

**Санкт-Петербургский научный центр Российской академии наук:
Первая Санкт-Петербургская научная школа-семинар молодых учёных
«Механика, химия и новые материалы» (МХНМ)**

Т.Ф. Пименова

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Санкт-Петербургский научный центр Российской академии наук
199034, Санкт-Петербург, Университетская набережная, дом 5

Введение

Создание и использование новых материалов, процессов и технологий, образцов новой техники, определяющих уровень научно-технологического развития страны, является весьма актуальной комплексной задачей, решаемой как в мировых научных и научно-технологических центрах, так и в целом ряде отечественных, в том числе и Санкт-Петербурга. Здесь на базе основных научных дисциплин – математики, физики, химии, информатики, машиноведения и 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 [1]. Междисциплинарный подход способствует успешной реализации весьма сложных научно-технических задач по обеспечению надежности ответственных конструкций, в том числе в экстремальных условиях [2]. Этот подход позволяет решать актуальные проблемы страны и региона, в том числе в области безопасности атомной энергетики, надёжности ответственных конструкций, оснащения предприятий города новейшей технологией, создания наукоемких производств.

Научная составляющая школы-семинара

В рамках этих трендов одним из знаковых событий прошедшего 2022 года является организованная и проведённая в октябре 2022 года в Санкт-Петербургском научном центре РАН совместно с Санкт-Петербургским государственным университетом на платформе Объединённого научного совета по проблемам материаловедения, механики, прочности при СПб НЦ РАН – I Санкт-Петербургская научная школа-семинар «Механика, химия и новые материалы» (МХНМ–22), впервые в таком формате. Инициатором проведения научной школы-семинара стал

Объединённый научный совет по проблемам материаловедения, механики, прочности [3] при СПб НЦ РАН и входящий в его состав специализированный Научный совет по горению и взрыву [4].

Тематика школы-семинара направлена на обсуждение новых результатов теоретических, численных и экспериментальных исследований в мультидисциплинарной области, охватывающей актуальные направления механики, химии, материаловедения, пограничных областей, а также их практические приложения в образцах новой техники и технологии. Основной целью школы-семинара является создание условий для обмена информацией и мнениями между специалистами из разных областей знания, обсуждения новых идей, актуальных проблем.

В работе школы-семинара приняли участие более 80 исследователей из 20 научных организаций, среди которых – 14 вузов, 4 – института РАН и один Государственный научный центр. Среди участников школы: члены РАН, 26 докторов наук и 20 кандидатов наук, порядка 40 участников – это студенты, аспиранты и магистранты различных научных организаций и вузов города. Среди присутствующих: 10 докторов физико-математических наук, 11 докторов технических наук, 3 доктора химических наук и 2 доктора биологических наук, 14 кандидатов физико-математических наук, 3 кандидата химических наук и 3 кандидата технических наук. Школа стала научным мероприятием, объединившим на своей площадке ведущих учёных в области механики, математики, физики, химии и смежных наук.

Председатель программного комитета школы – д.ф.-м.н., член – корр. РАН Ю.В. Петров, профессор кафедры теории упругости СПбГУ, директор НИЦ «Динамика» ИПМаш РАН – СПбГУ. Сопредседатель программного комитета – профессор Д. Баоцян Ли, Харбинский политехнический университет – СПбГУ (научный руководитель лаборатории «Динамика и экстремальные характеристики перспективных наноструктурированных материалов»), Математико-механический факультет.

Научная программа школы включала в себя пленарные лекции ведущих учёных (30) минут и устные доклады молодых учёных (15) минут. Всего было прочитано восемь пленарных лекций ведущими учёными и сделано шестнадцать устных сообщений их учениками о результатах исследований в областях знания, охватываемых тематикой школы-конференции.

В качестве приглашённых лекторов выступили ведущие учёные. Среди них:

Валиев Руслан Зуфарович, доктор физико-математических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ и РБ, член Европейской академии наук, чл.-корр. АН РБ, основатель (1995 г.) и научный руководитель Института физики перспективных материалов Уфимского государственного авиационного технического

университета (ИФПМ УГАТУ), с 2006 года – заведующий кафедрой нанотехнологий УГАТУ, а с 2017 года – кафедрой материаловедения и физики металлов. Р.З. Валиев один из основателей и председатель Международного научного комитета по ИПД-наноматериалам, а также член нескольких международных профессиональных комитетов, таких как Международный комитет по сверхпластичности перспективных материалов (Орландо, США), Академический комитет новых материалов (Москва), Международный комитет наноструктурных металлов (Сендай, Япония), Общество материаловедов (США). Р.З. Валиевым представлено свыше 150 ключевых лекций и приглашённых докладов на ведущих международных конференциях. Он является инициатором и председателем международного симпозиума «Объёмные наноструктурные материалы: от науки к инновациям», проводимого в Уфе раз в два года, начиная с 2007 г. В работе данного форума принимают участие учёные и специалисты более чем из 20 стран мира.

Основные научные интересы Р.З. Валиева лежат в области изучения процессов получения наноматериалов методами интенсивной пластической деформации (ИПД), исследования их микроструктуры и уникальных свойств для инновационных применений в машиностроении, энергетике и медицине. Эти работы, выполненные в рамках как российских, так и международных программ, получили широкую известность и признание как в стране, так и за рубежом. Среди многочисленных отечественных и международных наград Р.З. Валиева отметим следующие: получены премия А. Гумбольдта, Германия (2001 г.) за пионерские исследования в области объёмных наноматериалов; руководитель ведущей научной школы РФ – гранты поддержки Президента РФ 2006 и 2008 гг.; награждён сертификатом как наиболее цитируемый автор за 2005-2008 гг. в издательстве Elsevier за статью [5]; лауреат приза журнала *Materials Science & Engineering A* (2010 г.) за выдающиеся работы в области объёмных наноструктурных материалов, диплом РФФИ и Elsevier «Scopus Award Russia 2011» (в номинации «Самый высокорейтинговый российский автор на международном уровне»); медаль имени Б. Паскаля в области материаловедения за 2011 г. (Европейская Академия Наук), TMS Fellow Award 2014, SOMIYA Award 2015; лауреат Государственной премии РБ в области науки и техники 2015 года за цикл работ «Разработка, исследование и применение новых нанокристаллических материалов», авторы Валиев Р.З., Лэнгдон Теренс (Langdon Terence) и др.; включён в «Стэнфордский» список 2 % самых цитируемых учёных мира в различных дисциплинах и др. Р.З. Валиев автор более 800 статей, 13 монографий и книг, более 35 авторских свидетельств и патентов на изобретения, научного открытия в СССР (№339, 1987 г.). Суммарное цитирование его работ превышает 46 000, индекс Хирша (h-index): 97 (данные согласно ISI WoS).

Еникеев Нариман Айратович, д.ф.-м.н., руководитель сектора «Моделирование объёмных наноматериалов» ИФПМ УГАТУ, СПбГУ, Математико-

механический факультет, координатор от ИФПМ в совместных международных проектах CRDF (с участием ВНИИЭФ и LANL) и ФЦП в рамках сотрудничества с ЕС (FP7–Russia). Участник большого числа российских и международных научных конференций (более 40). В научной деятельности сотрудничает со специалистами многих российских научных центров, в частности, СПбГУ, МИСиС, ВНИИЭФ (Саров), НИИАР (Димитровград) и др., и зарубежных научных организаций, в частности, Университета Руана (Франция), Пхоханского университета науки и технологии (Южная Корея), Технологического института Карлсруэ (Германия), Института материаловедения Университета Мюнстера (Германия), Группы физики наноматериалов Венского университета (Австрия) и др. Область научных интересов Н.А. Еникеева: физика прочности и пластичности, интенсивная пластическая деформация, наноструктурные и ультрамелкозернистые материалы, теория дислокаций, рентгеноструктурный анализ, кристаллографическая текстура, многоуровневое моделирование, механизмы деформации, упрочнение, сегрегации, границы зёрен, радиационная стойкость. Данные публикационной активности: более 70, из них: 3 монографии, 3 патента, 1 свидетельство о регистрации программы. Индекс Хирша: 18 (WoS), 20 (Scopus), 19 (РИНЦ); суммарное число цитирований: >1 300 (WoS), > 1 500 (Scopus).

Кукушкин Сергей Арсеньевич, д.ф.-м.н., профессор факультета лазерной фотоники и оптоэлектроники ИТМО, профессор Санкт-Петербургского национального исследовательского Академического университета им. Ж.И. Алфёрова РАН, заведующий лабораторией ИПМаш РАН.

Область научных интересов: термодинамика и кинетика фазовых переходов первого рода, теория зарождения и роста новой фазы на поверхности твёрдых тел, нано и-микромеханика начальных стадий разрушения твёрдых тел, теория фазовых переходов и теория переключения в сегнетоэлектриках-сегнетоэластиках, рост нитевидных нано-кристаллов (вискеров), рост и зарождение квантовых точек, физика и механика поверхности, фазовые переходы первого рода в деформируемых телах, исследование образования и роста наноструктур и тонких плёнок, механохимия, рост и образование эпитаксиальных плёнок широкозонных полупроводников, плёнки карбида кремния, плёнки нитридов алюминия, галлия, индия и их твёрдых растворов, плёнки сегнетоэлектриков. Среди наград С.А. Кукушкина отметим следующие: премия Президиума РАН им. П.А. Ребиндера за 2010 год; премия Правительства Санкт-Петербурга и СПбНЦ РАН имени А.Ф. Иоффе (2014 г.) за цикл фундаментальных работ и создание технологии по выращиванию бездефектных пленок карбида кремния, открывающих уникальные возможности для использования нанопленок в микро-, нано- и оптоэлектронике; стипендия Минпромторга РФ за значительный вклад в создание новой прорывной технологии и разработку современных образцов ВВСТ (2017 г.). С.А. Кукушкин автор более 497 научных

работ, из них 300 статей в отечественных и зарубежных журналах, 1 монография, 12 крупных обзоров в отечественных и зарубежных журналах и 19 патентов. Результаты работ С.А. Кукушкина названы Президентом РАН академиком А.С. Сергеевым в числе 10 самых значительных достижений РАН за 2022 год.

Семёнов Константин Николаевич, доктор химических наук, заведующий межкафедральной лабораторией биомедицинского материаловедения, заведующий кафедрой общей и биоорганической химии Первого Санкт-Петербургского государственного медицинского университета им. И.П. Павлова, доцент кафедры химии твердого тела Института химии Санкт-Петербургского государственного университета. Область научных интересов: углеродные наноструктуры, медицинская химия, адресная доставка лекарственных препаратов. К.Н. Семёнов является крупным специалистом в области создания, исследования и применения материалов биомедицинского назначения. Им созданы новые экспериментальные и теоретические подходы к синтезу и исследованию материалов биомедицинского назначения, представляющие значительный интерес для специалистов, работающих в области нанохимии и наноматериаловедения. Эти подходы позволяют получать практически значимые продукты с высокой биосовместимостью и приводят к значительному снижению себестоимости материалов биомедицинского назначения. Награды: грант Президента РФ «Водорастворимые производные лёгких фуллеренов как основа для создания новой формы препаратов комплексного действия в растениеводстве: стимулирующего, адаптогенного, протекторного»; грант РФФИ «Конъюгаты лёгких фуллеренов с антимикробными пептидами: синтез, изучение свойств и возможности применения в сельском хозяйстве», грант РФФИ «Производные лёгких фуллеренов с незаменимыми аминокислотами и нанокompозиты на их основе: от электронного строения до биологической активности»; премия имени Леонарда Эйлера в области естественных и технических наук (для молодых учёных в возрасте до 35 лет) в 2019 г. присуждена за исследования в области синтеза, выделения, изучения и практического применения углеродных наноструктур. К.Н. Семёнов автор более 130 статей в ведущих научных российских и международных журналах, из них более 50 – в журналах первого квартиля (*Progress in Solid State Chemistry*, *Journal of Molecular Liquids*, *Journal of Chemical Thermodynamics*, *Carbon*, *Industrial and Engineering Chemical Research*, *Journal of Chemical Engineering Data*, *Успехи химии* и т.д.), 8 обзорных статей, одной монографии, двух глав в монографиях, 10 патентов. Индекс Хирша: 20 (Scopus), общее число цитирований – 1 461.

Скорб Екатерина Владимировна профессор, руководитель исследовательской группы, директор и ведущий профессор Научно-образовательного центра «Инфохимия» в составе Лаборатории SCAMT Университета ИТМО. Область научных интересов: инфохимия самоорганизующихся систем, химический

компьютинг, электрохимические сенсоры, персонализированная экспресс-диагностика, мягкая робототехника. Интересы лежат в области научных, технических и нормативно-технических основ, необходимых для обеспечения современных требований к единству и точности измерений, обеспечиваемых следующей группой видов измерений (приборов и методов): измерения электрических величин; измерения аналитических и структурно-аналитических величин (состава и концентрации веществ). Разработка электрохимической автоматизированной платформы и устройств электрохимического экспресс-анализа. Е.В. Скорб лауреат программы L'Oreal-UNESCO для «Женщин в науке» за 2018 год. Екатерина Владимировна получила грант Президентской программы исследовательских проектов РФ «Светоуправляемое изменение морфологии наноразмерных гетероструктур и физико-химических процессов, протекающих на границе раздела фаз» (2017–2019 гг.) и др. Данные публикационной активности: более 80 публикаций в международных журналах первого квартиля (Q1), 6 коммерциализированных патентов, 6 глав книг. Член редколлегии и постоянный рецензент ведущих журналов в области изучения химии на межфазных поверхностях, h-Index: 25 (Scopus).

Чернышов Михаил Викторович, д.т.н., к.ф.-м.н., доцент, профессор кафедры «Плазмогазодинамика и теплотехника» (А9), начальник Отделения фундаментальных и поисковых исследований БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

Пленарные лекции, прочитанные ведущими учёными, позволили познакомиться с актуальными направлениями развития исследований и разработок в рассматриваемой мультидисциплинарной области и конкретными задачами, решаемыми на этом пути в разных областях науки и на их границах со смежными областями, услышать из первых уст о конкретных достижениях и успехах, а также ознакомиться с основными проблемами, стоящими на повестке дня.

Так, профессор Р.З. Валиев в своей лекции «Наноструктурные металлические материалы для инновационных применений в технике и медицине» коснулся следующих вопросов. Многочисленные исследования последних лет свидетельствуют, что наноструктурирование металлов и сплавов методами интенсивной пластической деформации (ИПД) открывает возможность значительного повышения их механических и функциональных свойств. Использование методов ИПД позволяет создавать металлические материалы с ультрамелкозернистой (УМЗ) структурой, имеющей средний размер зёрен на наноуровне и содержащие нанодисперсные особенности в виде наночастиц вторых фаз, нанодвойников и необычных сегрегаций легирующих элементов на границах зёрен. Результатами такой УМЗ структуры является изменение механизмов деформации и упрочнения в материалах, что позволяет реализовывать в них необычные механические свойства – сверхпрочность, сверхпластичность, очень высокие усталостную прочность и износостойкость. В лекции рассмотрены примеры демонстрации таких

перспективных свойств на ряде промышленных материалов – лёгких сплавов на основе Al, Mg и Ti и нескольких сталях. Особый интерес представляет использование ИПД обработки для создания наноматериалов с так называемыми многофункциональными свойствами, сочетающими высокие механические и функциональные свойства (коррозия, эрозионная и радиационная стойкость, электропроводность и т.д.). Представлены основные подходы к моделированию и достижению стабильности наноструктур в экстремальных условиях. Обсуждены применения наноматериалов в инновационных разработках, направленных на их широкое использование в энергетике, медицине и технике.

Профессор Н.А. Еникеев в лекции «Улучшенное механическое поведение наноструктурных аустенитных сталей» отметил следующие моменты. Современное общество остро нуждается в новых материалах с превосходными характеристиками для передовых приложений. Стали являются одними из важнейших материалов для различных отраслей промышленности, и существует глобальная потребность в дальнейшем улучшении их многофункциональных свойств. Например, аустенитные нержавеющие стали известны своей выдающейся коррозионной стойкостью, хорошей формуетемостью, высокой долговечностью и т.д. Однако предел текучести этих сталей относительно низок, что ограничивает их использование во многих потенциальных областях применения. Наноструктурирование посредством чрезвычайно больших деформаций под высоким давлением для существенного измельчения микроструктуры металлических материалов с целью получения ультрамелкозернистых состояний привлекает большое внимание исследователей, так как позволяет существенно улучшить механические и функциональные свойства уже существующих материалов. Лектор привел анализ выполненных с соавторами работ, посвящённых исследованию микроструктуры и механического поведения наноструктурных аустенитных сталей, таких как коррозионностойкие стали и стали с эффектом пластичности, наведённой двойникованием (TWIP-стали). Наряду с эффектами измельчения зёрновой структуры обсуждается недавно обнаруженное явление перераспределения легирующих элементов, обусловленное интенсивной деформацией. Исследуется влияние структурных особенностей на механические характеристики сталей и их устойчивость к внешним воздействиям, а также эффект упрочнения отжигом и увеличение пластичности в высокопрочном состоянии наноструктурной стали за счёт механизма пластичности, учитывающего взаимодействие зернограницных сегрегаций и дислокаций.

Профессор С.А. Кукушкин в лекции «Наномасштабный монокристаллический карбид кремния – новый материал для микроэлектроники и спинтроники» рассказал об открытии нового метода синтеза эпитаксиальных плёнок нано-карбида кремния на кремнии, разработке технологии его получения и создании производства. Существующие способы получения плёнок SiC на Si приводят к образованию трещин

и дислокаций, а также к искривлению подложки ввиду высоких механических напряжений. Разработанный метод основан на замещении части атомов в кремнии на атомы углерода без разрушения кремниевой основы. Впервые в мировой практике реализован метод последовательной замены атомов одного сорта другими прямо внутри исходного кристалла без разрушения его кристаллической структуры. Метод напоминает «генетический синтез» белковых структур в биологии. Качество структуры слоёв, полученных данным методом, значительно превосходит качество плёнок карбида кремния, выращенных на кремниевых подложках ведущими мировыми компаниями. Метод недорог и технологичен. Открытие данного метода позволяет прямо на кремниевой подложке синтезировать широкий спектр широкозонных материалов, что открывает беспрецедентные условия для создания нового типа приборов. Метод и технология созданы в результате многолетних теоретических и экспериментальных исследований. Теоретически предсказано и экспериментально подтверждено образование новой фазы Si, находящейся в состоянии «полуметалла» на границе раздела SiC(111)/Si(111). Образование Si в состоянии «полуметалла» на границе раздела SiC/Si (111) связано с большими, кратковременно возникающими (время импульса порядка 10^{-5} - 10^{-4} сек.) «импульсами сдавливания» при переходе Si в SiC. Показано, что давления сжатия, возникающие в тонком приграничном слое толщиной порядка нескольких нанометров, могут достигать величин порядка 200-250 GPa. Давления подобной величины приводят к образованию особых, ранее неизвестных, свойств границы раздела SiC(111)/Si(111). На примере образования SiC вскрыт механизм протекания широкого класса гетерогенных химических реакций между газовой фазой и твёрдым телом. Присутствие углеродно-вакансионных структур в SiC приводит к образованию в нём целого ряда новых уникальных оптических, электрических и магнитных свойств.

Инновационный потенциал данной технологии зиждется на новой прорывной технологии выращивания буферного слоя SiC/Si, на основе которого и будут формироваться слои других широкозонных полупроводников на Si. Начато производство небольших партий пластин SiC/Si диаметром 2, 3, 4 и 6 дюймов; разработана технология создания светодиодных чипов для миро-LED и созданы первые, промышленного качества образцы микро-светодиодов на пластинах SiC/Si; изготовлены первые в мире опытные образцы микрочипов для микро-светодиодов (Micro-LED) толщиной порядка 5-20 мкм; разработаны и созданы терагерцовые приёмники и излучали на подложках SiC/Si; разрабатывается технология создания датчиков ультрафиолетового диапазона с длиной волны менее 320 нм [6-9].

Профессор Е.В. Скорб в своей лекции «Интеллектуальные технологии в инфохимии» подчеркнула, что НОЦ «Инфохимия» появился в Университете ИТМО благодаря развитию интердисциплинарных областей науки, что позволило рассмотреть одно из основных направлений деятельности университета –

информационные технологии – на молекулярном уровне и в химических системах. Инфохимия – одна из самых перспективных сфер исследований. В этом направлении работают не только химики, но и биотехнологи, информатики, биологи, физики, математики и др., развитие данного направления немыслимо без междисциплинарного научного подхода. НОЦ включает в себя несколько научных групп под руководством ведущих учёных. Научный консультант НОЦ – лауреат Нобелевской премии по химии Жан Мари Лен. Основные направления научной деятельности НОЦ «Инфохимия»: создание искусственной химической клетки, химический компьютеринг, статистическая обработка больших массивов данных и мультисенсорные системы, новые материалы для регенеративной медицины, наноструктурирование металлов, квантово-химические расчёты сложных систем, персонализированный трекинг, новое интегративное направление наук о жизни – биоэлементология, а также её раздел – медицинская элементология; цифровая трансформация в химико-биологической технологии; альтернативные подходы к хранению информации.

На нескольких примерах лектором показано применение интеллектуальных технологий в инфохимии. Так, один из примеров – это процесс кавитации в сложных смесях. Продемонстрирован математический метод разделения движений для интерпретации акустического воздействия на пузырьки. Хотя невозможно получить детерминированное описание того, как концентрация раствора влияет на динамику пузырьков, всё же возможно разделить изображения с различными концентрациями, применяя алгоритм искусственной нейронной сети. Алгоритм был обучен обнаруживать концентрацию спирта в водном растворе на основе изображений пузырьков. Это указывает на то, что методы искусственного интеллекта (ИИ) могут дополнять детерминированный анализ в неравновесных сложных системах [10]. Ещё один пример, предложенные подходы к разработке методов анализа поверхностей и микрочастиц с использованием математических методов. Так, шероховатые поверхности имеют сложную топографию, которую нельзя охарактеризовать одним параметром. Выбор соответствующих параметров шероховатости зависит от конкретного применения. Большие наборы данных, представляющие топографию поверхности, обладают упорядоченностью, которая может быть выражена в терминах топологические особенности в высокомерных пространствах данных, отражающие такие свойства, как анизотропия и количество направлений прокладки. Элементы зависят от масштаба, так как и длина выборки, и разрешение влияют на них. Показано, как охарактеризовать наноразмерные поверхности с помощью атомно-силовых изображений и их анализа. Рассчитываем параметры шероховатости, автокорреляционную функцию, распределение точек экстремума и барр-коды для поверхностей. Эти интересующие нас параметры обсуждаются и сравниваются в одной из недавних работ [11].

Профессор М.В. Чернышов в своей лекции «Оптимальные ударно-волновые системы и структуры – от создания теории к прикладным приложениям» подчеркнул, что в БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова активно развивается научное направление, посвящённое анализу взаимодействия разнообразных газодинамических разрывов (ударных волн, скачков уплотнения, волн разрежения и сжатия, тангенциальных разрывов и контактных поверхностей), оптимизации и практическим приложениям, возникающих при этом ударно-волновых систем и разветвлённых структур. В лекции рассматриваются различные приложения разработанной теории: уменьшение потерь полного давления в сверхзвуковых воздухозаборниках, оптимизация формы обтекаемых поверхностей и аэродинамических характеристик тел в сверхзвуковом потоке, особые и экстремальные параметры тройных конфигураций скачков уплотнения, приближённо-аналитические модели струйных и канальных течений с маховским отражением, в том числе с энергоподводом на главном (маховском) скачке, и их применение при создании перспективных воздушно-реактивных двигателей. Особое внимание уделено разработке средств защиты от поражающего действия взрывной ударной волны. Предлагаются виды воздействия на взрывную волну и ударно-волновые структуры, возникающие при её распространении и отражении, как геометрическим методом (создание выделенного направления распространения), так с использованием многофазной среды, поглощающей энергию взрыва.

Профессор К.Н. Семёнов в своей лекции «Создание биомедицинских материалов на основе углеродных наноструктур» охарактеризовал потенциал науки Санкт-Петербурга в этой приоритетной области. Данное направление исследований активно развивается в Первом Санкт-Петербургском государственном медицинском университете им. акад. И.П. Павлова Минздрава России. В межфакультетской лаборатории биомедицинского материаловедения проводятся исследования по синтезу, функционализации углеродных наноструктур (фуллерены, графены, нанотрубки, наноалмазы) и созданию конъюгатов (композитных конструкций) с различными биологически активными веществами и векторами для адресной доставки. Совместно с Астонским университетом и Институтом Химии СПбГУ проводятся расчёты динамических и структурных характеристик синтезированных конъюгатов методом молекулярной динамики. В лаборатории также синтезируются и изучаются композиционные материалы на основе диоксида кремния и углеродных наноструктур. Данные композиты представляют интерес для создания гемосорбентов, конъюгатов для адресной доставки лекарственных препаратов, фотосенсибилизаторов и антиоксидантов. Создаются наноформы конструкций с противоопухолевой активностью на основе оксида графена и полиазотистых гетероциклов; изучаются фотопротекторные свойства аддукта фуллерена C_{60} с L-метионином; ведётся синтез материалов биомедицинского назначения на основе живых клеток и др.

[12]. Указанные исследования позволяют описывать процессы адресной доставки потенциальных лекарственных препаратов в клетку, определять оптимальные центры связывания препарата и носителя, устанавливать механизмы взаимодействия материалов с биожидкостями и изучать процессы переноса или распределение заряда в биологических системах [13].

Проводится широкое доклиническое изучение *in vitro* синтезированных наноматериалов, изучение гемосовместимости, биосовместимости, антиоксидантной активности, цито- и генотоксичности, потенциала использования в фотодинамической терапии и в качестве носителей лекарственных средств. Ведется деятельность по внедрению материалов на основе углеродных наноструктур в различные аспекты биомедицины, а именно: инновационных материалов на основе оксида графена, наноалмазов и одностенных углеродных нанотрубок для адресной доставки лекарств, биовизуализации, тераностики, биоанализа совместно с РНЦ Радиологии и хирургических технологий им. акад. А.М. Гранова, НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова, кафедрой химии твёрдого тела Института Химии СПбГУ; ультрафиолетовых и радиопротекторов на основе водорастворимых аддуктов фуллеренов совместно с СПбГУ; биоматериалов для снижения очага поражения при ишемии мозга и сердца на основе производных фуллеренов, а также в качестве противоопухолевых препаратов совместно с лабораторией патофизиологии ПСПбГМУ им. акад. И.П. Павлова, НМИЦ им. В.А. Алмазова.

Заключение

Краткий анализ работы школы позволяет констатировать, что школа-семинар стала информационной площадкой, объединившей исследователей приграничных областей знания в мультидисциплинарной области исследований, охватывающих механику, химию и новые материалы, способствовала созданию творческих научных коллективов единомышленников, нацеленных на проведение совместных исследований. Школа для молодых учёных – хорошая возможность познакомиться с актуальными направлениями развития и конкретными задачами в разных областях науки; задать животрепещущие вопросы о развитии новых материалов, о их роли в развитии технологического потенциала страны и многие другие, понять, в каком направлении двигаться самому, чтобы идти в ногу со временем. И, конечно, познакомиться с коллегами из других областей науки и рассмотреть возможности совместных проектов.

Публикация подготовлена в рамках выполнения Государственного задания Минобрнауки России № 075-01351-23ПР на 2023 год и плановый период 2024 и 2025 годов от 27 декабря 2022 года Санкт-Петербургскому научному центру РАН, тема FWGF-2019-0001.

Литература

1. *Горынин И.В.* Размышления с оптимизмом. – СПб: Изд-во: СПбПУ, 2015, 98 с.
2. *Горынин И.В., Карзов Г.П., Пименова Т.Ф.* и др. «Развитие фундаментальных исследований в области материаловедения, механики, прочности» // Перспективные направления развития науки в Петербурге под ред. Ж.И. Алферова – СПб: Изд-во: ИП Пермяков С.А., 2015. – С. 109—162.
3. *Пименова Т.Ф. и др.* О работе Объединенного научного совета по проблемам материаловедения, механики, прочности // Физико-химические аспекты предельных состояний и структурных превращений в сплошных средах, материалах и технических системах. 2017, Вып.1, с. 218 - 227.
4. *Улыбин В.Б., Пименова Т.Ф., Гайдей Т.П.* Успехи петербургской школы горения и взрыва как области научно-технологического прогресса. Вклад Санкт-Петербургского Научного совета по горению и взрыву: 1999 – 2019 гг. // Физико-химические аспекты предельных состояний и структурных превращений в сплошных средах, материалах и технических системах. 2017, Вып.3, с. 7 - 22.
5. *Valiev Z.R.* Principles of equal channel angular pressing as a processing tool for grain refinement» // Prog. Mater. Sci., 51, 7 (2006), pp. 881-981.
6. *Kukushkin S.A., Osipov A.V.* – Materials. 2021. 14. 5579.
7. *Баграев Н.Т., Кукушкин С.А., Осипов А.В., Романов В.В., Клячкин Л.Е., Маляренко А.М., Хромов В.С.* – ФТП, 2021, 55, 103.
8. *Баграев Н.Т., Кукушкин С.А., Осипов А.В., Клячкин Л.Е., Маляренко А.М., Хромов В.С.* – ФТП, 2021, 55, с. 1027.
9. *Баграев Н.Т., Кукушкин С.А., Осипов А.В., Уголков В.Л.* – ФТП, 2022, 56, с. 715.
10. *Korolyev et. al.* J. Phys. Chem. B 126 (2022), p. 3161.
11. ACS Appl. Mater. Interfaces – DOI:10.1021/acsami.1c20694.
12. *Sharoyko V.V., Shemchuk O.S., Maystrenko D.N., Semenov K.N.* Biocompatibility, antioxidant activity and collagen photoprotection properties of C₆₀ fullerene adduct with L – methionine // Nanomedicine: nanotechnology, Biology and Medicine. 2022. V. 40. P. 102500.
13. *Abdelhalim F.O.E., Semenov K.N.* Functionalisation of graphene as a tool for developing nanomaterials with predefined properties // Journal of Molecular Liquids. 2022. V. 348. P. 118368.