевропелитами, а борта этих котловин могут быть сложены более древними осадками (возможно, верхней частью отложений Балтийского ледникового озера).

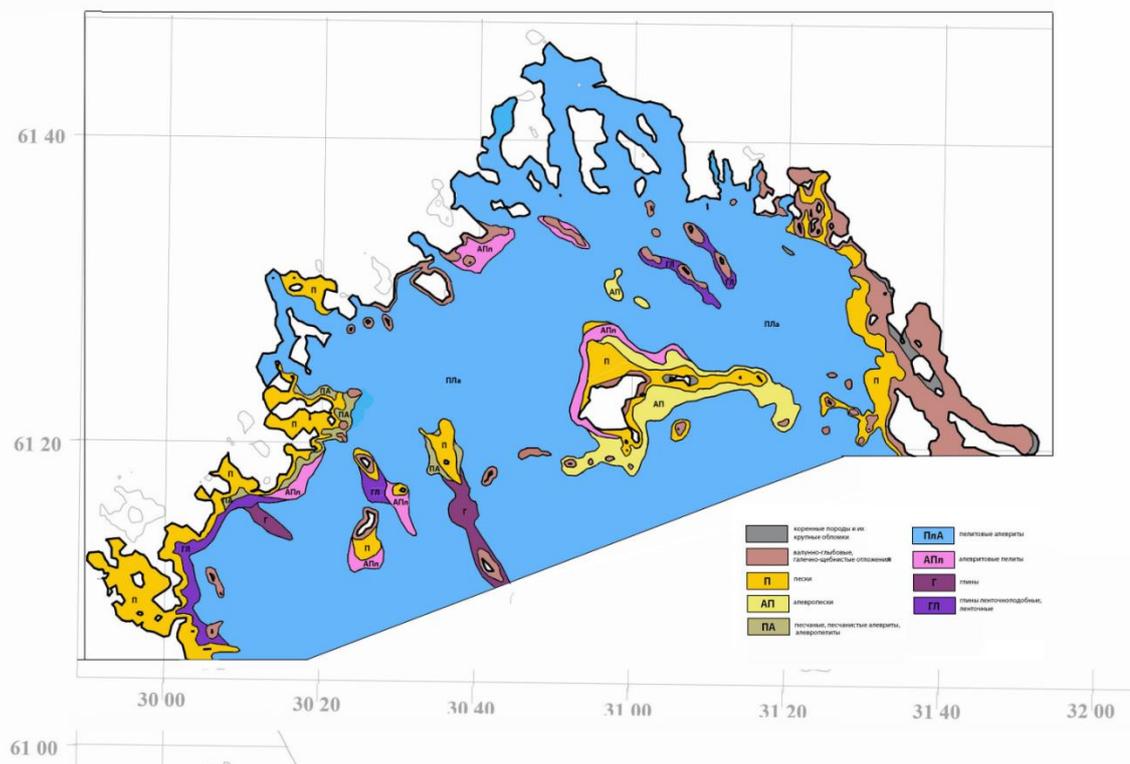


Рисунок 10.23 – Макет карты донных осадков северной части Ладожского озера

Следующим шагом было сопоставление точечной литологической схемы с подробной батиметрической картой, с данными крупномасштабных подводных съемок, с материалами предыдущих исследований [10,11,26].

Результатом явился макет карты донных осадков северной части Ладожского озера (рис. 10.23).

Используемые в настоящее время карты и схемы донных осадков Ладожского озера в существенной степени устарели. В частности, построения Н.И. Семеновича (рис. 10.24) [26], основанные в существенной части на визуальных определениях типов осадков, будучи достаточно полными для своего времени, по прошествии почти 60-ти лет нуждаются в пересмотре хотя бы по причине появления спутниковой навигации, дающей более точную привязку станций пробоотбора. Наиболее новой на настоящий момент является Литологическая карта поверхности дна акваторий из комплекта ГГК масштаба 1:1 000 000, листы Р-35, 36 2015 г. (рис. 10.25) [11]. Но масштаб этой карты позволяет видеть лишь общую картину распространения осадков на дне Ладоги, новую же карту предполагается строить в масштабе, близком к 1:500 000, что позволит визуализировать распространение осадков более детально.

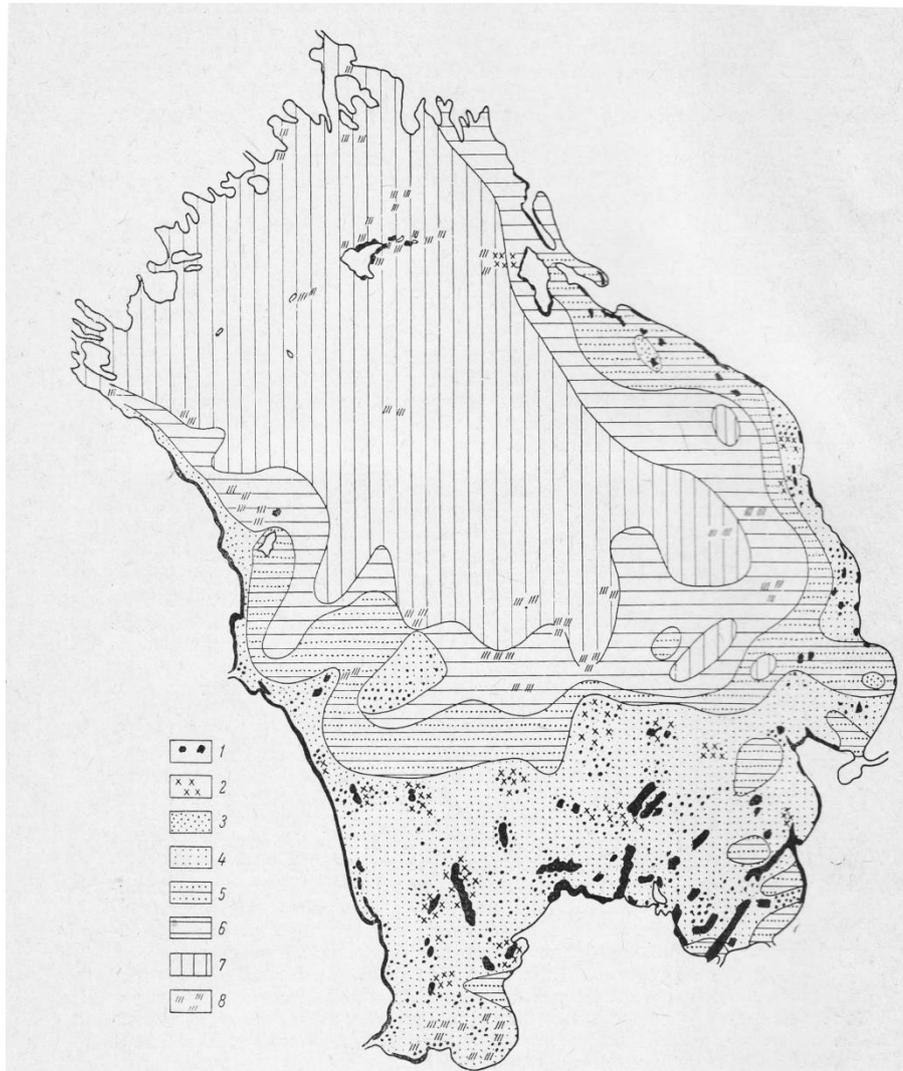


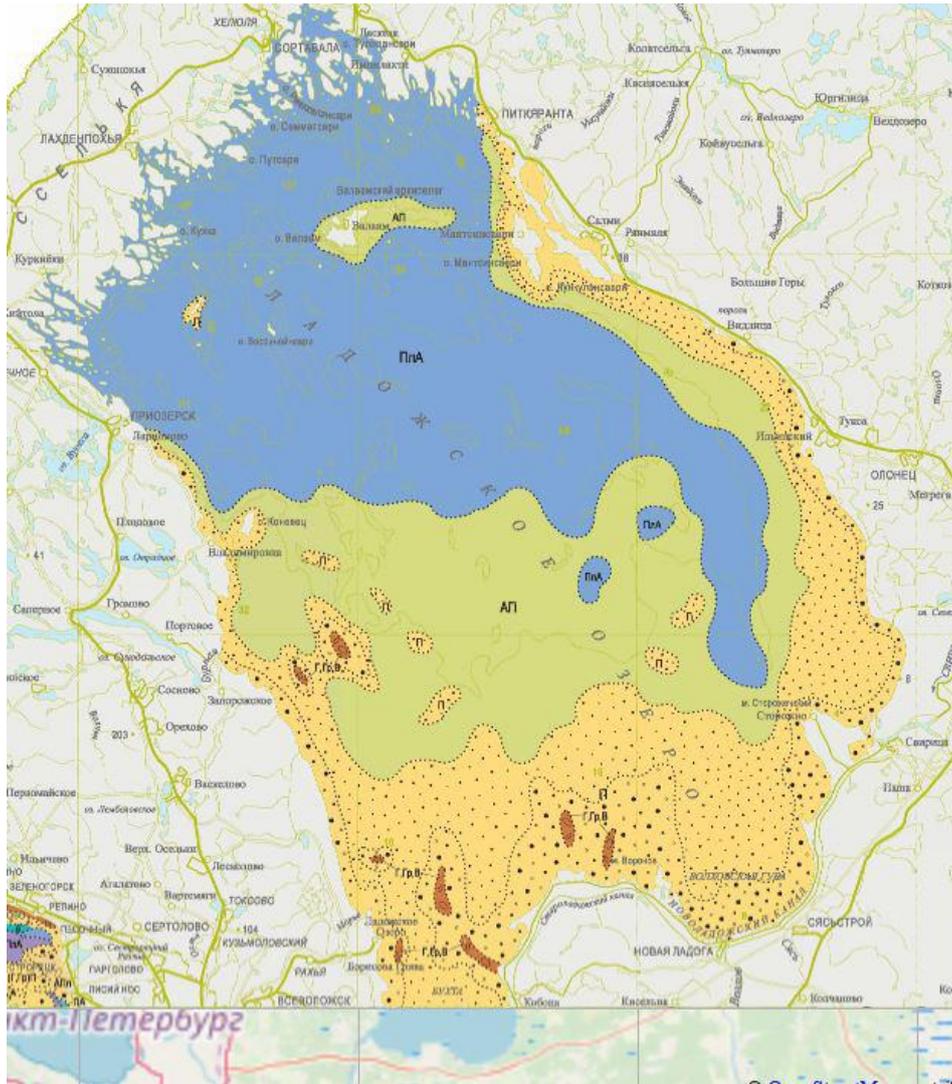
Рисунок 10.24 – Схема распределения донных отложений Ладожского озера [26]: 1 – камни (рупные обломки), 2 – галька и гравий, 3 – песок средний и крупный, 4 – песок

мелкий, 5 – крупноалевритовый ил, 6 – мелкоалевритовый ил, 7 – глинистый ил, 8 – выходы глин

Карта, изображенная на рис. 10.23, явно более информативна, чем схема Семеновича (рис.10.24) и Литологическая карта масштаба 1:1 000 000 (рис. 10.25) в соответствующей северной части.

По результатам донного пробоотбора 2020 г. (см. выше) предполагается нарастить площадь литологической карты на центральную и восточную части Ладожского озера. При продолжении пробоотбора в 2021 г. и покрытии им всей акватории озера планируется составление общей литологической карты Ладожского озера.

Потребность в таком изучении вполне назрела, так как существующие построения либо не отвечают современным требованиям, либо не соответствуют уровню задач по ряду параметров. Проведенные исследования являются первым шагом на пути к созданию карты распространения донных отложений Ладожского озера нового поколения.



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ

<p>Моногранулярные осадки (содержание преобладающей фракции более 75%)</p> <ul style="list-style-type: none"> ГрВ Галька, гравий, валуны П Песок А Алеврит Пч Пелит 	<p>Миктиты – смешанные осадки (содержание трех взаимно дополняющих групп фракций от 25 до 50% или отсутствующих от 10 до 25%)</p> <ul style="list-style-type: none"> ПчА Пелито-песчано-алевритовый миктит АПчА Алеврито-песчано-пелитовый миктит ПчАПч Песчано-алеврито-пелитовый миктит Подводные выходы дончехтериевых образований
<p>Выгранулярные – перетолстые осадки (содержание преобладающей фракции от 50 до 75%, дополнительной фракции – от 25 до 50% или отсутствующей – от 10 до 25%)</p> <ul style="list-style-type: none"> (Г,Гр)П Галечно-гравийный песок АП Алевритовый песок ПчП Пелитовый песок ПА Песчаный алеврит ПчА Пелитовый алеврит АПчА Алевритовый пелит 	<p>ЛИТОЛОГИЧЕСКИЙ СОСТАВ</p> <ul style="list-style-type: none"> Гравелиты (гравий), песчаники (пески) грубо- и крупнозернистые Пески мелко- и среднезернистые Валунки с галькой Валунки с гравием Поля развития железо-марганцевых конкреций Направления поверхностных течений Литологические границы

Рисунок 10.25 – Карта донных отложений Ладожского озера из комплекта Гостгеолкарты м 1:1 000 000 [11]

Уже на этом первом этапе выявлен ряд особенностей строения верхней части донных отложений Ладоги, таких, как заполнение алевропелитовыми отложениями мелководных зон во фиардах северного побережья озера, а также более высокое положение пелитовых осадков по сравнению с алевропелитами на бортах глубоководных котловин, и др.

Донный пробоотбор по предложенной методике предполагается продолжить до полного покрытия сетью станций всей акватории озера. После этого планируется создание карты донных осадков всего Ладожского озера нового поколения.

10.1.3.2 Выходы подземных вод в северной части Ладожского озера

Гипотеза о существовании зон разгрузки подземных вод на дне Ладожского озера возникла несколько десятилетий назад, когда при анализе проб придонной воды в глубоких впадинах северной части озера были обнаружены некоторые химические и физические отличия воды из придонного слоя впадин от основной водной толщи. На дне и частично в бортах впадин геологическим картированием были зафиксированы рифейские осадочные породы [1,11] – в том числе песчаники, с которыми можно было сопоставить водоносные горизонты, приуроченные к аналогичным песчаникам на прилегающей суше.

По некоторым предположениям разгрузка подземных вод может быть достаточно интенсивной, чтобы существенно влиять на водный баланс Ладожского озера [7]. Вопрос этот далеко не только теоретический, если вспомнить, что Ладожское озеро является источником пресной воды для Санкт-Петербурга и прилегающих районов, от качества этой воды зависит жизнь миллионов людей.

Проведены исследования изотопного состава воды в глубоководной части Ладожского озера. Исследования включали отбор водных придонных проб батометром Нансена с различных плавсредств, в т.ч. НИС «Полярник» и НИС «Посейдон». Глубины отбора составляли 100-200 м. Сеть отбора проб наращивалась от сезона к сезону, исходя из задачи локализации выявленных выходов подземных вод. К концу последнего отработанного сезона 2019 г. общее количество станций составило 84.

Эти пробы были подвергнуты лазерному изотопному анализу в Ресурсном центре «Рентгенодифракционные методы исследования» Научного парка СПбГУ.

Подземная вода, не имея непосредственного контакта с атмосферным воздухом, обычно обеднена как кислородными, так и водородными изотопами, и их отрицательные аномалии в придонной воде Ладожского озера с высокой степенью вероятности связаны с выходами подземных вод.

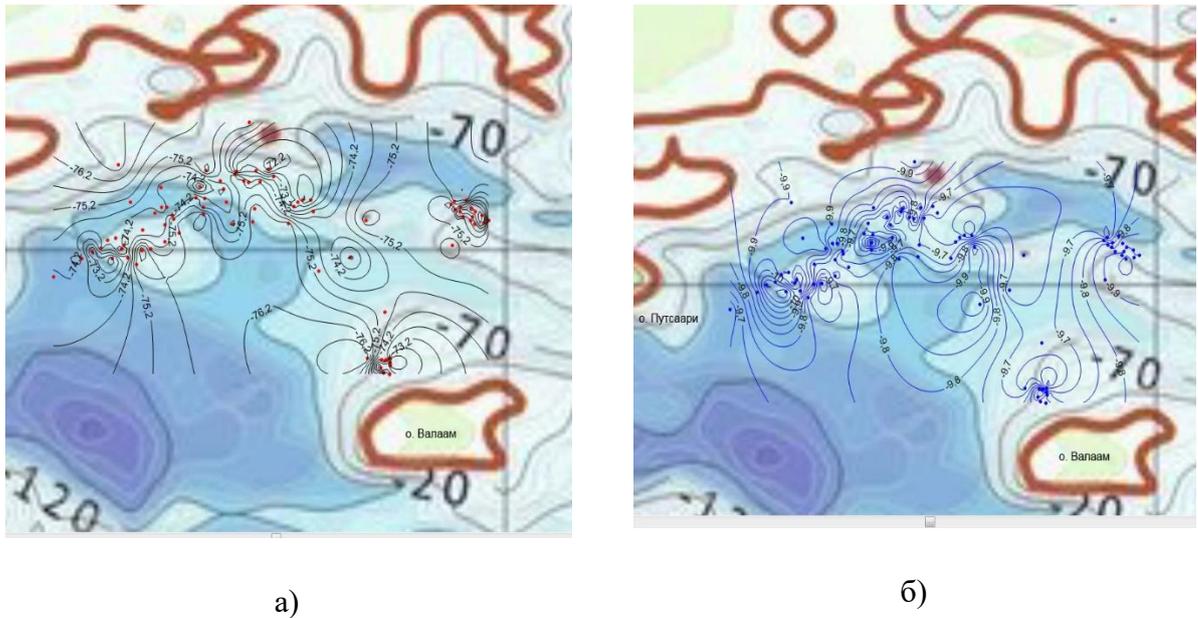


Рисунок 10.26– Схемы распространения изотопов $\delta^2\text{H}$ (а) и $\delta^{18}\text{O}$ (б).

Точки – станции отбора проб, тонкие линии с цифрами – изолинии содержаний изотопов. На врезке контуром обозначен район исследований

По результатам лазерного изотопного анализа были построены схемы аномально низких содержаний изотопа кислорода $\delta^{18}\text{O}$ и дейтерия $\delta^2\text{H}$, показывающие положение выходов подземных вод в северной части Ладожского озера (рис. 10.26).

На обеих схемах заметна концентрация изолиний аномальных содержаний в нескольких определенных районах – в основном на склонах и седловинах рельефа. Это вполне логично указывает на выходы водоносных горизонтов именно в склонах впадин.

Распространение зон концентраций изотопов Н и О довольно хорошо пространственно совпадают между собой, что говорит об общности источника аномалий.

Следующим этапом было сопоставление этих 2-х схем между собой, наложение их на качественную батиметрическую основу и картирование собственно площадей выходов подземных вод.

В результате была составлена схема выходов подземных вод в северной части Ладожского озера (рис. 10.27).

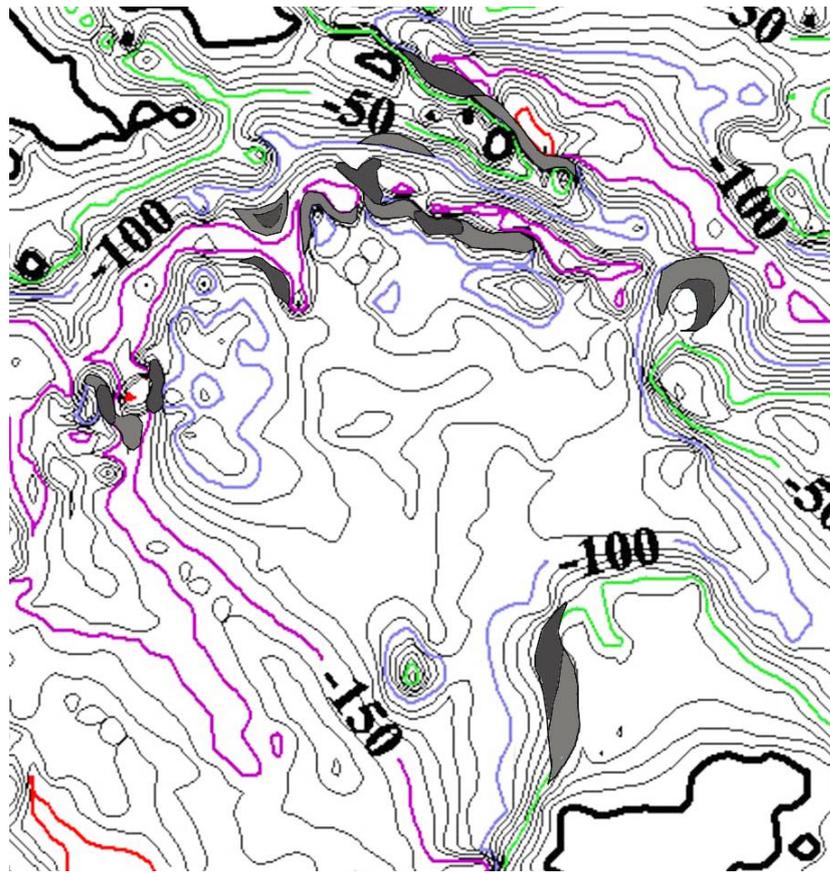


Рисунок 10.27 – Схема выходов подземных вод в северной части Ладожского озера. Поля темно-серого цвета – площади выходов подземных вод более интенсивные, поля светло-серые - площади выходов подземных вод менее интенсивные

При дальнейшем наращивании сети опробования и все более подробной локализации выходов подземных вод станет возможным крупномасштабное картирование этих выходов. В предстоящем сезоне предполагается обогатить методику исследования подводной фотовидеосъемкой с помощью подводного аппарата “Limnoscout-230”, созданного в ИНОЗ РАН и успешно работающего в Ладожском озере [28].

Предполагается также подвергнуть придонную воду ряду дополнительных анализов, которые должны выявить увеличенную минерализацию, присущую подземным водам и, таким образом, увеличить достоверность исследований.

Исследования подтвердили гипотезу о существовании зон разгрузки подземных вод на дне Ладожского озера. Показано, что аномальные концентрации изотопов трития и стабильных изотопов кислорода и водорода, приурочены к породам рифейского водоносного комплекса. Обнажения породы рифейского водоносного комплекса найдены на поверхности дна Ладожского озера и на его подводных склонах вдоль северного и

восточного побережий, а также в двух глубоководных впадинах. Полученные данные позволяют в дальнейшем рассматривать рифейские отложения Ладожского озера как источник «сверхчистого» водоснабжения, поскольку они защищены от всех видов техногенного воздействия [21, 25].

Морфотектоническое моделирование

Тектоническое строение района Ладожского озера изучалось довольно длительное время многими организациями и исследователями. Из наиболее значимых работ по этой тематике можно упомянуть построения Б.А. Ассиновской [6], А.В. Амантова [1], работы Института геологии КарНЦ РАН [19], ВСЕГЕИ [11] и многие другие.

Известно, что геологическая среда существенно влияет на здоровье и самочувствие человека, на экологическое состояние среды его обитания [24]. Поэтому изучение тектоники района Ладожского озера, являющегося источником пресной воды для миллионов людей, представляется весьма актуальным.

Во ВНИИОкеангеология разработана методика морфотектонического моделирования, позволяющая по данным о морфоструктурах рельефа территорий и дна водоемов судить о тектоническом строении этих районов. Эта методика была успешно применена при изучении тектоники Магеллановых гор (Тихий океан) [34, 35,] и в настоящее время используется для уточнения тектонического строения района Ладожского озера. Предварительные результаты морфотектонического моделирования в этом районе были положены в основу данной публикации.

Исследования основывались на изучении рельефа с созданием деформационных морфотектонических (геомеханических) моделей участков земной коры с выявлением действующих в них напряжений.

В распоряжении авторов имеется цифровая модель рельефа (ЦМР) дна Ладожского озера, на настоящее время считающаяся наиболее полной из всех существующих.

Данные ЦМР были обработаны в программе Maple, в результате чего была построена модель деформационного поля района Ладожского озера.

Реальный рельеф дна в модели аппроксимируется однослойной структурой, по мощности, модулю упругости, коэффициенту Пуассона, удельному весу соответствующей данным о земной коре в этом районе.

В принятой модели поверхность дна представлена как эластичная мембрана, прогибающаяся на стержнях различной высотой. Значение высоты стержня (z) и его пространственное положение (x, y) берется в точках касания мембраны, и, таким образом,

напрямую зависят от батиметрических данных исследуемого района. Далее координаты стержней (x , y , z) в матричной форме импортируются в разработанную нами расчетную программу, созданную в среде пакета Maple Software. По результатам моделирования выявляется напряженное состояние участков рельефа.

Характер распределения напряжений в предложенной модели определяется методом конечных элементов (МКЭ). В соответствии с МКЭ, сплошная среда моделируется путем разбиения ее на конечные элементы (области небольшого размера, решения на которых могут быть сведены к системе алгебраических уравнений). В результате моделируется поле напряжений для целой конструкции. Основной задачей определения напряженно-деформированного состояния для модели рельефа является получение функции прогибов, по которой в дальнейшем определяются изгибающие, крутящие моменты, а также «нормальные» и «тангенциальные» напряжения, действующие в нем.

В исследованиях использованы несколько вариантов построения деформационной модели. Для одного из них была построена карта-схема блочного строения рельефа дна методом геодинамического районирования с использованием морфоструктурного анализа (рис. 10.29). Основным положением метода является представление о различной интенсивности вертикальных движений блоков по системе разновозрастных разломов различной глубины заложения. При этом имеется в виду, что любые горизонтальные перемещения блоков находят свое отражение в их вертикальных движениях. По некоторым из них происходят современные движения земной коры. Главным элементом в блочной структуре является блок, выделяемый по унифицированному комплексу признаков. За блок, в данном случае, принимается участок земной коры, имеющий относительно одинаковое гипсометрическое поле высотных отметок. Границы блоков проводятся по определенным элементам рельефа.

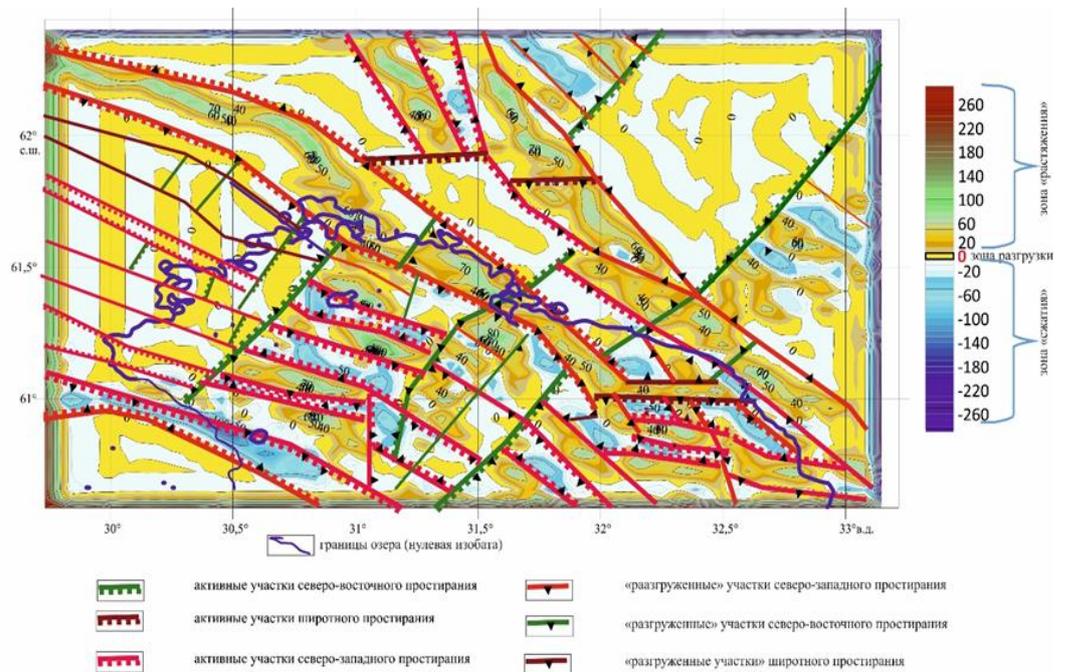
Анализ результатов моделирования проходил по следующему алгоритму: сначала выделялись линии с нулевыми значениями касательных напряжений, маркирующие участки, находящиеся в условиях смены вида напряжений (растяжения/сжатия), то есть «разгруженные» зоны. Далее выделялись области с максимальными значениями тангенциальных напряжений растяжения и сжатия. Участки, на которых зоны «разгрузки» граничат с областями, имеющими максимальные значения градиентов напряжений, относятся к наиболее геодинамически активным и могут быть сопоставлены с разломами коры.

В результате проведенного моделирования был получен ряд схем, отражающих морфотектоническую ситуацию в районе Ладожского озера. Две из них приведены на рис.

10.29 и 10.30. На схеме видна явно блоковая структура района. Блоки имеют вытянутую прямоугольную форму с общим простиранием на ЗСЗ. Секущие СВ структуры находятся явно в подчиненном положении, хотя и играют важную роль, смещая и ограничивая блоки. Довольно заметны субширотные линии, проявляющиеся в основном в СВ приладожье.

Участки, выделенные, как геодинамически активные, в принципе, должны сопоставляться с активными в настоящее время тектоническими разломами, со всеми вытекающими последствиями – здесь можно ожидать тектонических подвижек с сейсмическими явлениями, аномалий физических полей, эманацій, разгрузок подземных вод (при пересечении с водоносными горизонтами) и пр.

Кроме того, из схемы следует, что в районе Ладожского озера в коре преобладает растяжение.



«Разломы», показанные на схеме проведены по областям расположенным в зонах с «нулевыми» значениями касательных напряжений и маркируют «ослабленные» участки.

Рисунок 10.29 – Морфотектоническая схема района Ладожского озера, построенная по результатам тектонофизического моделирования

Разумеется, приведенная схема является не результирующей, а лишь этапной в процессе создания реальной картины тектонического строения района Ладожского озера. Эту схему в дальнейшем планируется сопоставить с построениями предшественников [1; 6; 11], учесть результаты линеаментного анализа, проведенного авторами по данному

району [5]. Дальнейший синтез всей существующей информации, возможно, позволит создать обобщающую тектоническую карту.

В результате морфотектонического моделирования по цифровой модели рельефа дна Ладожского озера создана предварительная тектонофизическая схема района Ладожского озера.

На схеме отчетливо видно блоковое строение района. Блоки коры в основном имеют прямоугольную форму, вытянутую на ЗСЗ.

Секущие СВ структуры находятся в подчиненном положении, играя важную роль ограничителей блоков. Заметны субширотные линии, проявляющиеся в основном в СВ приладожье.

Морфотектоническое моделирование района Ладожского озера предполагается продолжить в различных модификациях, что даст возможность взаимного сопоставления полученных результатов для повышения их достоверности.

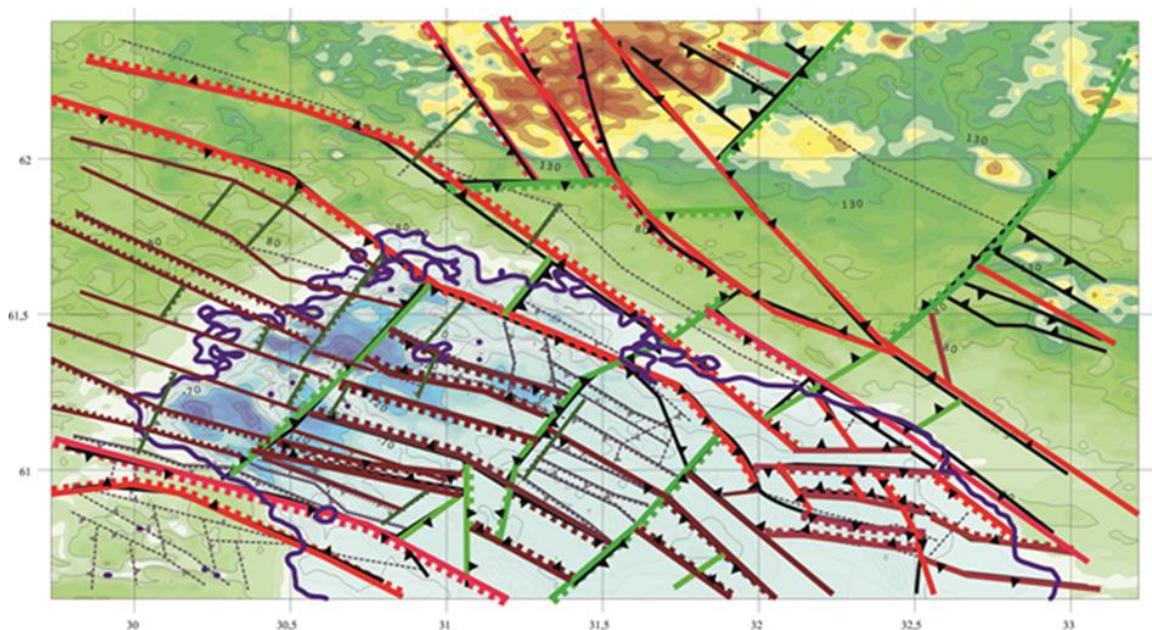


Рисунок 10.30 – Предварительная схема блокового деления коры в центральной и северной частях Ладожского озера. Зубчатые линии – границы блоков разной степени интенсивности и активности

Все результаты будут сопоставляться с построениями предшественников, а также с результатами линеаментного анализа [5] – для выработки общей концепции построения новой тектонической карты района.

1) Петухов С.И., Анохин В.М., Науменко М.А. ПЕРВЫЙ ОПЫТ МОРФОТЕКТОНИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РАЙОНА ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА. В сборнике: География: развитие науки и образования. Коллективная монография по материалам ежегодной международной научно-практической конференции. Отв. редакторы С.И. Богданов, Д.А. Субетто, А.Н. Паранина. 2020. С. 147-151.

2) Анохин В.М., Дудакова Д.С. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА В 2019 ГОДУ. В сборнике: География: развитие науки и образования. Коллективная монография по материалам ежегодной международной научно-практической конференции. Отв. редакторы С.И. Богданов, Д.А. Субетто, А.Н. Паранина. 2020. С. 80-85.

3) Анохин В.М., Рыбакин В.Н., Токарев И.В., Румянцев В.А. НОВЫЕ ДАННЫЕ О РАСПРОСТРАНЕНИИ ВЫХОДОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА ДНЕ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА. В сборнике: География: развитие науки и образования. Коллективная монография по материалам ежегодной международной научно-практической конференции. Отв. редакторы С.И. Богданов, Д.А. Субетто, А.Н. Паранина. 2020. С. 85-89.

4) Vladimir Anokhin, Dina Dudakova, Mikhael Dudakov. Studying the bottom landscapes of Lake Ladoga using underwater vehicles// EGU2020-1743 EGU General Assembly 2020 © Author(s) 2019. This work is distributed under the Creative Commons Attribution 4.0 License.

5) Дудакова Д.С., Анохин В.М., Дудаков М.О. Влияние рельефа дна на структурные характеристики прибрежных подводных ландшафтов Ладожского озера//Материалы VIII Щукинских чтений. М., МГУ, 2020. С. 71.

Научные мероприятия

4-8 мая - Участие в Генеральной ассамблее Европейского союза наук о Земле EGU (Вена, Австрия) онлайн

Представлена и обсуждена презентация доклада «Studying the bottom landscapes of Lake Ladoga with use of underwater vehicles». Авторы - Vladimir Anokhin, Dina Dudakova, Mikhael Dudakov

29 мая - участие в Международном молодежном научно-практическом семинаре "Ладога: шхеры и их подводный мир" онлайн

28 сентября - 01 октября - участие во Всероссийской конференции «VIII Щукинские чтения: рельеф и природопользование»

16-17 декабря – участие в IV Всероссийской конференции МГО-2020 «Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития», Санкт-Петербург.

Доклад: «Рельеф и донные ландшафты Ладожского озера»

Полевые работы

2-14 июля – исследования опасных природных процессов на реках и каналах Санкт-Петербурга. Донный пробоотбор

16-19 июля – исследования подводных ландшафтов Ладожского озера в районе Питкярантских шхер. Подводная фотовидеосъемка донных ландшафтов, эхолотирование, донный пробоотбор.

20-30 июля - исследования подводных ландшафтов Ладожского озера в районе Ляскельских шхер. Подводная фотовидеосъемка донных ландшафтов, эхолотирование, донный пробоотбор.

06-27 августа - исследования опасных природных процессов на реках и каналах Санкт-Петербурга. Геоморфологическая съемка

02-09 сентября - исследования опасных природных процессов на реках и каналах Санкт-Петербурга. Геоморфологическая съемка, георадарное профилирование

3-17 октября – рейс на НИС «Эколог» в Ладожское озеро. Донный пробоотбор, фотовидеопрофилирование дна, испытания новой техники подводных исследований

10.2 Исследование геоморфологических особенностей Магеллановых гор Восточно-Марианской котловины Тихого океана

Геоморфология Магеллановых гор (Тихий океан)

Результаты изучения геологии и геоморфологии дна Тихого океана имеет непосредственное отношение к информационному пространству Санкт-Петербурга, т.к. все эти исследования выполняются под руководством головного предприятия отрасли – института ВНИИ Океангеология, который, наряду с другими научными организациями Санкт-Петербурга, включен в структуру государственной темы 82.1 ФНИ СПбНЦ. Поэтому результаты многолетних исследований геоморфологии одного из районов Тихого океана – Магеллановых гор, выразившиеся в главе «Геоморфология» вышедшей в 2020 г.

монографии «Геология гайотов Магеллановых гор» [20], включены в данный отчет. Автор отчета д.г.н. В.М. Анохин является непосредственным участником океанских исследований в Магеллановых горах с 2001 по 2017 гг. и соавтором упомянутой монографии.

10.2.1 Краткая характеристика объекта

Магеллановы горы представляют собой цепь подводных вулканотектонических построек, пересекающую с северо-запада на юго-восток Восточно-Марианскую котловину и разделяющую ее на южную (впадина Сайпан) и северную (котловина Пигафетта) (рис. 10.2.1).

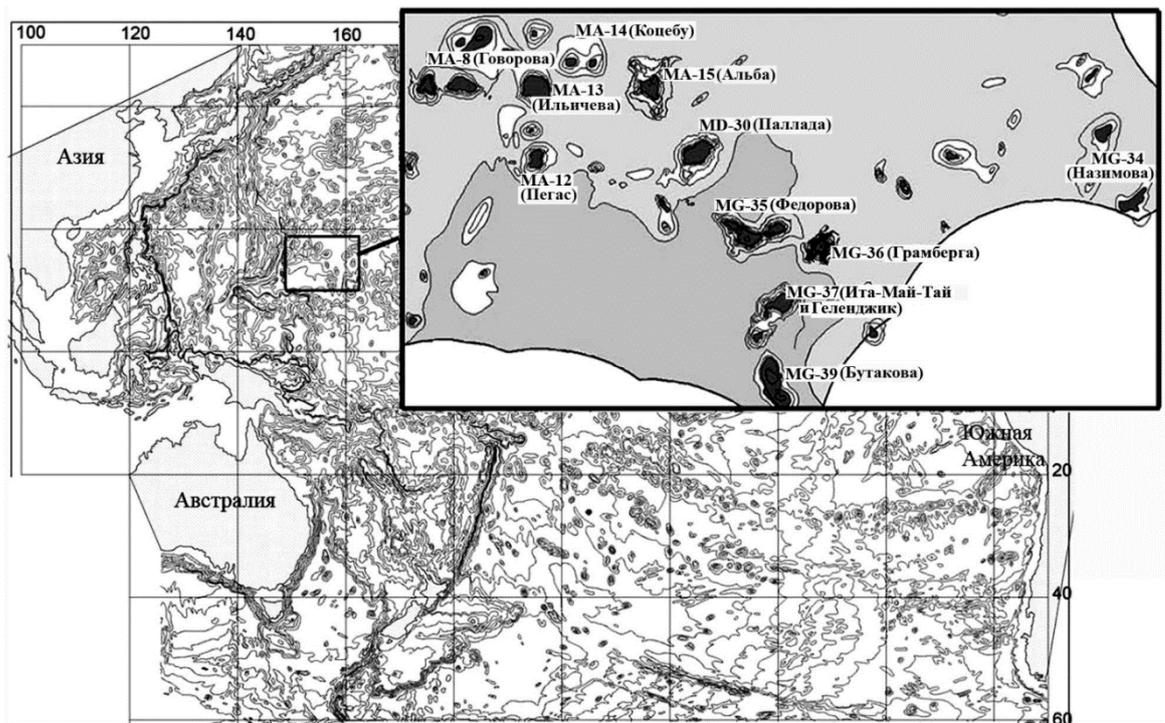


Рисунок 10.2.1 – Расположение Магеллановых гор на акватории Тихого океана

До середины 80-х годов гайоты Магеллановых гор изучались в основном судами АН СССР. В районе были пробурены глубоководные скважины: 199 и 585 DSDP между гайотами Федорова и Ита-Май-Тай, 200 и 202 DSDP на вершинном плато гайота Ита-Май-Тай, 801 ODP в котловине Пигафетта и 802 ODP во впадине Сайпан.

Регулярные геолого-геоморфологические работы в Магеллановых горах производились АО «Дальморгеология» до 1996 года. С 2000 г. работы выполняются ГНЦ «Южморгеология» (с 2016 г. – АО «Южморгеология»).

Все работы осуществляются под руководством головного предприятия отрасли – института ВНИИ Океангеология (Санкт-Петербург).

До 2018 г. проведено 13 рейсов НИС «Геленджик» (рис. 10.2.2), в ходе которых на всех гайотах Магеллановых гор выполнена площадная батиметрическая съемка многолучевым эхолотом Simrad EM12 S-120 и спорадические батиметрические исследования межгорных впадин вдоль курсов подхода – отхода к району работ.



Рис. 10.2.2 – Научно-исследовательское судно «Геленджик»

Результатом этой съемки явились кондиционные карты рельефа гайотов масштаба 1:200 000, сонарные изображения, теневые карты рельефа и карты уклонов дна, построенные с шагом 200 x 200 м. Помимо батиметрии комплекс методов включал геоакустическое, магнитное и фототелевизионное профилирование дна, а также донный пробоотбор скальными коробчатыми драгами и бурением неглубоких скважин погружной буровой установкой ГБУ-1/4000-2 конструкции НПП «Севморгео».

Комплексирование результатов различных видов исследования позволило установить не только новые геоморфологические особенности строения Магеллановых гор, но и трактовать их генезис.

К Магеллановым горам относят цепь подводных гор, пересекающую Восточно-Марианскую котловину с северо-запада на юго-восток и разделяющую ее на 2 части: юго-восточную – котловину Сайпан и северо-западную – котловину Пигафетта (или Минамитори). Северо-западная часть ограничена 18°30' с.ш. и 149° 30' в.д., а юго-восточная – 10° с.ш. и 158° в.д.

К началу широкомасштабных работ организациями Министерства природных ресурсов (1986 год) несколько горных сооружений Магеллановых гор были предварительно

исследованы научно-исследовательскими судами РАН «Дмитрий Менделеев» (1981 г.), «Академик Александр Несмеянов» (1983, 1986, 1988 г.г.), «Вулканолог» (1986 г.) и некоторых других [9; 23; 22]. В 1984-85 годах на гайотах Федорова (ранее - ИОАН) и Ита-Май-Тай в рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» выполнялись исследования на микрополигонах, в том числе с использованием подводных обитаемых аппаратов «Пайсис». В районе были пробурены глубоководные скважины: 199 и 585 DSDP между гайотами Федорова и Ита-Май-Тай, 200 и 202 DSDP на вершинном плато гайота Ита-Май-Тай, 801 ODP в котловине Пигафетта и 802 ODP в котловине Сайпан. При выполнении всех этих работ для промера глубин использовались однолучевые эхолоты и целостной картины о рельефе дна получено не было.

Первый этап геологоразведочных работ, проведенных геологической службой СССР, а позже России, отрабатывался силами АО «Дальморгеология» (до 1996 года) [9; 12; 23; 22]. С 2000 года работы выполняются ГНЦ «Южморгеология» (с 2016 года – АО «Южморгеология»).

Лишь два гайота из состава Магеллановых гор имели официально утвержденные названия. Это гайоты Ита-Май-Тай и Федорова [8]. Поскольку крайне неудобно проводить работы на безымянных объектах, различные организации, выполнявшие исследования, называли по-разному одни и те же горы или давали им номера [23, 22].

Такая практика наименований существовала до появления в 70-х годах XX в. национальных и международных правил номинации форм подводного рельефа. Правила номинации были сформулированы на международном уровне при подготовке 5-го издания Международной Генеральной батиметрической карты океанов (ГЕБКО). Предложения о наименованиях поступают в подкомитет по географическим названиям (SCUFN), где рассматриваются экспертами, утверждаются и включаются в постоянно пополняющийся Газетир ГЕБКО.

Поскольку мы впервые выполнили детальную батиметрическую съемку многолучевым эхолотом всех наиболее крупных гайотов Магеллановых гор, то имели достаточные основания для того, чтобы прекратить путаницу в названиях гайотов Магеллановых гор, подав заявки на присвоение подводным горам официальных названий в Подкомитет по наименованию подводных форм ГЕБКО. Благодаря консультациям российских представителей в Подкомитете по географическим названиям (SCUFN) Г.В. Агаповой и К.О. Добролюбовой, с 2004 по 2009 гг. были утверждены следующие названия для группы исследованных нами гайотов [33; 36; 38; 39].

Гайот Грамберга (координаты центра вершины $13^{\circ} 55'$ с.ш., $157^{\circ} 35'$ в.д.) – назван в честь академика И.М. Грамберга (1922 - 2002), выдающегося исследователя Мирового океана, длительное время возглавлявшего институт ВНИИ Океангеология.

Гайот Геленджик (координаты центра вершины $12^{\circ} 15'$ с.ш., $156^{\circ} 25'$ в.д.), входящий в единый вулканотектонический массив с гайотом Ита-Май-Тай, – назван в честь научно-исследовательского судна «Геленджик», проводившего многолучевую батиметрическую съемку и ряд других исследований на гайотах Магеллановых гор, включая и гайот Геленджик.

Гайот Альба (координаты центра вершины $16^{\circ} 55'$ с.ш., $154^{\circ} 15'$ в.д.) – назван в честь Франциско Альба, штурмана экспедиции Магеллана, сумевшего после смерти Магеллана сохранить судовые журналы экспедиции.

Гайот Паллада (координаты центра вершины $15^{\circ} 40'$ с.ш., $155^{\circ} 10'$ в.д.) – назван в честь фрегата «Паллада», совершившего в 1852-1855 гг. кругосветное путешествие с океанографическими работами под командованием капитана И.С. Унковского и прошедшего над Магеллановыми горами.

Гайот Бутакова (координаты центра вершины $11^{\circ} 15'$ с.ш., $156^{\circ} 37'$ в.д.) – назван в честь адмирала российского флота И.И. Бутакова (1822 –1882), участника кругосветного плавания на фрегатах «Паллада» (1852) и «Диана» (1853 – 1854).

Гайот Говорова (координаты центра вершины $17^{\circ} 50'$ с.ш., $150^{\circ} 50'$ в.д.) – назван в честь И.Н. Говорова (1920 – 1997), доктора геолого-минералогических наук, видного специалиста по магматизму океана, сотрудника Дальневосточного геологического института.

Гайот Пегас (координаты центра вершины $15^{\circ} 35'$ с.ш., $152^{\circ} 05'$ в.д.) – назван в честь НИС «Пегас», судна СахКНИИ, позже ИМГиГ, выполнявшего геолого-геофизические исследования в пределах Магеллановых гор.

Гайот Ильичева (координаты центра вершины $16^{\circ} 55'$ с.ш., $152^{\circ} 05'$ в.д.) – назван в честь академика В.И. Ильичева (1932 - 1994), руководившего Тихоокеанским океанологическим институтом с 1974 по 1994 гг.

Гайот Коцебу (координаты центра вершины $17^{\circ} 25'$ с.ш., $152^{\circ} 55'$ в.д.) – назван в честь О.Е. Коцебу (1788 – 1846): капитана 1-го ранга, участника трех кругосветных плаваний на кораблях «Надежда», «Рюрик», «Предприятие».

Гайот Скорняковой (координаты центра вершины $16^{\circ} 52'$ с.ш., $149^{\circ} 53'$ в.д.) – назван в честь Н.С. Скорняковой (1924 – 1995), доктора геолого-минералогических наук,

ведущего специалиста в области изучения океанических железомарганцевых руд, сотрудника Института океанологии Российской академии наук.

Гайот Гордина (координаты центра вершины $16^{\circ} 59'$ с.ш., $150^{\circ} 44'$ в.д.) – назван в честь В.М. Гордина (1942 – 2006), кандидата физико-математических наук, сотрудника института физики Земли РАН, специалиста в области теории и практики морских магнитометрических исследований, участника экспедиций в Тихий и Индийский океаны.

Гайот Вулканолог (координаты центра вершины $17^{\circ} 59'$ с.ш., $152^{\circ} 00'$ в.д.) – назван в честь НИС «Вулканолог», судна Института вулканологии ДВО РАН, впервые исследовавшего этот гайот в 1986 г. Это название впервые предложено специалистами ИВ ДВО РАН, однако, не были произведены процедуры по его утверждению.

Гайот Затонского (координаты центра вершины $12^{\circ} 46'$ с.ш., $157^{\circ} 50'$ в.д.) – назван в честь Л.К. Затонского (1925 – 2002), кандидата географических наук, российского морского картографа, сотрудника института океанологии РАН, участника экспедиций в Тихий и Индийский океаны, автора многих морских карт и публикаций по морской картографии, разработчика новых картографических проекций.

По заявке корейских исследователей, небольшому гайоту в юго-восточной части цепи было присвоено наименование **гайот Ариранг** [39].

Группа из двух островершинных гор, расположенных восточнее гайота Пегас, названа **горы Мельникова** в память выдающегося геолога, многолетнего руководителя исследований Магеллановых гор, Михаила Евгеньевича Мельникова.

10.2.2 Методика изучения рельефа

С 2000 по 2018 гг. проведено 11 рейсов НИС «Геленджик», направленных на выявление перспектив кобальтоносного железомарганцевого оруденения, в ходе которых на всех гайотах Магеллановых гор и четырех гайотах сопредельного участка поднятия Маршалловых островов выполнена площадная батиметрическая съемка многолучевым эхолотом Simrad EM12 S-120. Этот эхолот имеет 81 луч и обеспечивает съемку на глубинах от 50 до 11 000 м в сплошной полосе максимальной шириной до 3.5 глубин места. Рабочая частота сигнала 13 кГц, электрическая мощность импульса 12 кВ·А. Период излучения выбирается эхолотом от 9 до 13 с автоматически, по мере завершения цикла обработки принятых сигналов. При проведении съемки гайоты вначале обходились по периметру с целью отслеживания подножья. В дальнейшем положение профилей выбиралось с

обеспечением перекрытия полос съемки в 10 - 15 %. Вершинные поверхности обрабатывались по системе параллельных профилей.

В результате батиметрической съемки для каждого из гайотов получены кондиционные карты рельефа дна масштаба 1:200 000, а также карты амплитуд обратно рассеянного сигнала эхолота (сонарные изображения), теневые карты рельефа и карты уклонов дна, построенные на основе сеточных файлов с шагом 200 x 200 м. Изобаты на батиметрических картах проведены через 25 м. На отдельных (детализационных) участках получены такие же кондиционные карты масштаба 1:50 000. При переходе между гайотами многолучевым эхолотом выполнялся попутный промер, что позволило охарактеризовать участки межгорные впадин и абиссальных котловин.

Полученные данные о рельефе гайотов позволили акцентировано провести фототелевизионное профилирование и геологическое опробование. Фотопрофилирование выполнялось в радиальном направлении относительно центров вершин гайотов вниз по склону. Опробование выполнялось на выделенных участках фотопрофилей, на склоновых поверхностях драгами, на субгоризонтальных – бурением.

10.2.3 Результаты исследований

Цепь Магеллановых гор состоит как из одиночных горных сооружений, так и из вулканотектонических массивов, представляющих собой несколько построек, локализованных на едином цоколе. В цепи Магеллановых гор развиты как плосковершинные сооружения (гайоты), так и островершинные горы.

Гайоты обычно больше по площади, чем островершинные горы и преобладают по количеству – их насчитывается 15.

Самую большую площадь имеет гайот Говорова, вслед за ним идут гайоты Альба, Паллада и Федорова, находящиеся ближе к географическому центру цепи. Эти гайоты, а также гайоты Грамберга, Ита-Май-Тай и Геленджик, изучены наиболее детально (рис. 10.2.3).

Наиболее крупный массив, площадью более 43 500 км², расположен в северо-западной части цепи. Он оконтуривается изобатой 5 500 м, и включает пять подводных гор – Говорова, Скорняковой, Гордина, Коцебу и Ильичева (табл. 10.2.1), основания которых находятся на глубинах 3 700 – 4 700 м. Массив меньшего размера, площадью 18 000 км², расположен в юго-восточной части Магеллановых гор. Его цоколь фиксируется на уровне 5 900 м. Первоначально к массиву были отнесены гайоты Ита-Май-Тай и Геленджик,

однако проведенные исследования, включающие многолучевое эхолотирование и гидромагнитометрию, дают основание отнести к этому массиву и лежащий к югу гайот Бутакова. Гайоты Ита-Май-Тай и Геленджик оконтуриваются изобатой 4 200 м, гайот Бутакова – 5 100 м, однако их структуры прослеживаются и глубже, в пределах цоколя массива. Между гайотами Бутакова и Геленджик имеется перемычка на уровне 5 100 м. Такая же перемычка есть и на юге гайота, и соединяет структуру с небольшим гайотом Пали, находящемся в экономической зоне Каролинских островов.

Материал, накопленный по морфологии рельефа дна, в совокупности с данными геофизических исследований и результатами геологического опробования, позволил выделить в цепи Магеллановых гор два основных звена – западное и восточное (рис. 10.2.3).

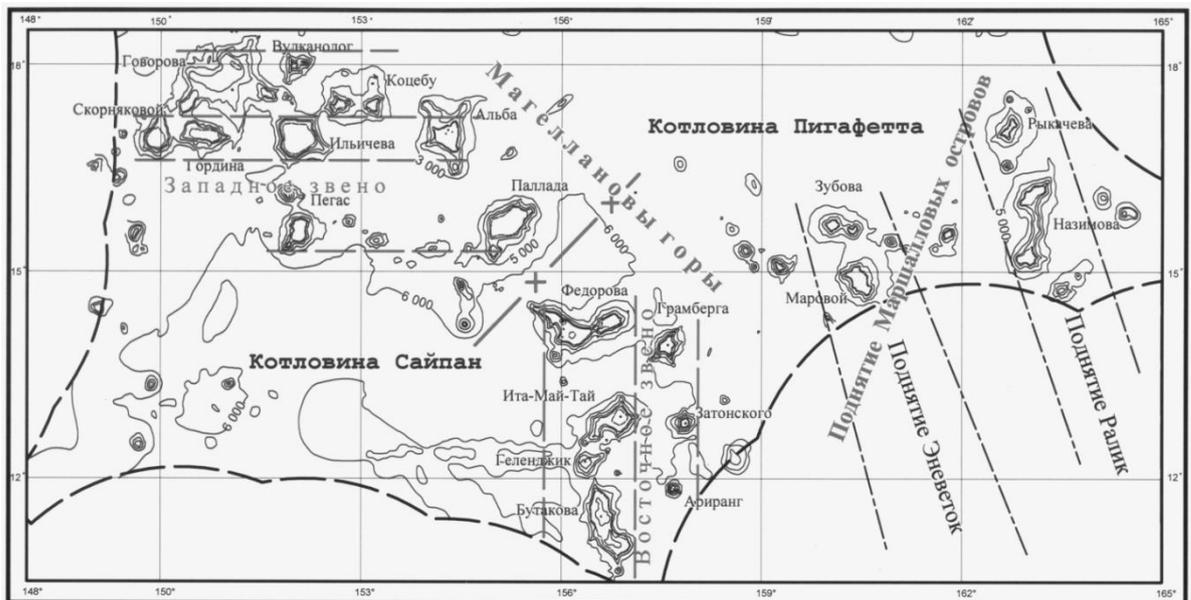


Рисунок 10.2.3 – Схема районирования Магеллановых гор и открытой части поднятия Маршалловых островов

Таблица 10.2.1 –Характеристика гайотов Магеллановых гор и поднятия Маршалловых островов по глубине, размерам и площади оснований

Гайоты	Глубины оснований, м	Размеры в контуре, км	Площади, оснований, км ²
Гайоты Магеллановых гор			
Говорова	5200-5400	190 x 180	15 000
Вулканолог	5175	62 x 52	2 600
Скорняковой	3800 (5200)	91 x 64	4 500
Гордина	3700 (5200)	88 x 55	4 200
Пегас	5000-5200	77 x 70	5 200
Ильичева	5600-5800	88 x 86	7 100
Коцебу	5100-5500	115 x 95	10 000
Альба	5100-5600	126 x 88	12 200
Паллада	5300	130 x 110	9 500
Федорова	5500-5600	165 x 50	11 250
Грамберга	5800	66 x 58	3 500
Ита-Май-Тай	5900	106 x 58	5 600
Геленджик	5900	46 x 45	2 000
Затонского	5500	48 x 41	1 600
Бутакова	5500-5700	170 x 75	8 800
Гайоты поднятия Маршалловых островов			
Зубова	4750 (5100)	94 x 62	4 850
Назимова	5050	185 x 80	11 750
Маровой	4600 (5300)	82 x 60	7 000
Рыкачева	4300 (5000)	75 x 55	2 500

Границу между звеньями можно довольно уверенно провести по проходу, соединяющему котловины Сайпан и Пигафетта, расположенному между гайотами Паллада и Федорова.

Западное звено в целом имеет широтную ориентацию, простираясь от 149° до 155° в.д. и от 15° до 19° с.ш.

Выделяются три широтных линии, по которым расположены основные горные сооружения (рис. 10.2.3):

- 1) северная объединяет гайоты Говорова, Вулканолог и Коцебу;

- 2) на центральной лежат гайоты Скорняковой, Гордина, Ильичева и Альба;
- 3) к южной можно отнести гайоты Пегас, Паллада и ряд более мелких подводных гор, расположенных между ними.

Большая часть построек западного звена соответствует классическим представлениям о гайотах. Они обладают явно выраженным вершинным плато, покрытым рыхлыми осадками, близкими к изометричным или овальным основаниями, выпукло-вогнутым профилем склонов. К таким постройкам можно отнести горы Ильичева, Пегас, Паллада, Гордина, Скорняковой и ряд относительно небольших построек. Гайот Альба, с определенными оговорками, также вписывается в эти представления.

Более сложной, неправильной морфологией, характеризуются гайоты северной линии звена – Говорова и Коцебу. Гайот Говорова обладает угловатыми очертаниями, осложнен многочисленными отрогами и сателлитными постройками, склоны характеризуются различной крутизной и расчлененностью. На обоих гайотах чрезвычайно широко развиты осложняющие мезоформы, как площадные, так и линейные. Лишь гайот Вулканолог на северной линии обладает относительно простой морфологией, его отличает очень небольшое вершинное плато.

Таблица 10.2.2 – Характеристика вершин гайотов Магеллановых гор и поднятия Маршалловых островов

Гайоты	Интервал положения глубин бровки, м	Размеры в контуре, км	Минимальная отметка, м	Площадь вершинных поверхностей, км ²
Гайоты Магеллановых гор				
Говорова	2000-2400	79 x 53	1301	3650
Вулканолог	1300-1400	7 x 6	1192	37
Скорняковой	1500-1900	54 x 34	1230	1100
Гордина	1400-1800	57 x 24	1274	1100
Пегас	1450-1575	36 x 20	1303	690
Ильичева	1600-1800	56 x 50	1340	2400
Коцебу З:	1500-1600	29 x 21	1298	320
В:	1400-1600	20 x 17	1174	180
Альба	1400-1500	46 x 35	551	1100
Паллада	1600-1700	70 x 40	1328	2000

Продолжение таблицы 10.2.2

Федорова З:	1700-1800	80 x 30	1425	1500
В:	1500-1600	37 x 18	1275	620
Грамберга	1400-1600	31 x 19	1215	410
Ита-Май-Тай	1600-2225	72 x 21	1319	1510
Геленджик	2100-2425	18 x 25	1284	445
Затонского	1400-1500	12,5 x 13	1273	125
Бутакова	2500-3000	112 x 31	1185	3290
Гайоты поднятия Маршалловых островов				
Зубова З:	1325-1500	18 x 15	1085	180
В:	1350-1575	13 x 8	1226	84
Назимова С:	1500-1600	45 x 21	1334	730
Ю:	1350-1700	35 x 31	1278	560
Маровой	1175-1275	44 x 23	1091	820
Рыкачева	1275-1375	25 x 6	1233	190

Примечание: З – западная вершина гайота, В – восточная вершина гайота,

С – северная вершина гайота, Ю – южная вершина гайота

Большинство гайотов западного звена имеют сходное положение вершинной поверхности – бровка фиксируется на глубинах от 1 400 до 1 600 м. Лишь бровка гайота Говорова расположена на глубине около 2 000 м (табл. 10.2.2).

Восточное звено ориентировано меридионально и заключено между 155° 30' – 158° 00' в.д. и 10° 30' – 14° 30' с.ш. (рис. 10.2.3). Оно включает гайоты (с севера на юг) – Федорова, Ита-Май-Тай, Геленджик и Бутакова. Можно выделить и осложняющий участок, расположенный восточнее и также имеющий меридиональное направление.

В него входят (также с севера на юг) гайоты Грамберга, Затонского и Ариранг:

- гайот Грамберга находится на широте г. Федорова;
- гайот Затонского находится на широте г. Ита-Май-Тай;
- небольшой гайот Ариранг, детально исследованный корейскими геологами, расположен почти на одной широте с северным куполом гайота Бутакова.

Все гайоты восточного звена, за исключением небольших гайотов Затонского и Ариранг, характеризуются резкими угловатыми очертаниями, осложнены отрогами, сателлитными постройками, многочисленными мезоформами.

Характерной особенностью восточного звена является последовательное

увеличение глубин поверхности плато гайотов с севера на юг.

Бровка плато г. Федорова на западной вершине расположена на глубине 1 800 м, г. Ита-Май-Тай – 2 000 м, г. Геленджик – 2 100 м и г. Бутакова – 2 650 м. На гайотах Грамберга и Затонского, так же, как и на восточной постройке г. Федорова, бровка приурочена к глубине 1 500 м. Бровка гайота Ариранг локализована на глубинах 1 600 – 1 700 м.

Минимальные отметки над гайотами (их наивысшие точки) при этом проявляют обратную тенденцию: г. Федорова (западная постройка) – 1 425 м, г. Ита-Май-Тай – 1 319 м, г. Геленджик – 1 284 м, г. Бутакова – 1 185 м.

Эти встречные закономерности могут являться отражением изостатической уравновешенности положения гайотов. Минимальные отметки над восточной частью г. Федорова, г. Грамберга, г. Затонского и г. Ариранг сходны – 1 275, 1 215, 1 273 и менее 1 300 м, соответственно.

Основные формы и элементы рельефа гайотов

Формы гайотов разнообразны – от довольно простых, в форме усеченного конуса, до весьма сложных, включающих две или более построек близких или различных размеров. Наиболее простыми формами обладают гайоты Затонского, Скорняковой, Гордина. Наиболее сложная форма у гайота Говорова, где сочетаются основное тело, обладающее неправильными очертаниями, крупные сателлитные постройки и многочисленные осложняющие крупные отроги и выступы. Характерна и форма гайотов, обусловленная срастанием двух сопоставимых по размеру построек, которые образуют основание, близкое в плане по форме восьмерке или бабочке. Таковы гайоты Коцебу, Федорова, а в северной части поднятия Маршалловых островов – гайоты Зубова и Назимова. Гайот Назимова осложнен еще и протяженной перемычкой между северной и южной постройками.

Основания гайотов расположены на глубинах 5 100 – 5 700 м, а в юго-восточной части – до 5 900 м (табл.10.2.1). Для гайотов, находящихся в составе вулканотектонических массивов, оконтуривающая изобата не является надежной характеристикой, поскольку структуры гайотов, как правило, выражены и глубже, и размеры основания существенно больше определяемых контуров. Очертания оснований весьма различны – от почти правильных круглых или эллипсоидных как у гайотов Затонского, Маровой, Пегас, до неправильных изрезанных форм, как у гайотов Говорова, Федорова, Ита-Май-Тай (рис. 10.2.4).

Наибольшие поперечные размеры изменяются от 50 до 130 км, иногда до 190 км,

площадь оснований – от 1 600 до 15 000 км². По этому показателю гайоты можно разделить на относительно небольшие (до 4 000 км²) – Затонского, Геленджик, Вулканолог, Грамберга, средние (4 000 - 8 000 км²) – Гордина, Скорняковой, Пегас, Ита-Май-Тай, Ильичева и крупные (более 8 000 км²) – Бутакова, Паллада, Коцебу, Федорова, Альба, Говорова (табл. 10.2.2, рис. 10.2.4).

Необходимо отметить и существование совсем мелких гайотов, сходных с гайотом Ариранг, площадью основания 500 – 1 000 км², поперечными размерами 25 – 40 км. Высоты таких гайотов 3 000 – 4 000 м. От небольших островершинных гор их отличает хорошо выраженное вершинное плато, как правило, небольшого размера (до 70 км²). По разным оценкам, таких объектов на Магеллановых горах насчитывается от четырех до восьми. Среди гайотов открытой части поднятия Маршалловых островов гайот Назимова является крупным, гайоты Зубова и Маровой – средними, а Рыкачева – небольшим.

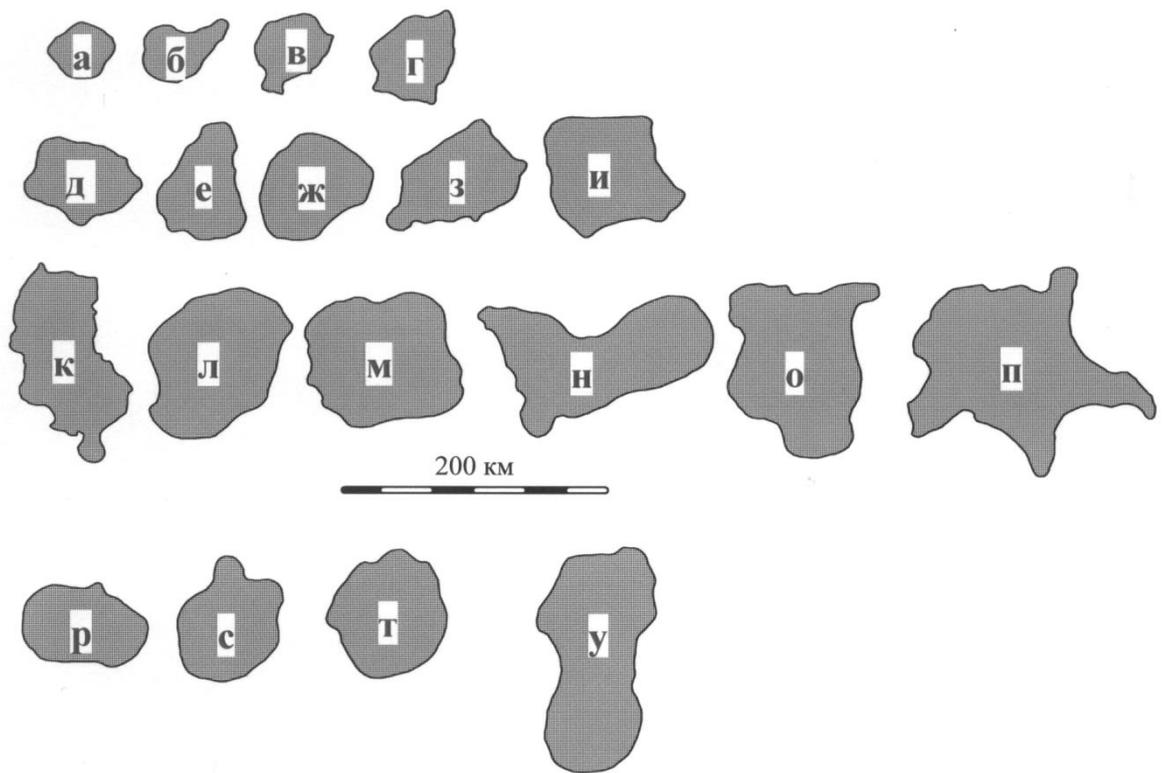


Рисунок 10.2.4 – Горизонтальные проекции оснований гайотов

Гайоты Магеллановых гор: а - Затонского, б - Геленджик, в - Вулканолог, г - Грамберга, д - Гордина, е - Скорняковой, ж - Пегас, з - Ита-Май-Тай, и - Ильичева, к - Бутакова, л Паллада, м - Коцебу, н - Федорова, о - Альба, п – Говорова.

Гайоты открытой части поднятия Маршалловых островов: р - Зубова, с - Рыкачева,

г Маровой, у – Назимова

Вершинные плато гайотов Магеллановых гор расположены в интервале глубин от 1 400 до 2 600 м, а бровки плато – на глубинах 1 400 – 3 000 м. В то же время, у десяти гайотов из рассматриваемых пятнадцати, бровка приурочена к гораздо более узкому интервалу – 1 400 – 1 600 м, что, вероятно, является свидетельством схожести развития этих построек. Низкое положение бровки отмечено для некоторых крупных гайотов – Говорова, Бутакова, а также гайотов Ита-Май-Тай, Геленджик.

Контуры плато в общих чертах повторяют формы оснований, а поперечные размеры изменяются от 7 х 6 км у гайота Вулканолог до 112 х 31 км у гайота Бутакова.

Площади поверхности вершин изменяются от 37 км² (г. Вулканолог) до 3 650 км² (г. Говорова). Центральные части вершин чаще выровнены и перекрыты сплошным чехлом рыхлых карбонатных осадков.

Незначительные уклоны (до 5°) отмечаются по периферии вершинных поверхностей. Здесь они практически лишены осадочного покрова, а обнаженные коренные породы обладают пологоволнистым мезорельефом. В других случаях горизонтален лишь небольшой участок в центральной части вершины, а далее к бровке уклоны поверхностей последовательно увеличиваются до 5 - 7° и вершинная поверхность превращается в очень пологий купол (рис.10. 3.4.5, а, м, н).

Вершинные плато и купола нередко осложнены валами и ложбинами, уступами, группами вулканических построек конусовидной или куполовидной формы.

Минимальные отметки над гайотами изменяются от 1 425 м на западной постройке гайота Федорова до 551 м на гайоте Альба. На гайотах Ита-Май-Тай, Грамберга, Пегас, некоторых других эти минимумы отмечены в центральной части плато, но чаще приурочены к осложняющим вулканическим постройкам. Именно этим объясняется столь высокая отметка на гайоте Альба – она зафиксирована на вершине крупного вулканического конуса, возвышающегося над плато на 800 м (рис. 10.2.4, д). Следующие наименьшие отметки гайотов зафиксированы на уровнях 1 174 м (Коцебу), 1 185 м (Бутакова), 1 192 м (Вулканолог). С учетом минимальных отметок, относительные превышения (высоты гор) составляют 3 900 – 5 000 м.

Профили склонов гайотов обладают различной крутизной - наиболее крутыми являются верхние части склонов, ниже бровки вершинной поверхности. Они приурочены к интервалу 1 600 – 2 600 м и характеризуются уклонами 20° - 25° и более. В центральных частях (2 600 – 4 000 м) крутизна уменьшается и составляет 10 – 15°. У подножий, на

глубинах 4 000 – 5 600 м, склоны пологие (2 – 8°). Переход к предгорной равнине фиксируется еще одним перегибом на отметках 5 000 – 5 600 м.

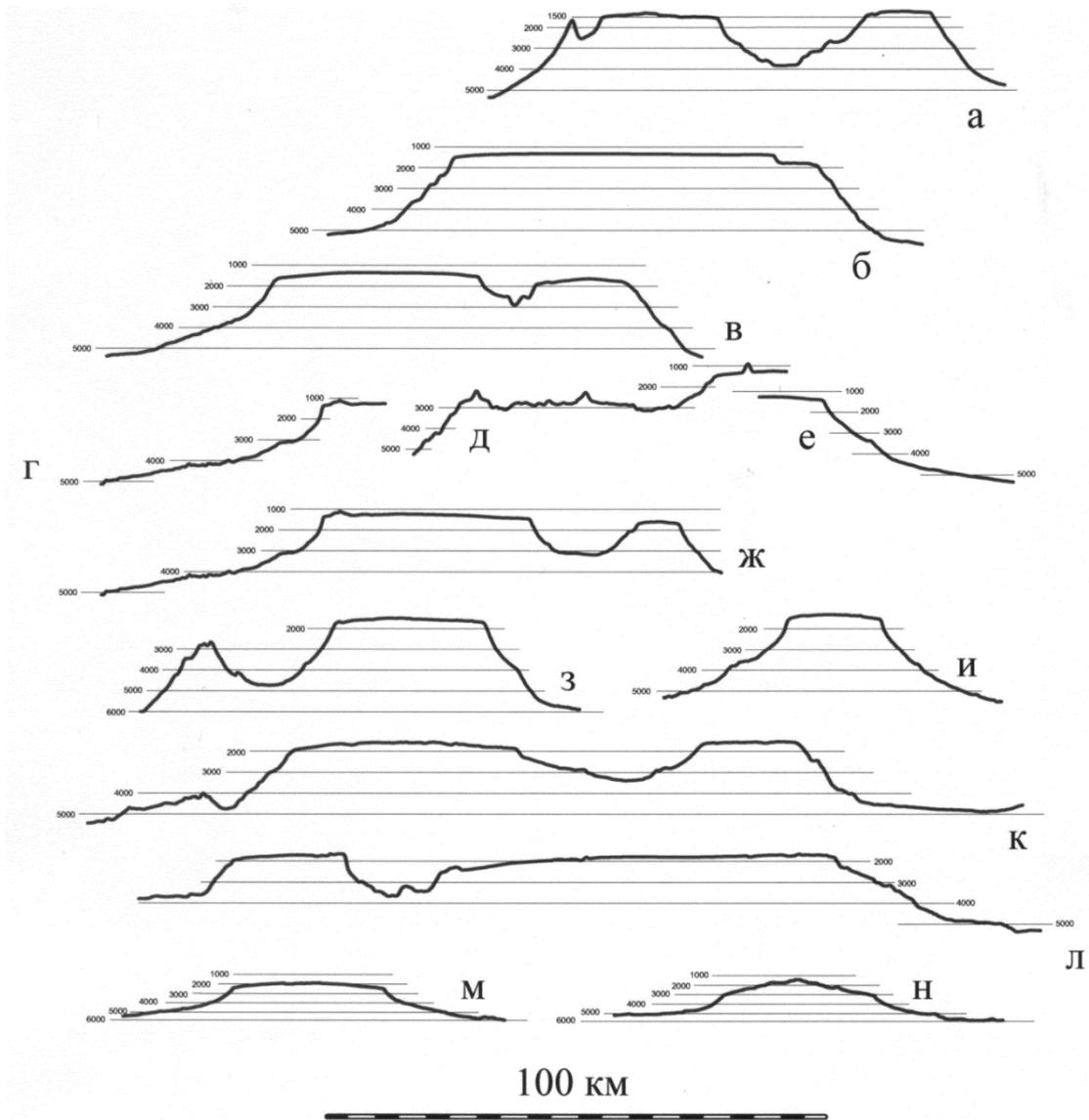


Рисунок 10.2.5 – Профили гайотов Магеллановых гор

а – Коцебу, широтное направление, б – Паллада, направление СВ – ЮЗ, в – Паллада, субмеридиональное направление через гайот-сателлит, г – Альба, ЮЗ склон, д – Альба, профиль от вершинного плато вдоль СВ отрога, е – Альба, В склон, ж – Альба, меридиональный профиль, з – Федорова, СВ - ЮЗ, западная постройка, и – Федорова, СЗ - ЮВ, восточная постройка, к – Говорова, СЗ - ЮВ, через юго-восточный сателлит, л – Говорова, СВ - ЮЗ, через юго-западный сателлит, м – Бутакова, СВ - ЮЗ через северный купол, н – Бутакова, СВ - ЮЗ через южный купол.

Соотношение вертикального и горизонтального масштабов 1:4

В процессе анализа склоновых поверхностей было обнаружено, что в сближенных группах подводных гор распределения уклонов дна оказываются близки между собой и отличаются от других групп.

На гайотах восточного звена Магеллановых гор уклоны менее 10° занимают, в среднем, 50 % площади всех склонов. Исключениями являются гайоты Бутакова и Затонского - соответственно 60% и 33%. (табл. 10.2.3).

Таблица 10.2.3 – Распределение уклонов морского дна на гайотах Магеллановых гор и поднятия Маршалловых островов

Гайоты	Распределение уклонов, %						
	менее 4°	от 4° до 7°	от 7° до 10°	от 10° до 15°	от 15° до 20°	от 20° до 25°	свыше 25°
Гайоты Магеллановых гор							
западное звено							
Говорова	39	18	12	13	8	5	5
Вулканолог	28	18	11	13	11	9	10
Скорняковой	32	14	11	14	11	8	10
Гордина	35	12	10	15	11	8	9
Пегас	26	19	14	16	11	7	7
Ильичева	39	13	10	14	10	7	7
Коцебу	37	21	11	12	8	6	5
Альба	30	19	12	14	10	8	7
Паллада	35	19	12	14	9	5	6
восточное звено							
Федорова	18	15	13	18	13	10	13
Грамберга	22	17	12	16	11	9	13
Ита-Май-Тай	22	13	13	19	14	9	10
Геленджик	19	14	12	18	15	12	10
Затонского	13	11	10	18	16	15	17
Бутакова	27	20	13	15	11	7	7

Продолжение таблицы 10.2.3

Гайоты поднятия Маршалловых островов							
Зубова	36	22	12	12	8	5	5
Назимова	39	19	10	12	9	6	5
Маровой	45	18	10	11	8	5	3
Рыкачева	43	20	10	11	7	5	4

Такие же поверхности с уклонами до 10° на гайотах западного звена представлены, в основном, на 60 % площадей, а на гайотах Говорова и Коцебу – почти на 70 % площадей. На гайотах поднятия Маршалловых островов подобные уклоны распространены более чем на 70 % площадей.

Уклоны менее 15° на гайотах восточного звена составляют 60 – 70 %, в западном звене – от 70 до 80 %, на гайотах поднятия Маршалловых островов – более 80 % площадей.

Уклоны дна крутизной более 15° на гайотах восточного звена составляют 30 – 40 % площадей (на гайотах Бутакова и Затонского – соответственно, 25 и 49 %). В западном звене уклоны с такими градациями занимают 20 – 30 % поверхностей, на гайотах поднятия Маршалловых островов – менее 20 %. В распространении поверхностей крутизной 20° и более проявленные закономерности сохраняются.

На гайотах восточного звена они занимают около 20 % площадей, а наиболее крутые (более 25°) – 10 – 15 %.

На гайотах западного звена площади с такими градациями уклонов дна распространены на 10 – 18 % и менее 10 % поверхностей, соответственно.

На гайотах поднятия Маршалловых островов эти градации составляют менее 10 % и менее 5 %.

Эти особенности распределения уклонов на склонах гайотов объясняются тем простым фактом, что в плане при одинаковых перепадах глубин более крутые склоны занимают меньшую площадь, чем более пологие.

Например, склоны гайотов северной части поднятия Маршалловых островов характеризуются наибольшими значениями градиента глубины, и поэтому площадь их проекции на горизонтальную поверхность невелика. Вершинные плато этих гайотов максимально выровнены, поэтому велика доля площадей с малыми уклонами.

У гайотов восточного звена Магеллановых гор склоны и вершинные поверхности осложнены многочисленными мезоформами, что увеличивает спектр поверхностей с

различными уклонами. Горизонтальная проекция склонов имеет большую площадь.

Промежуточная ситуация отмечена на гайотах западного звена Магеллановых гор.

Предгорные шлейфы гор и гайотов могут быть широко развиты (гайоты Пегас, Альба, Паллада), развиты ограниченно (большинство крупных гайотов цепи) или неявно выраженными (гайоты Ильичева, Скорняковой, Затонского, мелкие островершинные горы). Протяженность широких шлейфов от перегиба склона до поверхности межгорных равнин или абиссальных котловин может достигать 50 км в интервале глубин от 5 000 до 5 900 м. Рельеф поверхности шлейфов – волнистый, осложненный многочисленными холмами и мелкими горными сооружениями, при общем уклоне $1^\circ - 3^\circ$. Протяженность слабо развитых шлейфов составляет 20 – 30 км в том же интервале глубин. Рельеф поверхности волнистый, но осложняющие формы практически отсутствуют. Уклон $2^\circ - 5^\circ$. В случае неявно выраженных шлейфов довольно крутые склоны (от 7° до 12°) с резким перегибом сочленяются с субгоризонтальной поверхностью впадин.

Осложняющие мезоформы рельефа

Все подводные горы в той или иной степени осложнены различными мезоформами рельефа – отрогами, сателлитными постройками с диаметром основания до первых десятков километров, вулканическими конусами и куполами с диаметром основания в первые километры.

Сателлитные постройки характерны для гайотов Магеллановых гор (табл. 10.2.4), отсутствуют они только у пяти гайотов, которые отнесены нами к небольшим и средним.

Таблица 10.2.4 – Некоторые характеристики осложняющих построек гайотов Магеллановых гор и поднятия Маршалловых островов

Гайоты	Осложняющие сателлитные постройки:			
	расположение	контур, м	размеры в контуре, км	минимальная отметка, м
Гайоты Магеллановых гор				
Говорова	юго-восток	3800	38 x 26	1487
	юго-запад	4100	52 x 30	1570
Вулканолог	восток	5200	26 x 18	1399
	юго-запад	5200	17 x 11	3125
Пегас	юго-запад	2600	15 x 10	1411
Коцебу	север	4450	15 x 13	3075

Продолжение таблицы 10.2.3

Альба	северо-восток	3200	25 x 11	1925
	юг	3100	23 x 12	1525
Паллада	юг	4000	30 x 30	1449
Федорова	юго-запад	5000	25 x 21	2590
Ита-Май-Тай	юго-запад	3200	13 x 13	2413
Бутакова	юг	4200	18.5 x 15.5	-
Гайоты поднятия Маршалловых островов				
Зубова	восток	4900 (5300)	30 x 26	1481
	северо-восток		14 x 13	3608
Рыкачева	север	4475 (4800)	15 x 14	1983
	северо-восток	4375 (4700)	15 x 12.5	2499
	юг	4625 (5000)	26 x 26	1625

Их основания могут быть выражены на глубинах, близких к глубинам основания основного тела гайота или на существенно меньших глубинах (рис. 10.2.5).

По морфологии они могут также иметь островершинную выровненную или куполовидную форму. Наиболее крупные сателлитные постройки отмечены у гайотов Говорова, Паллада, Альба, Федорова. Минимальные глубины на этих постройках в целом больше, чем на основных гайотах, а бровка склона может находиться на том же уровне, или быть чуть ниже.

В генетическом отношении сателлиты могут являться индивидуальными горными постройками, однако, относительно некоторых из них, в частности для сателлитов гайота Альба, существует мнение, что они являются тектоническими отторженцами.

То же можно предположить о сателлитах гайота Говорова, Паллада. Особо нужно выделить сателлитные постройки гайотов Говорова и Вулканолог, обладающие обликом треугольной призмы с хорошо выраженными ребрами.

Почти на всех гайотах развиты *отроги*. Они представлены узкими протяженными хребтами, спускающимися от склонов горного сооружения.

Нередко отроги выражены уже на периферии вершинного плато, гребневые поверхности понижаются по направлению от центра. Протяженность отрогов изменяется от 10 – 12 до 35 – 40 км; протяженность структур север–северо-восточного отрога гайота Альба достигает 65 км. На некоторых гайотах отроги не выражены, но чаще гайот имеет от

одной до четырех – пяти таких структур.

Морфология отрогов различна. Отмечаются отроги, ширина основания которых вниз по склону практически не меняется (рис.10.2.6, б). Иногда ширина основания в районе сочленения с вершиной шире, чем в нижней части (рис.10.2.6, в).

Бывает напротив, нижняя часть отрога шире, чем привершинная (рис. 10.2.6, г, д, е). Это обычно происходит, когда в нижней части от основного гребня отходят в стороны осложняющие хребты, что приводит к ветвлению структуры.

Есть и более экзотические случаи – в верхней части отрог широкий, в средней части сужается, а затем, за счет ветвления, в нижней части вновь расширяется – образуется структура песочных часов (рис. 10.2.6, ж, з). Или в средней части структуры имеет место короткий выступ, что приводит к образованию здесь раздува, а далее отрог опять сужается (рис. 10.2.6, а). В некоторых случаях гребни отрогов меняют простирание, подворачивая на 10 – 15, редко 20°. Многие отроги осложнены мелкими и крупными вулканическими постройками (рис.10.2.6, в, е, ж).

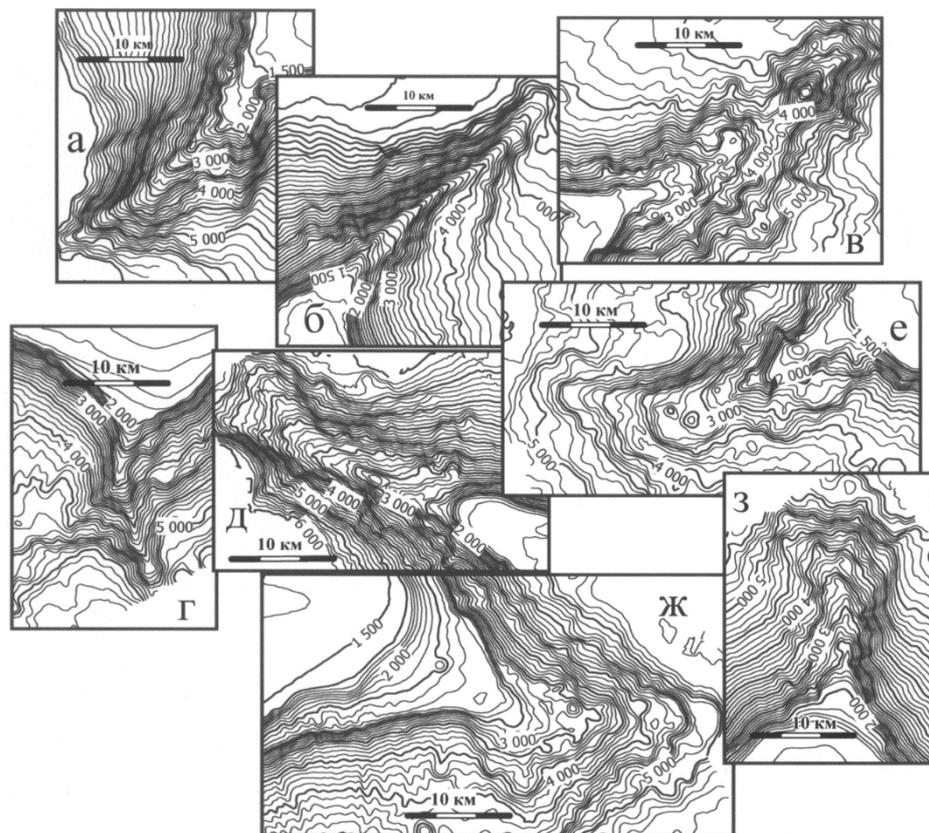


Рисунок 10.2.6 – Отроги гайотов Магеллановых гор

а – ЮЗ отрог г. Грамберга, б – СВ отрог г. Грамберга, в – СВ отрог г. Геленджик, г – Ю отрог г. Ита-Май-Тай, д – СЗ отрог г. Федорова, е – ЮЗ отрог г. Альба, ж – ЮВ отрог г. Ильичева, з – С отрог г. Ита-Май-Тай

Склоны нередко осложнены различными выступами, расположенными вкрест простирания склона. Эти выступы часто родственны отрогам, однако имеют небольшую протяженность, за счет чего длина и ширина их основания становятся сопоставимы. Однако, иногда выступы имеют явно тектоническое происхождение.

Например, обширный восточный выступ гайота Паллада с севера и юга ограничен склонами сбросовой природы, а его поверхность субгоризонтальна.

Такие структуры, как глубокие протяженные *ложбины* встречаются довольно редко. Фактически в регионе можно выделить только два таких объекта:

- на северном склоне гайота Говорова в интервале глубин 4 000 – 5 100 м имеет место глубокая ложбина северного направления протяженностью до 25 км. Ее ширина от 3 до 7 км, то есть, это, фактически, каньон (рис. 3.4.7, а). В нижней части склона гайота каньон более узок, в верхней - более широк. Причина в том, что на этом участке сливаются две более мелких ложбины, расположенные на глубинах 3 200 – 4 000 м. Глубина вреза этой ложбины–каньона 300 – 1 000 м, меньших – 200 – 400 м;

- схожая ложбина отмечена на восточной постройке гайота Зубова в поднятии Маршалловых островов. Она также расположена на северном склоне и являет собой узкую долину протяженностью 12 км, прослеживающуюся в диапазоне глубин 1 400 – 3 800 м (рис. 10.2.7, б). Ширина долины в верхней части 5 км, наиболее широкая часть – 8 км – отмечена на глубине 1 900 м, в нижней части она вновь сужается до 5.5 км. Глубина вреза – 600 – 1 000 м. Прямолинейность ложбин, очевидно, свидетельствует об их тектоническом происхождении. Структура на гайоте Зубова в целом похожа на крупный радиальный грабен, образование которого определило форму восточной постройки гайота.

Гребни и ложбины - структуры более высоких порядков - широко развиты на поверхностях гайотов. Гребни могут иметь протяженность от первых километров до 10 – 15 км. Высота таких хребтов от 25 – 50 м до 100 – 150 м, редко 200 м и более.

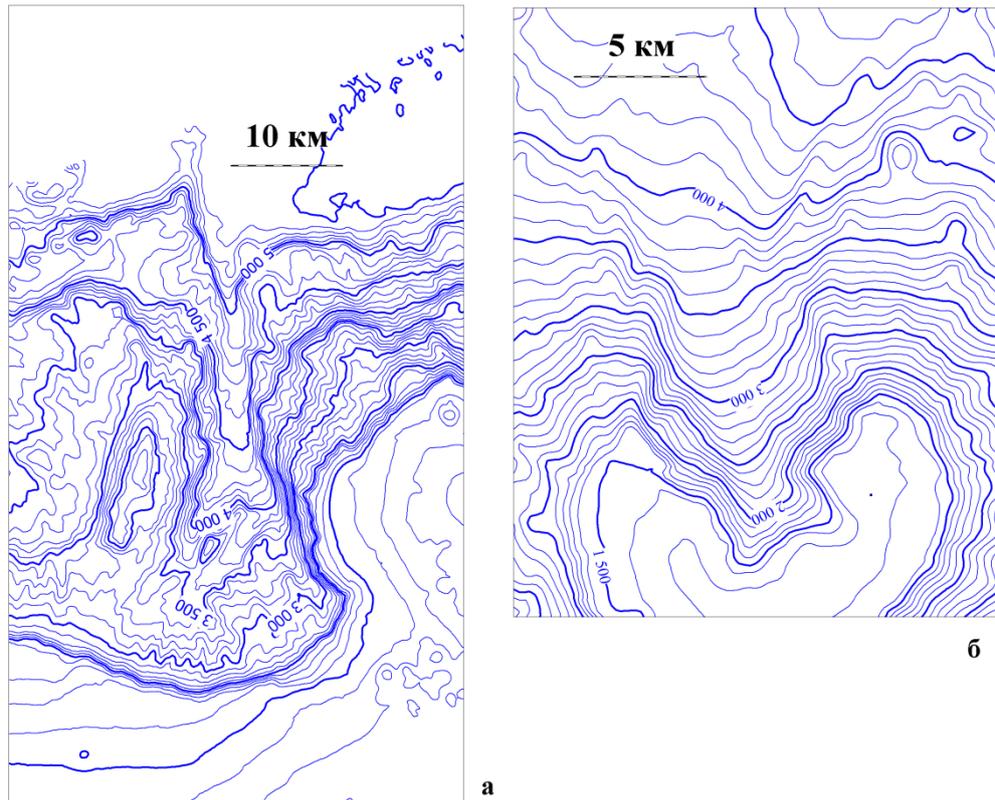


Рисунок 10.2.7 – Крупные ложбины на гайотах Магеллановых гор и поднятия Маршалловых островов: а – ложбина на северном склоне гайота Говорова, б – ложбина на северном склоне восточной постройки гайота Зубова

Распространенность по поверхности неравномерная – на вершинах они довольно редки и, напротив, часто встречаемы на склонах. По склонам гребни могут быть развиты относительно равномерно, либо тяготеют к склонам определенных экспозиций. Как правило, наиболее широко они развиты на поверхностях отрогов и других выступах рельефа. Ложбины развиты неравномерно, чаще локализованы между положительными мезоформами – гребнями, вулканическими постройками, реже – террасами. Протяженность сходна с протяженностью гребней, врез, как правило, невелик – 25 – 50 м. Судя по характерной форме изгибов, ложбины в генетическом отношении являются промоинами, образованными придонными водотоками.

Линейные мезоформы, ориентированные вдоль склона – *уступы* – еще одна характерная черта поверхностей подводных гор. Особенно часты они на крутых участках склонов, но нередко встречаются и на вершинных плато. На некоторых гайотах уступы в основном развиты на поверхностях отрогов, их протяженность изменяется от 1 – 2 до 15 – 20, редко 30 км. Их амплитуды могут быть 25 – 350 м и более, но по нашим оценкам, 85 %

этих структур характеризуются перепадом глубин менее 200 м. В некоторых случаях, по сгущению изобат, выделяются уступы с перепадом до 650 м, однако, более детальные исследования показывают, что это серии более мелких ступеней с существенно меньшей амплитудой.

Иногда бровка уступа идет не вдоль изобат, а под некоторым углом – имеет тангенциальную ориентировку. Нередки и короткие уступы с достаточно высокими амплитудами, ориентированные вкрест простирания склонов.

Для гайотов Магеллановых гор весьма характерны *радиальные грабены*, представляющие собой структуры «проседания», выглядящие как опущенные сектора склона. Обычно они имеют форму трапеции, малое основание которой соответствует вогнутым участкам бровки, большое – условно выделяется в нижней части склонов, а стороны представлены уступами, ориентированными вкрест склона (рис. 10.2.8).

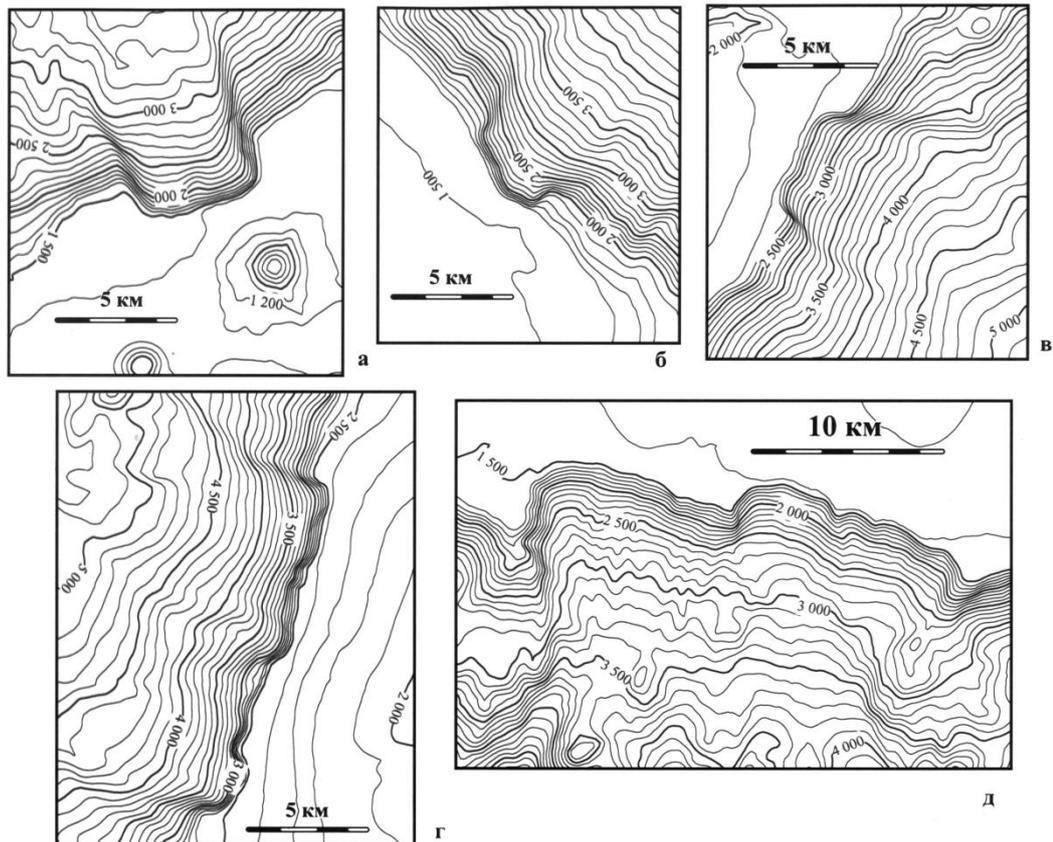


Рисунок 10.2.8 – Структуры радиальных грабенов на гайотах Магеллановых гор
 а – радиальный грабен на северном склоне гайота Альба, б – радиальный грабен на северо-восточном склоне гайота Ита-Май-Тай, в – радиальный грабен на юго-восточном склоне гайота Геленджик, г – комбинация радиальных грабенов на западном склоне гайота Бутакова, д – комбинация радиальных грабенов на южном склоне гайота Гордина

Такие структуры образованы за счет сползания блоков с краевых участков вершинного плато. На участках склонов внутри грабенных, представляющих собой зеркала скольжения, обнажаются относительно древние породы – раннемеловые базальты или рифогенные известняки апта-турона. В нижних частях склона поверхности имеют осыпной характер.

Эти структуры широко развиты на всех гайотах Магеллановых гор; они могут быть выражены лучше или хуже, встречаясь на склонах различных экспозиций. Чаще средняя ширина радиальных грабенов составляет 3 – 6, редко 8 км, протяженность ограничивающих уступов – 5 – 8 км, глубина вреза в верхней части до 600 – 800 м (рис. 10.2.8, а – в).

Объем породы в смещенном блоке можно оценить в 5 – 20 км³. Полагаем, что для образования небольших радиальных грабенов достаточно не столь масштабных событий, но, вероятно, они связаны с вулканотектонической активностью. В то же время, на некоторых гайотах, например, на гайотах Бутакова и Гордина (рис. 10.2.8, г, д) отмечены комбинации радиальных грабенов, протягивающихся вдоль бровки вершины на 12 – 22 км. Объем породы в обрушенных блоках в этом случае можно оценить в 30 – 100 км³.

Из площадных мезоформ на поверхности гайотов наиболее широко развиты осложняющие вулканические постройки и террасы. *Вулканические постройки* представлены конусами и куполами. У первых развита пикообразная вершина, у вторых – вершина сглаженная, более пологая, чем склоны (рис. 10.2.9). Формы оснований и тех и других чаще округлые. Овальные и другие формы являются либо комбинацией нескольких построек, либо сочетанием этого основания со склоном. Поперечные размеры конусов и куполов изменяются в весьма широких пределах – от первых сотен метров до 10 км, однако, более чем у 80 % построек поперечные размеры основания заключены в интервале 1.0 – 2.5 км, а площади – 1 – 6 км². Высоты таких конусов изменяются от 100 до 350 м, куполов – от 50 до 200 м. В то же время, у наиболее крупных конусов высота может достигать 550 – 650 м, а куполов – 300 – 400 м.

Вулканические постройки могут присутствовать на гайотах в большом количестве – несколько десятков и даже более сотни на подводной горе. Чтобы иметь возможность сравнивать интенсивность развития подобных форм на подводных горах, мы применяем синтетический показатель, нормируя их количество на площадь постройки. Наиболее широко конусы и купола в западной части Магеллановых гор развиты на крупных гайотах Говорова и Коцебу – более 22 построек на 1 тыс. км², однако, самый высокий показатель – 24 постройки на 1 тыс. км² – зафиксирован на небольшом гайоте Геленджик в восточной

части цепи С другой стороны, выделяются гайоты, на которых подобные конусы и купола довольно редки и названный показатель составляет 1.5 (Грамберга), 3.1 (Ильичева), 3.8 (Затонского) построек на 1 тыс. км².

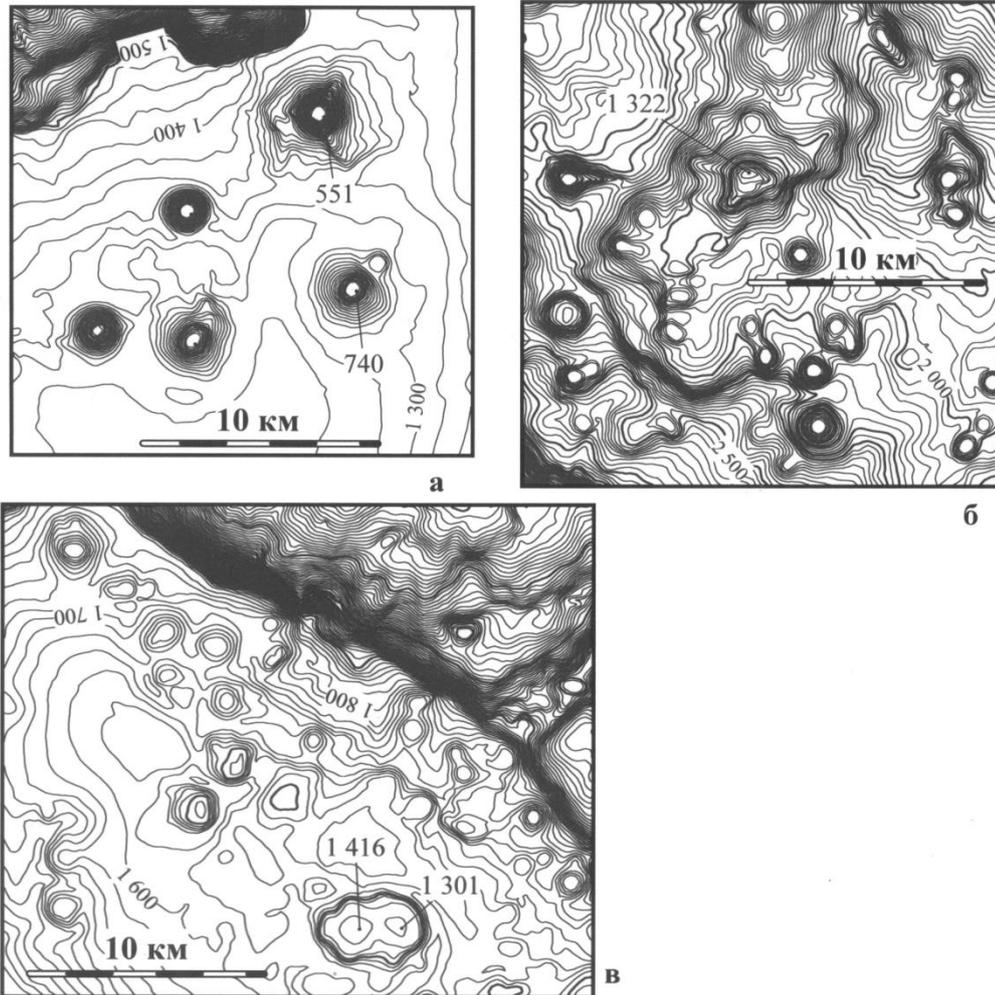


Рисунок 10.2.9. Вулканические постройки на вершинах гайотов Магеллановых гор а – северо-восточная часть вершины гайота Альба, б - центральная часть вершины гайота Бутакова, в - северо-восточная часть вершины гайота Говорова.

Изобаты проведены через 25 м

На тех гайотах, где вулканические постройки многочисленны, их распространение по поверхностям гайота обычно отличается неравномерностью. Купола и конусы могут преобладать на склонах или поверхностях отрогов, однако чаще покрывают вершинные поверхности. Цепи вулканических построек могут быть расположены вдоль определенных линий, вероятно, контролируемых глубинными дизъюнктивными нарушениями (гайоты Альба, Говорова и другие).

Вулканы могут быть приурочены к линейно вытянутым валам (гайоты Говорова, Федорова, Ига-Май-Тай), или сами создавать сложные валообразные структуры, включающие вулканические постройки различного ранга, формы и размера (гайот Бутакова) [4; 14; 13].

Если состав пород, слагающих вулканические постройки, довольно сходен, их возраст может существенно различаться. Результаты анализа абсолютного возраста базальтоидов и датирования геологического возраста вулканокластитов по комплексам планктонных фораминифер и нанопланктона, содержащихся в карбонатных примесях, говорят о широком временном диапазоне образования вулканов.

Этот возраст варьирует от сантона до среднего миоцена, а возможно и плиоцена [13; 12; 15; 14]. Наблюдения показывают, что купола являются более древними, чем конусы, то есть существовавшая ранее коническая вершина у куполов успела разрушиться под действием эрозии. Конусы имеют более молодой возраст, чем купола, но и среди конусов наиболее высокими являются миоценовые постройки, а позднепалеоцен – эоценовые, при сходных размерах основания, имеют меньшую относительную высоту.

Еще одна площадная форма – *террасы* – встречаются на гайотах часто, но развиты на их поверхности весьма неравномерно. В целом они преобладают на склонах, при этом могут тяготеть к склонам определенных экспозиций, а на других встречаться редко или отсутствовать.

Чаще террасы фиксируются в средних и нижних частях склонов. Нередко эти формы также связаны с отрогами. Бровки террас, в отличие от тыловых швов, всегда выражены четко. Площадки редко субгоризонтальны, чаще их поверхности имеют уклон 4 – 7° и выше. Размеры террас весьма разнообразны – от первых сотен метров в поперечнике до 5 x 4.5 км или 7 x 2 км. Соответственно и площади изменяются от 0.3 до 10, а иногда и 15 км². Площадь более 80 % террас составляет 1 – 3 км².

Предположительно, среди террас имеют место как аккумулятивные, так и структурные. На различных гайотах преобладать могут те, или другие. Структурные террасы наиболее отчетливо проявлены в пределах выступов рельефа дна, в частности, на отрогах. Например, на юго-западном отроге гайота Грамберга вдоль гребневой поверхности на разных батиметрических уровнях расположена серия террас с поперечными размерами от 1 x 0.5 до 1.5 x 1.3 км (рис. 10.2.10, а).

Бровки террас расположены на глубинах 1 875, 2 425, 2 900, 3 350 м и глубже (за пределами рисунка) 5 375, 5 575 м. На восточном борту также отмечены две террасы с бровками на глубинах 3 325 и 5 975 м. Таким образом, на одном отроге сосредоточено

восемь уровней террас. Вероятно, их образование связано с тектоническими проседаниями отдельных участков, и лишь в верхних частях можно предположить и абразионную составляющую процесса формирования площадок.

Образование аккумулятивных террас, вероятно, связано с локальными препятствиями, возникающими на пути перемещающихся вниз по склону неконсолидированных осадков. Такие террасы имеют меньшие размеры и нередко встречаются сериями одна под другой. Например, на восточном склоне гайота Альба отмечены три террасы, поперечные размеры которых составляли от 0.9 x 1.1 до 1.2 x 1.6 км (рис. 10.2.10, б). Бровки террас расположены на глубинах 2 375, 2 850 и 3 300 м. Удлинение нижней площадки ориентировано вкrest склона. Еще одна терраса, расположенная к северо-востоку от этих трех, имеет размеры 1.1 x 1.7 и бровку на глубине 3 825 м.

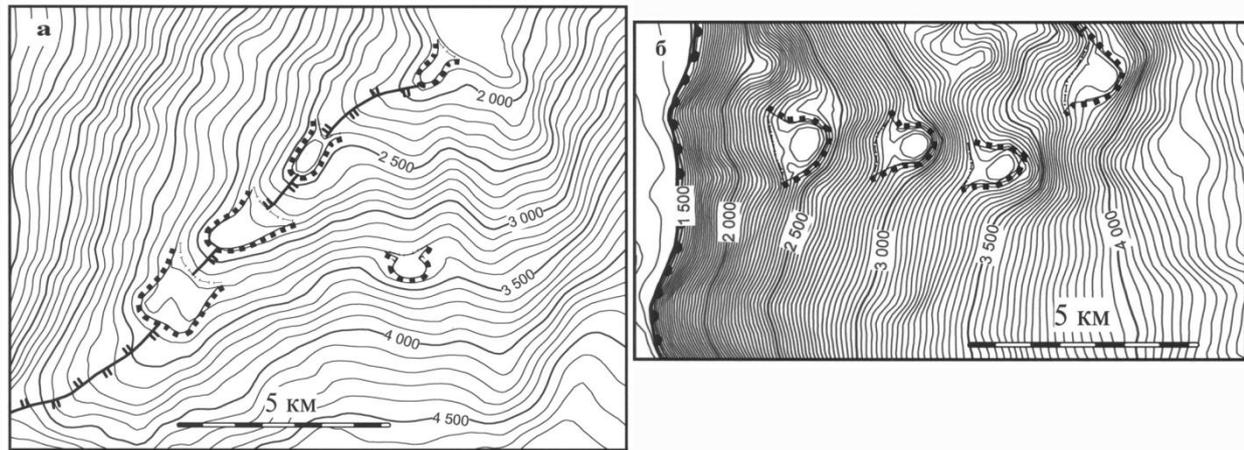


Рисунок 10.2.10 – Террасы на поверхностях гайотов Магеллановых гор

а - предположительно структурные террасы на юго-западном отроге гайота

Грамберга, б - предположительно аккумулятивные террасы на восточном склоне гайота

Альба.

На рис. а изобаты проведены через 100 м, на рис. б – через 25 м

Генезис поверхностей гайотов

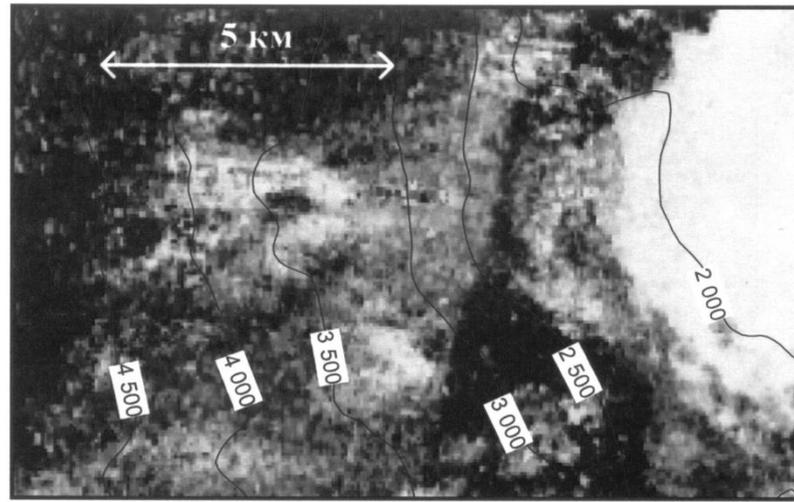
Комплекс проведенных исследований позволяет рассмотреть и в общих чертах идентифицировать генезис поверхностей. Согласно интерпретации карт амплитуд обратно рассеянного сигнала многолучевого эхолота (по сути, сонарное изображение), подтвержденной результатами фотопрофилирования, большая часть площадей вершинных плато гайотов сложена нелитифицированными осадками (рис. 9). Опробование показывает, что это карбонатные осадки плиоцен-четвертичного возраста. По данным

сейсмоакустических и геоакустических исследований, в центральных частях вершин мощность осадков достигает 150 м, однако, подошва нелитифицированных осадков датируется эоценом [16]. На большей части поверхностей фототелевизионные изображения фиксируют устойчивое развитие песчаных волн. Это дает основание полагать, что в целом здесь существует режим транзита осадков. Поскольку выделить голоцен в этих осадках удается лишь в единичных случаях, очевидно, что современная аккумуляция затруднена. В то же время, при фотопрофилеировании иногда явно выделяются участки разгрузки осадочного материала. По совокупности перечисленных фактов, эти части вершинных поверхностей мы относим к зонам транзита осадков с элементами аккумуляции.

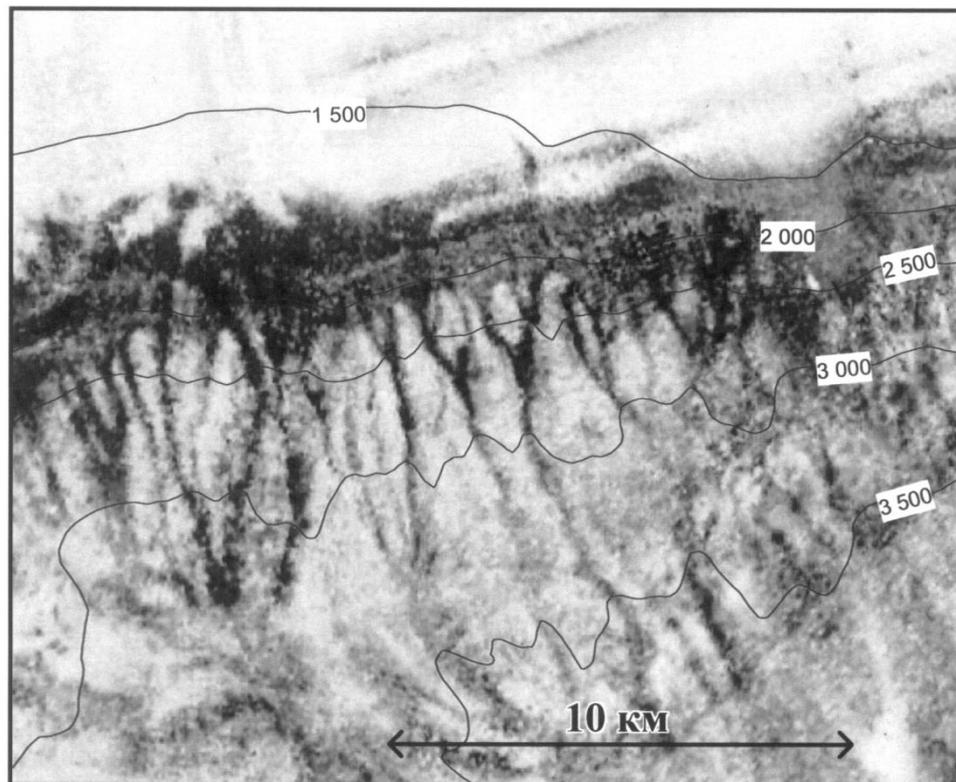
Краевые части вершинных плато, полого наклоненные к бровке склона, сложены коренными породами, и лишь в незначительной степени присыпаны рыхлыми карбонатными осадками. Это выражено на мозаиках сонограмм резким увеличением амплитуд обратно рассеянного сигнала (рис. 10.2.11). По данным фотопрофилеирования, поля развития осадков здесь также покрыты песчаными волнами. Сходные условия отмечаются и вокруг вулканических построек, развитых на вершинных плато. Такие участки отнесены к зонам эрозии с элементами транзита осадков.

Поскольку первая из этих зон, с точки зрения развития железомарганцевого оруденения, является заведомо безрудным участком, а вторая – перспективна на обнаружение скоплений кобальтоносных марганцевых корок и конкреций, весьма важно соотношение этих зон в пределах вершин. Более того, это соотношение, фактически, является поисковой предпосылкой. Зона транзита занимает максимальную площадь в пределах гайота Паллада (до 95 % вершинного плато). Противоположный случай имеет место на гайоте Вулканолог, где на зону транзита с элементами аккумуляции приходится всего 5 % плато, что в целом не соответствует общей тенденции: в пределах Магеллановых гор более, чем на 80 % гайотов и их сателлитов подобные поверхности занимают от 55 до 90 % вершин. В других подводных горных системах известны гайоты, на вершинах которых осадочный покров отсутствует или слабо развит.

Поверхности склонов в целом характеризуются денудационным происхождением. На верхних, наиболее обнаженных участках склонов, повсеместно сложенных коренными породами, что подтверждается интенсивным рассеянием обратно отраженного сигнала многолучевого эхолота, преобладает эрозия. Средние и нижние участки склонов характеризуются пестрым, мозаичным распределением зон рассеяния различной интенсивности и, по-видимому, разнообразным сочетанием процессов денудации.



а



б

Рисунок 10.2.11 – Акваколлювиальные осыпи на картах амплитуд обратно рассеянного сигнала многолучевого эхолота EM-12 Simrad S 120

а – одиночные осыпи на западном склоне гайота Геленджик; светлое пятно справа в нижней части – фрагмент поверхности вершинного плато; б – массовое развитие осыпей на южном склоне гайота Паллада; светлое поле в верхней части рисунка – фрагмент поверхности вершинного плато

В целом здесь преобладают транзит и склоновая аккумуляция осадочных масс. В зонах аккумуляции выделяются акваколлювиальные конусы выноса грубообломочного

материала (рис. 10.2.11, а). На сонарных картах они выглядят каплевидными светлыми пятнами, ориентированными вкрест склона. Опробование показывает, что тела осыпей состоят из нелитифицированных карбонатных и карбонатно-глинистых осадков, перемешанных с обломками магматических и осадочных пород различной размерности, вплоть до глыбового, а также обломками железомарганцевых корок и конкреций. Размеры таких акваколлювиальных тел варьируют в широких пределах – от первых сотен квадратных метров до 20 – 30, а иногда и 50 км². На склонах гайотов Говорова и Назимова отмечены подобные образования площадью до 70 км². Эти осыпи отмечаются на склонах уже с глубин 2 200 – 2 400 м, но более широкое распространение обычно получают ниже отметок 3 000 – 3 500 м. Они распределены чаще неравномерно, преобладая на склонах одной или двух экспозиций. Неравномерно они развиты и по гайотам в целом. Так, на гайотах Вулканолог, Пегас, Ильичева акваколлювиальные осыпи присутствуют ограниченно. Гайоты Федорова, Ита-Май-Тай, Скорняковой и другие покрыты ими в умеренной (средней) степени. Склоны же гайотов Грамберга, Паллада, Коцебу или Назимова и Маровой из гайотов поднятия Маршалловых островов, на определенных участках практически полностью перекрыты такими осыпями. Однако и здесь это происходит по-разному. На гайоте Грамберга глубже 2 500 м склоны по всему периметру полностью перекрыты такими осыпями, которые постепенно переходят в стабильный осадочный покров. На гайоте Паллада такими образованиями почти полностью перекрыт весь южный склон, но уже с глубин 2 000 – 2 200 м (рис. 10.2.10, б).

Южный склон перекрыт и на гайоте Говорова.

С другой стороны, на некоторых участках склонов очевидна их не денудационная, а тектоническая природа, то есть их современный профиль сформировался, очевидно, за счет относительно недавнего обрушения. Прежде всего, к таким участкам можно отнести внутренние поверхности радиальных грабенов. На гайоте Бутакова западный и восточный склоны на большей своей протяженности характеризуются сбросовой природой. До глубин 3 700 – 4 000 м их средняя крутизна аномально высока – 35 – 40° и более. Фото- и видеоизображения здесь фиксируют крутые поверхности, сложенные ненарушенными скальными выходами, лишенными коркового покрытия и часто свободными от дресвянощепнистого материала. Иногда видны признаки зеркал скольжения.

Близкая ситуация отмечается на участках южного склона гайота Ита-Май-Тай, западного склона гайота Паллада.

Общее строение рельефа Магеллановых гор отображено на Геоморфологической карте Магеллановых гор (рис. 10.2.12).

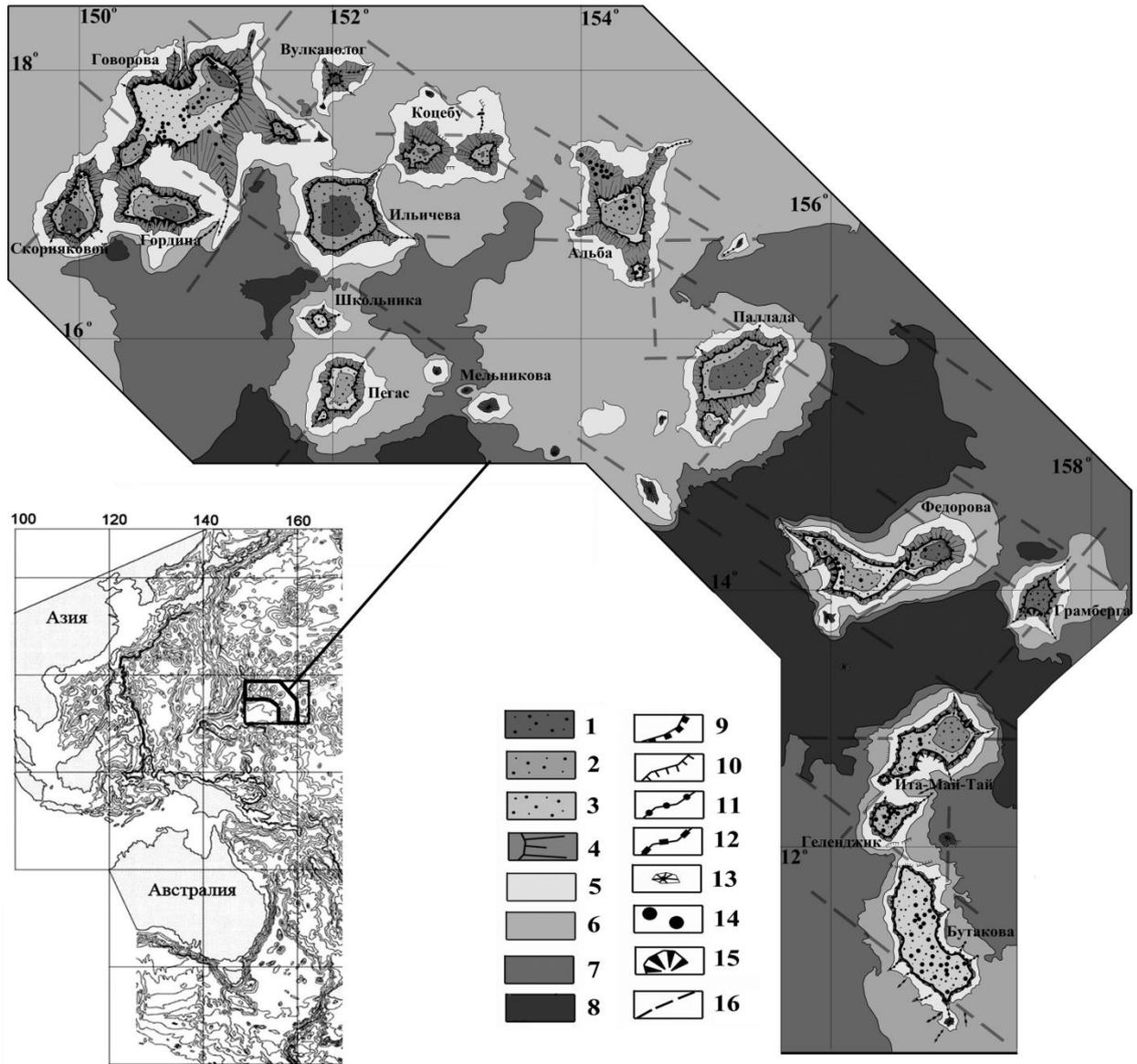


Рисунок 10.2.12 – Геоморфологическая карта Магеллановых гор

1 – Вершинные поверхности гайотов, высокий уровень, 2 - вершинные поверхности гайотов, средний уровень, 3 – вершинные поверхности гайотов, низкий уровень, 4 – склоны гайотов, 5 – цокольные основания гайотов, 6 – межгорные впадины, высокий уровень, 7 - межгорные впадины, средий уровень, 8 - межгорные впадины, низкий уровень, 9 – бровки вершинных поверхностей, 10 – уступы, 11 – оси отрогов, 12 - оси желобов, 13 – островершинные горы, 14 – отдельные вулканические постройки в пределах гайотов, 15 – радиальные грабены, 16 – линеаменты, выделяемые по геоморфологическим признакам.

На этой карте объединены результаты многолучевого эхолотирования как отдельных гайотов и островершинных гор, так и разделяющих их межгорных впадин, пересеченных многочисленными линиями попутных промеров.

На карте видно отчетливое разделение западного и восточного звеньев Магеллановых гор по глубинности межгорных впадин: на площади западного звена преобладают глубины впадин от 5700 до 5850 м, на восточном - от 5800 до 6000 м.

На Магеллановых горах существенно развиты линеаменты - протяженные линейные формы, составленные разнотипными формами рельефа (цепями вулканов, уступами, ложбинами и пр.).

В результате анализа были выделены многочисленные линейные формы рельефа, выраженные прямолинейными уступами, ложбинами, валами, хребтами, отрогами, цепями вулканов, входящими в состав Магеллановых гор.

Выделенные линеаменты отображены на соответствующей карте (рис. 10.2.13). Далее была построена роза-диаграмма направленности линеаментов Магеллановых гор (см. врезку к рис. 10.2.13), на которой можно видеть как главные, так и второстепенные системы линеаментов.

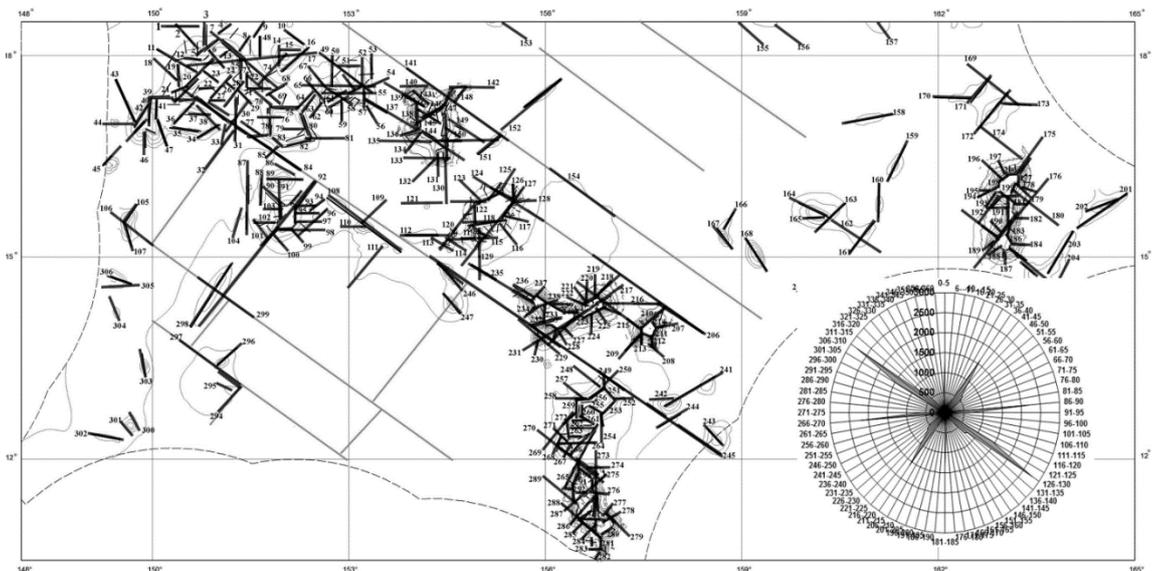


Рисунок 10.2.13. Карта линеаментов района Магеллановых гор.

Черные отрезки – линеаменты, серые длинные линии – линейные магнитные аномалии (по Копперсу), серый пунктир – граница района.

На врезке – роза-диаграмма направления линеаментов Магеллановых гор (на круговой шкале – градусы лимба, на радиальной – длины линеаментов, км)

Наиболее развиты северо-восточная и северо-западная системы (в северо-западную систему, в частности, входит линейная цепь гор Мельникова и прилегающих к ним построек). Менее развиты, но вполне заметны меридиональная и широтная системы.

В совокупности общая направленность линеаментов Магеллановых гор явно отвечает 4-м главным системам планетарной трещиноватости, что говорит о существенном влиянии планетарных процессов (скорее всего ротационных) на формирование линеаментно-дизъюнктивной сети в районе Магеллановых гор.

Учитывая прямую связь линеаментов с тектоническими разломами (очередной раз подтверждаемую в районе Магеллановых гор магнитометрическими исследованиями Копперса – см. рис. 10.2.13) можно обоснованно предполагать существенно блоковое строение Магеллановых гор, вычленяемых разломами основных диагональных (северо-восточного и северо-западного) направлений в теле океанической коры.

Полученные результаты позволяют отметить ряд особенностей в рельефе и строении Магеллановых гор.

Прежде всего, можно утверждать, что цепь Магеллановых гор состоит из двух звеньев – западного и восточного (или, если точно привязываться к сторонам света – северо-западного и юго-восточного). Они обладают различным строением, различной ориентацией главных структур, наконец, входящие в их состав гайоты характеризуются различными морфологическими особенностями. Граница между звеньями прослеживается достаточно отчетливо – по проходу между гайотами Федорова и Паллада, соединяющему впадины Пигафетта и Сайпан. Предположения, что в пределах Магеллановых гор выделяются участки различного происхождения, и, соответственно, цепь не является однородной, высказывались и ранее, однако они строились на сопоставлении состава и возраста магматических пород. Нами получены структурно-морфологические характеристики, которые могут свидетельствовать в пользу этих предположений.

Установлено, что гайоты цепи, в первом приближении, можно разделить на две группы – в первую входят относительно простые структуры, в целом соответствующие классическим представлениям о гайотах (округлые основания, хорошо выраженные вершинные плато, покрытые чехлом осадков, выпукло-вогнутый профиль склонов).

Ко второй отнесены гайоты с неправильными угловатыми очертаниями, нередко с входящими углами, осложненные многочисленными сателлитными постройками, отрогами. Возможны и переходные между этими группами формы.

Гайоты первой группы практически полностью сосредоточены в западном звене, и лишь небольшие гайоты Затонского и Ариранг расположены в восточном. Напротив, гайоты второй группы строят восточное звено. В западном звене также присутствуют два гайота этой группы – Говорова и Коцебу, относящиеся к крупным.

Сближенные подводные горы обладают сходным строением склонов – крутизной,

расчлененностью, соотношением участков с различными характеристиками. Удаленные друг от друга группы гор по этим показателям отличаются.

Еще один вывод, который следует считать бесспорным, – это обилие осложняющих мезоформ, развитых на гайотах цепи. Обилие это проявлено как в разнообразии форм, иерархической подчиненности структур, так и в их количестве. Линейные формы представлены отрогами, более мелкими гребнями, ложбинами, уступами. Среди площадных выделяются осложняющие вулканические постройки и террасы. Гайоты осложнены такими мезоформами в различной степени, что, очевидно, отражает интенсивность вулканотектонических активизаций в период существования гайотов.

Особенности морфологии Магеллановых гор говорят о наличии в их генезисе существенной тектонической составляющей. Признаки разломообразования свидетельствуют о блоковых движениях, которые в комплексе с вулканическими излияниями сформировали существующую структуру гайотов.

Публикации

1. Монография: С.П. Плетнев, М.Е. Мельников, В.Т. Съедин, Т.Е. Седышева, В.В. Авдонин, В.М. Анохин, Ю.Д. Захаров, Т.А. Пунина, О.Л. Смирнова. Геология гайотов Магеллановых гор (Тихий океан). Владивосток, Дальнаука, 2020. 200 с.

2. Анохин В.М., Седышева Т.Е., Плетнев С.П. Особенности общего геоморфологического строения Магеллановых гор (Тихий океан) //Материалы VIII Шукинских чтений. М., МГУ, 2020. С. 62.

3. Petukhov S.I., Anokhin V.M., Melnikov M.E., Sedysheva T.E. THE SPECIFIC FEATURES OF THE GEODYNAMIC SETTINGS IN THE SOUTHEASTERN PART OF THE MAGELLAN SEAMOUNTS, PACIFIC OCEAN. Russian Journal of Pacific Geology. 2020. Т. 14. № 5. С. 460-471. (SCOPUS)

Научные мероприятия

устные онлайн-доклады:

1. «Особенности общего геоморфологического строения Магеллановых гор (Тихий океан)»

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Амантов А.В. Геология дочетвертичных образований и тектоника Ладожского озера // Региональная геология и металлогения, № 58, 2014. С. 22-32.
2. Анохин В.М. Закономерности структурного плана района Магеллановых гор (Тихий океан) // Изв. Рус. геогр. о-ва. 2009. Т. 141, вып. 1, № 1. С. 33–44
3. Анохин В.М. Глобальная дизъюнктивная сеть Земли: строение, происхождение и геологическое значение. СПб.: Недра, 2006. 161 с.
4. Анохин В.М., Мельников М.Е. Особенности строения северо- восточного склона гайота Говорова (Магеллановы горы, Тихий океан) // Тихоокеан. геология. 2010. № 4. С. 34–44.
5. Анохин В.М., Науменко М.А., Нестеров Н.А. Рельеф дна Ладожского озера и его связь с дизъюнктивами // Изв. РГО. 2016. Т. 148, вып. 2. С. 44-52.
6. Ассиновская Б.А. Сейсмические события на Ладоге в XX веке // Известия РГО. 2005. Т. 137. Вып. 4. С. 70–76.
7. Большианов Д. Ю. Современные многолетние колебания уровня Ладожского озера и возможная причина ладожской трансгрессии позднего голоцена // Изв. РГО. 2018. Т. 150, вып. 4. С. 15-31.
8. Газетир географических названий форм подводного рельефа, показанных (или тех, которые могут быть показаны) на ГЕБКО и на международных гидрографических мелкомасштабных сериях карт (1: 2 250 000 и мельче). Монако: Международное гидрографическое бюро, 1992.
9. Гайоты Западной Пацифики и их рудоносность / Волохин Ю.Г., Мельников М.Е., Школьник Э.Л. и др. М.: Наука, 1995. 368 с.
10. Геоэкология Ладожского озера / В.Л. Иванов, В.И. Гуревич. СПб.: ВНИИОкеангеология, 1995. 209 с.
11. Государственная геологическая карта РФ м-ба 1:1 000 000 листы Р-35,36. Литологическая карта поверхности дна акваторий. Третье поколение. Балтийская серия. МПР РФ Картографическая фабрика ВСЕГЕИ. 2015.
12. Мельников М.Е. Месторождения кобальтоносных марганцевых корок. Геленджик: ГНЦ «Южморгеология», 2005. 230 с.
13. Мельников М.Е., Подшувейт В.Б., Пуляева И.А., Невретдинов Эр.Б. Среднемиоценовые вулканические постройки на гайоте Дальморгеология (Магеллановы горы, Тихий океан) // Тихоокеан. геология. 2000. Т. 19, № 5. С. 38–46.

14. Мельников М.Е., Плетнев С.П., Седышева Т.Е., Захаров Ю.Д., Иванов В.В., Пунина Т.А., Худик В.Д. Первые данные о геологическом строении гайота Бутакова, Магеллановы горы, Тихий океан // Вестник КРАУНЦ. 2012а. № 1, вып. 19. С. 231–250.
15. Мельников М.Е., Плетнев С.П., Басов И.А., Пунина Т.А., Седышева Т.Е., Худик В.Д., Захаров Ю.Д. Новые геологические и палеонтологические данные по гайоту Альба (Магеллановы горы, Тихий океан) // Тихоокеан. геология. 2007. Т. 26, № 3. С. 65–74.
16. Мельников М.Е., Туголесов Д.Д., Плетнев С.П. Строение верхней части разреза осадочной толщи гайота Ита- Май- Тай по данным геоакустического профилирования (Тихий океан) // Океанология. 2010. Т. 50, № 4. С. 618–626.
17. Мельников М.Е., Плетнев С.П., Анохин В.М., Седышева Т.Е. Вулканические постройки на гайотах Магеллановых гор (Тихий океан) // Тихоокеан. геология. 2016. Т. 35, № 6. С. 46–53.
18. Менард Г.У. Геология дна Тихого океана. М.: Мир, 1966. 272 с.
19. Металлогения Карелии. Ред. С.И. Рыбаков, А.И. Голубев. Петрозаводск, 1999. 350 с.
20. Плетнев С.П., Мельников М.Е., Съедин В.Т., Седышева Т.Е., Авдонин В.В., Анохин В.М., Захаров Ю.Д., Пунина Т.А., Смирнова О.Л. Геология гайотов Магеллановых гор (Тихий океан). Владивосток, Дальнаука, 2020. 200 с.
21. Применение изотопных методов для изучения современных процессов водообмена Ладожского озера [Текст]: отчет о НИР (заключ.) : программа ОНЗ РАН № 10 «Оценка, прогноз и методы управления водными ресурсами с учетом их качества и экологического состояния» на 2009-2011 гг. / ИНОЗ РАН ; рук. В.А. Румянцев. – СПб., 2012. – 36 с. – № ГР. 01200958874 – Инв. № 02201361180.
22. Рашидов В.А. Магеллановы горы (Тихий океан): состояние геологической изученности // Вестник КРАУНЦ. Науки о земле. 2006. № 2. С. 13–20.
23. Рашидов В.А., Невретдинов Э.Б., Селянгин О.Б., Невретдинов Эр.Б. Геолого- геофизические исследования гайотов Магеллановых гор Тихого океана // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2003. № 1. С. 103–126.
24. Рудник В.А., Мельников Е.К., Мусийчук Ю.И. Геологический фактор: состояние и здоровье человека // Минерал № 1. 1998. С. 41-55.
25. Румянцев В.А., Рыбакин В.Н., Токарев И.В. Распространение вод притоков и подземных вод в Ладожском озере по данным изотопных индикаторов // Ученые записки

Российского государственного гидрометеорологического университета. – 2017. - № 48. - С 94-109.

26. Семенович Н.И. Донные отложения Ладожского озера. М – Л-д., Наука, 1966. 124 с.
27. Anokhin V.M., Sedysheva T.E., Melnikov M.E. Features of the geomorphology of the Magellan mountains as a factor of the crust mineralization // Abstracts of Joint International Conference «Minerals of the Ocean – 9». VNIIOKEANGEOLOGIA, St. Petersburg, 2018. P. 14–18
28. Dudakova D., Anokhin V., Dudakov M., Judin S. Mapping Rocky Coastal Landscapes in Northern Lake Ladoga around the islands of Raipatsaari and Lussikainluoto // GEOHAB 2019 Marine geological and biological habitat mapping. Saint-Petersburg Russia. May 13-17. 2019. P.51-52.
29. Heezen B.C., Matthews J.L., Catalano R. Western Pacific guyots // Initial reports of the Deep Sea Drilling Project. W., 1973. Vol. 20. P. 653–723.
30. Koppers A.A.P., Staudigel H., Wijlbrans J.R., Pringle M.S. The Magellan seamount trail: implication for Cretaceous hotspot volcanism and absolute Pacific plate motion // Earth and Planet. Sci. Let. 1998. Vol. 163. P. 53–68.
31. Lee T.-G., Lee S.-M., Moon J.-W., Lee K. Paleomagnetic investigation of seamounts in the vicinity of Ogasawara Fracture // Earth Planets Space Letter. 2003. Vol. 55. P. 355–360.
32. Lee T.-G., Hein J.R., Lee K., Moon J.-W., Ko Y.-T. Sub-seafloor acoustic characterization of seamounts near the Ogasawara Fracture Zone in the western Pacific using chirp (3–7 kHz) subbottom profiles// Deep- Sea Research. 2005. P. I. Vol. 52. P. 1932–1956.
33. Nineteenth meeting of the GEBCO sub-committee on undersea feature names (SCUFN). IOC-IHO/GEBCO SCUFN-XIX. Bremerhaven, 2006. 46 p.
34. S.I. Petukhov, V. M. Anokhin, M.E. Mel'nikov & V.G. Vdovin Geodynamic Features of the Northwestern Part of the Magellan Seamounts, Pacific Ocean. Journal of Geography and Geology; Vol. 7, No. 1; 2015. Published by Canadian Center of Science and Education. P. 35-45.
35. Petukhov S.I., Anokhin V.M., Melnikov M.E., Sedysheva T.E. THE SPECIFIC FEATURES OF THE GEODYNAMIC SETTINGS IN THE SOUTHEASTERN PART OF THE MAGELLAN SEAMOUNTS, PACIFIC OCEAN Russian Journal of Pacific Geology. 2020. T. 14. № 5. С. 460-471.

36. Seventeenth meeting of the GEBCO sub-committee on undersea feature names (SCUFN). IOC-IHO/GEBCO SCUFN-XVII. St. Petersburg, 2004. 30 p.
37. Staudigel H., Clague D.A. The geological history of deep-sea volcanoes // *Oceanography*. 2010. Vol. 23, N 1. P. 58–71.
38. Twenties meeting of the GEBCO sub-committee on undersea feature names (SCUFN). IOC-IHO/GEBCO SCUFN-XX / Monaco, 2007. 55 p.
39. Twenty second meeting of the GEBCO sub-committee on undersea feature names (SCUFN). IOC-IHO/GEBCO SCUFN-XXII / Brest, 2009. 59 p.

РАЗДЕЛ Б – Список публикаций В.М. Анохина за 2020 г.

1. Петухов С.И., Анохин В.М., Науменко М.А. ПЕРВЫЙ ОПЫТ МОРФОТЕКТОНИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РАЙОНА ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА. В сборнике: География: развитие науки и образования. Коллективная монография по материалам ежегодной международной научно-практической конференции. Отв. редакторы С.И. Богданов, Д.А. Субетто, А.Н. Паранина. 2020. С. 147-151.
2. Анохин В.М., Дудакова Д.С. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА В 2019 ГОДУ. В сборнике: География: развитие науки и образования. Коллективная монография по материалам ежегодной международной научно-практической конференции. Отв. редакторы С.И. Богданов, Д.А. Субетто, А.Н. Паранина. 2020. С. 80-85.
3. Анохин В.М., Рыбакин В.Н., Токарев И.В., Румянцев В.А. НОВЫЕ ДАННЫЕ О РАСПРОСТРАНЕНИИ ВЫХОДОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА ДНЕ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА. В сборнике: География: развитие науки и образования. Коллективная монография по материалам ежегодной международной научно-практической конференции. Отв. редакторы С.И. Богданов, Д.А. Субетто, А.Н. Паранина. 2020. С. 85-89.
4. Монография: Геология гайотов Магеллановых гор (Тихий океан). С.П. Плетнев, М.Е. Мельников, В.Т. Съедин, Т.Е. Седышева, В.В. Авдонин, В.М. Анохин, Ю.Д. Захаров, Т.А. Пунина, О.Л. Смирнова. Владивосток, Дальнаука, 2020. 200 с.
5. Анохин В.М., Седышева Т.Е., Плетнев С.П. Особенности общего геоморфологического строения Магеллановых гор (Тихий океан) //Материалы VIII Щукинских чтений. М., МГУ, 2020. С. 62.
6. Дудакова Д.С., Анохин В.М., Дудаков М.О. Влияние рельефа дна на структурные характеристики прибрежных подводных ландшафтов Ладожского озера//Материалы VIII Щукинских чтений. М., МГУ, 2020. С. 71.
7. Анохин В.М., Дудакова Д.С., Дудаков М.О. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ДОННЫХ ЛАНДШАФТОВ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА С ПОМОЩЬЮ ПОДВОДНОЙ ФОТОВИДЕОСЪЕМКИ В 2018-20 ГОДАХ // Материалы 16-17 декабря –IV Всероссийской конференции МГО-2020 «Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития». Санкт-Петербург, 2020.

8. Petukhov S.I., Anokhin V.M., Melnikov M.E., Sedysheva T.E. THE SPECIFIC FEATURES OF THE GEODYNAMIC SETTINGS IN THE SOUTHEASTERN PART OF THE MAGELLAN SEAMOUNTS, PACIFIC OCEAN. Russian Journal of Pacific Geology. 2020. T. 14. № 5. С. 460-471. (WoS, SCOPUS)

9. Vladimir Anokhin, Dina Dudakova, Mikhael Dudakov. Studying the bottom landscapes of Lake Ladoga using underwater vehicles// EGU2020-1743 EGU General Assembly 2020 © Author(s) 2019. This work is distributed under the Creative Commons Attribution 4.0 License.

РАЗДЕЛ В – Список научных мероприятий с участием В.М. Анохина в 2020 г

1. 4-8 мая - Участие в Генеральной ассамблее Европейского союза наук о Земле EGU (Вена, Австрия). Устный онлайн доклад «Studying the bottom landscapes of Lake Ladoga with use of underwater vehicles». Авторы - Vladimir Anokhin, Dina Dudakova, Mikhael Dudakov
2. 29 мая - участие в Международном молодежном научно-практическом семинаре "Ладога: шхеры и их подводный мир" онлайн
3. 28 сентября - 01 октября - участие во Всероссийской конференции «VIII Щукинские чтения: рельеф и природопользование». Устные онлайн-доклады:
4. 16-17 декабря – участие в IV Всероссийской конференции МГО-2020 «Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития», Санкт-Петербург. Устный онлайн доклад: «РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ДОННЫХ ЛАНДШАФТОВ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА С ПОМОЩЬЮ ПОДВОДНОЙ ФОТОВИДЕОСЪЕМКИ В 2018-20 ГОДАХ»
 - 1) «Особенности общего геоморфологического строения Магеллановых гор (Тихий океан)»
 - 2) «Влияние рельефа дна на структурные характеристики прибрежных прибрежных подводных ландшафтов Ладожского озера»

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам выполненных в 2020 году научных исследований Программа фундаментальных научно-исследовательских работ Санкт-Петербурга на период до 2035 года была скорректирована с учетом требований Указа Президента Российской Федерации от 21 июля 2020 г. N 474 "О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года".

В рамках национальной цели "Возможности для самореализации и развития талантов" произведено исследование целевого показателя «обеспечение присутствия Российской Федерации в числе десяти ведущих стран мира по объему научных исследований и разработок».

Основные выводы, полученные в процессе исследования:

- выполненные исследования по планам работ ОНС СПбНЦ РАН соответствуют Программе фундаментальных НИР на период до 2030 года с учетом корректуры;
- только высокие темпы прироста количества и качества публикаций обеспечат присутствие Российской Федерации в числе десяти ведущих стран мира по объему научных исследований и разработок;
- степень интеграции российских и зарубежных ученых в научных исследованиях и разработках дифференцирована в различных предметных областях науки;
- анализ динамики совместных публикаций российских и зарубежных ученых свидетельствует о возрастании их сотрудничества в тех направлениях исследований, которые требуют значительных материальных затрат на оборудование (физика, астрономия, биология, медицина);
- перспективы воспроизводства и развития научно-образовательного потенциала Санкт-Петербурга в различных предметных областях науки соответствуют лучшим мировым трендам.

Таким образом, цели и задачи, установленные на 2020 год в рамках выполнения Государственного задания в НИР на тему «Разработка теории трансформации научно-инновационного пространства Санкт-Петербурга в контексте инновационного развития российской экономики с учетом теоретико-методологических основ устойчивого технологического развития региона на основе инновационно-инвестиционной деятельности и воспроизводства и формирования научно-образовательного потенциала Санкт-Петербурга» достигнуты.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Список публикаций по теме исследования в 2020 году

1. Двас Г.В. Трансформация дифференцированных целей и механизмов развития регионов под влиянием цифровизации и экономики знаний. [Монография]. – СПб: Изд-во СПбГЭУ, 2020. – 126 с. ISBN 978-5-7310-5042-5.
2. Джапаридзе Л.А. Микробиом и макроорганизм. [Монография]. – СПб: Изд-во СПбГЭУ, 2020. – 156 с. ISBN 978-5-7310-4928-3.
3. Белый О.В., Барина Л.Д., Забалканская Л.Э. Проблемы устойчивого развития системы городского общественного транспорта. [Монография]. – СПб: Изд-во СПбГЭУ, 2020. – 132 с.
4. Бубличенко Ю.Н., Бубличенко А.Г. Птицы и млекопитающие региона Финского залива. [Монография]. – СПб: Изд-во СПбГЭУ, 2020. – 219 с. ISBN 978-5-7310-5055-5.
5. Марков В.С., Иванов В.П. Компонентный и факторный анализ числовых массивов проектных данных. [Монография]. – СПб: Изд-во СПбГЭУ, 2020. – 100 с.
6. Левченко В.Ф. Эволюционная биосферология. [Монография]. – СПб: Изд-во СПбГЭУ, 2020. – 140 с.
7. Попов В.А., Бурыкин А.А. Русские термины родства: Опыт исследования коммуникативного дискурса. (Алгебра родства: Родство. Системы родства. Системы терминов родства). Вып. 18. [Монография]. – СПб.: СПбНЦ РАН; АНО «КИО», 2020. – 304 с. ISBN 978-5-91406-095-1.
8. Иванова Е.А., Николаева Л.Г., Воронова А.А. Публикационная активность российских ученых: Scopus 1996–2019 гг. [Монография]. – СПб: Изд-во СПбГЭУ, 2020. – 132 с. *(рукопись в печати)*.
9. Пименова Т.Ф. Формирование и развитие научного потенциала как основного фактора инновационного развития региона. [Монография]. – СПб: Изд-во СПбГЭУ, 2020. *(рукопись в печати)*.
10. **Tsyganov V.E.**, Tsyganova A.V., Gorshkov A.P., Seliverstova E.V., Kim V.E., Chizhevskaya E.P., Belimov A.A., Serova T.A., Ivanova K.A., Kulaeva O.A., Kusakin P.G., Kitaeva A.B., Tikhonovich I.A. Efficacy of a plant-microbe system: *Pisum sativum* (L.) cadmium-tolerant mutant and *Rhizobium leguminosarum* strains, expressing pea metallothionein genes PsMT1 and PsMT2, for cadmium phytoremediation // *Frontiers in Microbiology*. 2020. Vol. 11. Article 15. **Q1** (WoS)
11. Dolgikh E.A., Kusakin P.G., Kitaeva A.B., Tsyganova A.V., Kirienko A.N., Leppyanen I.V., Dolgikh A.V., Ilina E.L., Demchenko K.N., Tikhonovich I.A., **Tsyganov V.E.**

Mutational analysis indicates that abnormalities in rhizobial infection and subsequent plant cell and bacteroid differentiation in pea (*Pisum sativum*) nodules coincide with abnormal cytokinin responses and localization // *Annals of Botany*. 2020. Vol. 125. N 6. P. 905-923. **Q1** (WoS)

12. Gorshkov A.P., Tsyganova A.V., Vorobiev M.G., **Tsyganov V.E.** The fungicide tetramethylthiuram disulfide negatively affects plant cell walls, infection thread walls, and symbiosomes in pea (*Pisum sativum* L.) symbiotic nodules // *Plants*. 2020 Vol. 9. Article 1488. **Q1** (WoS)

13. Орлова М.И., Родионов В.А. Биообращение, морские и континентальные воды: теория, практика, перспективы региональных междисциплинарных исследований // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*. – 2020. – Т. 13, № 4. – С. 121-136. (Scopus)

14. Ванкевич Р.Е., **Родионов А.А.** Численное исследование закономерностей генерации субмезомасштабных возмущений при обтекании элементов подводного рельефа // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*. – 2020. – Т. 13, №4. – С. 27-38. (Scopus)

15. Kotta J, Futter M, Kaasik A, Liversage K, Rätsep M, Barboza FR, Bergström L, Bergström P, Bobsien I, Díaz E, Herkül K, Jonsson PR, Korpinen S, Kraufvelin P, Krost P, Lindahl O, Lindegarth M, Lyngsgaard MM, Mühl M, Sandman AN, Orav-Kotta H, **Orlova M**, Skov H, Rissanen J, Šiaulyš A, Vidakovic A, Virtanen (2020) Cleaning up seas using blue growth initiatives: Mussel farming for eutrophication control in the Baltic Sea. *Sci Total Environ*. 2020 Mar 20;709:136144. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.136144. PMID: 31905569

16. Kotta J, Futter M, Kaasik A, Liversage K, Rätsep M, Barboza FR, Bergström L, Bergström P, Bobsien I, Díaz E, Herkül K, Jonsson PR, Korpinen S, Kraufvelin P, Krost P, Lindahl O, Lindegarth M, Lyngsgaard MM, Mühl M, Sandman AN, Orav-Kotta H, **Orlova M**, Skov H, Rissanen J, Šiaulyš A, Vidakovic A, Virtanen Response to a letter to editor regarding Kotta et al. 2020: Cleaning up seas using blue growth initiatives: Mussel farming for eutrophication control in the Baltic Sea. *Sci Total Environ*. Volume 739, 15 October 2020, 138712 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138712>

17. Ryabchuk D, **Orlova M.**, Kaskela A., Kotilainen A., Sergeev A., **Sukhacheva L.**, Zhamoida V., Budanov L. and Neevin I Chapter 15: The eastern Gulf of Finland—brackish water estuary under natural conditions and anthropogenic stress. In: *GeoHab Atlas of Seafloor Geomorphic Features and Benthic Habitats*, **Editors:** Peter Harris Elaine Baker. PP 281-302; **Paperback ISBN:** 9780128149607, **eBook ISBN:** 9780128149614, © Elsevier Science 2020 (подтверждающие документы на электронных ресурсах издательств).

18. Ryabchuk D., **Orlova M.**, Kaskela A., Kotilainen A., Sergeev A., Sukhacheva L., Zhamoida V., Budanov L. (2020) Chapter 15. The eastern Gulf of Finland – brackish water estuary under natural conditions and anthropogenic stress. PP. 281-301.
19. Белый О.В., Баринаева Л.Д., Забалканская Л.Э. Методы обеспечения безопасности на автомобильных дорогах в зимний период» // Транспорт: наука, техника управление. – 2020, № 6. – С. 3-8 doi: 10.36535/0236-1914-2020-06-1 (ВАК).
20. Белый О.В., Баринаева Л.Д., Забалканская Л.Э. Целевая модель как основа стратегии управления устойчивым развитием городского общественного транспорта // Транспорт РФ. 2020, №1(86). – С. 3-7 (ВАК)
21. Petukhov S.I., **Anokhin V.M.**, Melnikov M.E., Sedysheva T.E. The specific features of the geodynamic settings in the southeastern part of the Magellan seamounts, Pacific Ocean. Russian Journal of Pacific Geology. – 2020. – Т. 14, № 5. – С. 460-471. (WoS, Scopus)
22. Петухов С.И., **Анохин В.М.**, Науменко М.А. Первый опыт морфотектонического моделирования района Ладожского озера // География: развитие науки и образования. Материалы ежегодной международной научно-практической конференции / Отв. редакторы С.И. Богданов, Д.А. Субетто, А.Н. Паранина. СПб, 2020. – С. 147-151. (РИНЦ)
23. Иванова Е.А., Николаева Л.Г. Публикации российских ученых в 1996–2019 гг. (по данным информационно-аналитической базы Scopus) // Проблемы деятельности ученого и научных коллективов: Международный ежегодник. Вып. 6(36). СПб: ИИЕТ РАН, 2020. – С. 193-206. DOI: 10.24411/2414-92-41-2020-10013 (РИНЦ)
24. Иванова Е.А. Публикационная активность российских биологов в 1996–2019 гг., отраженная в Scopus // Наука и техника: Вопросы истории и теории. Материалы ХLI Международной годичной научной конференции Санкт-Петербургского отделения Российского национального комитета по истории и философии науки и техники РАН «Ученый и эпоха: к 170-летию со дня рождения Н.И. Кареева и С.В. Ковалевской» (26–30 октября 2020 года). Выпуск XXXVI. СПб.: СПбФ ИИЕТ РАН; Скифия-принт., 2020. С. 288-289. (РИНЦ)
25. **Бубличенко Ю.Н.**, Бубличенко А.Г. Современные проблемы Рамсарских территорий региона Финского залива Балтийского моря. Материалы конференции конференции «Моря России». – Севастополь, 2020. – С. 370-372. (РИНЦ)
26. Венцюлис Л.С., Воронов Н.В., **Быстрова Н.Ю.** Обращение с отходами: современное состояние и перспективы // Сборник статей II Международной научно-

практической конференции. – Уфа: Изд-во Уфимского государственного нефтяного технического университета, 2020. – С. 16-20. (РИНЦ)

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Список организованных мероприятий за 2020 год

1. Международная научная конференция «Миллеровские чтения – 2020: Преемственность и традиции в сохранении и изучении документального академического наследия». 21–24 октября 2020 г., Санкт-Петербург. СПбНЦ РАН – соорганизатор;
2. Вторые Пчелинские чтения «Общественно-политическая и культурная история Кавказа» 24 октября 2020 г., Санкт-Петербург. СПбНЦ РАН – соорганизатор;
3. XLI Международная годовичная научная конференция Санкт-Петербургского отделения Российского национального комитета по истории и философии науки и техники РАН «Ученый и эпоха: к 170-летию со дня рождения Н.И. Кареева и С.В. Ковалевской». 26–30 октября 2020 года, Санкт-Петербург. СПбНЦ РАН – соорганизатор;
4. XLVIII International Summer School-Conference “Advanced Problems in Mechanics - APM-2020 ONLINE”, St. Petersburg, Russia. СПбНЦ РАН – соорганизатор;
5. Международная научно-практическая конференция, посвященная 100-тию К.Я.Кондратьева. 20-21 октября 2020. Санкт-Петербург. СПбНЦ РАН – соорганизатор;
6. XI научно-практическая конференция “Грипп и другие респираторные инфекции: алгоритмы профилактики, диагностики и лечения” с симпозиумом «Бронхолегочные осложнения гриппа и ОРВИ», 7 февраля 2020 г. СПбНЦ РАН – соорганизатор;
7. Научно-практическая конференция «Непрерывное медицинское образование в кардиологии», 28 февраля 2020 г. СПбНЦ РАН – соорганизатор;
8. Научно-практическая конференция «Профилактика и лечение клещевого энцефалита», 10 апреля 2020 г. СПбНЦ РАН – соорганизатор; II междисциплинарная научно-практическая конференция «Репродуктивное здоровье населения: реалии и перспективы», 15 мая 2020 г. СПбНЦ РАН – соорганизатор;
9. Вебинар «Современная гериатрия: вызовы и решения», 28 мая 2020 года. СПбНЦ РАН – соорганизатор; СПбНЦ РАН – соорганизатор;
10. Научно-практический вебинар «Кардиопревенция: настоящее и будущее», дата проведения - 2 июня 2020 г., СПбНЦ РАН – соорганизатор;
11. Онлайн-вебинар "Онкопревенция: настоящее и будущее". 07 июля 2020, Санкт-Петербург, СПбНЦ РАН – соорганизатор;
12. XIV научно-практической конференции «Грипп и другие воздушно-капельные инфекции» с симпозиумом «Итоги и уроки эпидемии COVID-19». Дата проведения: 22 сентября 2020 года, Санкт-Петербург. Совместно с ООО «Дискавери Мед».