

## VI СЪЕЗД БИОФИЗИКОВ РОССИИ

© 2021 г. Г.Ю. Ризниченко\*, А.А. Анашкина\*\*, Ю.Д. Нечипуренко\*\*, А.Б. Рубин\*

\*Биологический факультет Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, Москва, 119991, Воробьевы горы, 1/12

\*\*Институт молекулярной биологии РАН им. В.А. Энгельгардта, 119991, Москва, ул. Вавилова, 32  
E-mail: anastasya.anashkina@gmail.com

Поступила в редакцию 06.11.2020 г.

После доработки 06.11.2020 г.

Принята к публикации 13.11.2020 г.

Дан обзор проблем современной биофизики, которые обсуждались на VI съезде биофизиков России, Сочи, сентябрь 2019 г. (<http://conf-2019.biophys.ru>). На пленарных, секционных и стендовых сессиях были представлены результаты фундаментальных и прикладных исследований в области биофизики одиночных биомакромолекул и молекулярных комплексов, биофизики мембран, биофизики клетки, бионанотехнологии. Большое внимание было уделено вопросам применения информационных технологий, математического и компьютерного моделирования и методов биоинформатики как необходимого инструмента исследований на всех уровнях организации живых систем, начиная от биомакромолекул и заканчивая биогеоценозами, а также новым экспериментальным методам биофизических исследований. Наряду с фундаментальными проблемами изучения физических механизмов регуляции биологических процессов на молекулярном, субклеточном и клеточном уровне широко обсуждались вопросы применения результатов биофизических исследований в медицине и экологии. Следующий Съезд биофизиков России решено провести в 2023 г.

*Ключевые слова:* VI Съезд биофизиков России, молекулярная биофизика, медицинская биофизика, биофизика сложных систем, экологическая биофизика, образовательный центр «Сириус».

DOI: 10.31857/S000630292101021X

Шестой съезд биофизиков России [1], прошедший в Сочи в 2019 г., продемонстрировал выход отечественной науки на новый уровень. В целом можно сказать, что тридцать лет с начала преобразований и смены государственного строя в нашей стране биофизика, как и другие науки, переживала нелегкие времена и приобретала новые качества. Широкий фронт исследований, который поддерживался в советской науке, сменился на какое-то время развитием узких и порой прикладных направлений, фундаментальная наука за счет многолетнего недофинансирования потеряла кадровый состав и системную организацию, были закрыты целые направления и отчасти разрушены научные школы. Однако в последние годы возобладали другие процессы — при новой системе грантового финансирования возникла новая научная реальность, в которой себя нашли и молодые исследователи, и те, кто сохранил верность науке. Большая часть исследователей, уехавших за рубеж, не стала порывать с отечественной наукой, множество совместных публикаций, которые появились отчасти благодаря грантам и мегагрантам, свидетельствуют о том, что наука в нашей стране стала более интернаци-

ональной, она в большей степени, чем когда-либо, вписана в мировой контекст.

В этом процессе есть как положительные, так и отрицательные стороны — так, роль экспертных советов теперь во многом исполняют редакции международных журналов и русский научный язык в значительной степени вытеснен из науки. Регулярное проведение съездов Российских биофизиков в данных нелегких условиях оказалось очень важным делом, позволяющим консолидировать сообщество биофизиков и не потерять связи между биофизиками как внутри страны, так и с теми, кто оказался по разным причинам за ее пределами. В шестом съезде участвовали биофизики из десяти стран, кроме России: Азербайджана, Белоруссии, Узбекистана, Эстонии, Казахстана, Армении, Украины, Великобритании, Германии и США.

Так как всего было принято более тысячи докладов (примерно половина — заочные участники), здесь не представляется возможным кратко охарактеризовать и десятую часть всего, что происходило на Съезде. Уже тот факт, что Съезд проходил в образовательном центре «Сириус», созданном в 2014 году образовательным фондом

«Талант и успех» по инициативе и при поддержке Президента РФ, многое значит — по сути, это идеальная площадка для проведения занятий со школьниками и студентами, которые здесь проходят обучение. Сотрудники физического и биологического факультетов МГУ регулярно проводят занятия в «Сириусе», знакомят учащихся с экспериментальными биофизическими методами, готовят научную смену. В рамках Молодежной школы о современной биофизике рассказывали участники Съезда профессор Бостонского университета М. Франк-Каменецкий (США), профессора МГУ имени Ломоносова С.И. Погосян и Г.Ю. Ризниченко. Особенно много вопросов слушатели задавали биофизику и писателю Ю.Д. Нечипуренко, автору популярных книг о том, как устроена живая клетка и мозг («Живой дом» и «Ключи от головы» соответственно). Практические занятия по молекулярному моделированию и экологической биофизике провели А.А. Анашкина (Институт молекулярной биологии РАН), А.Н. Дьяконова, И.В. Конюхов, С.С. Хрущев, Э.И. Никельшпарг (кафедра биофизики биологического ф-та МГУ).

В последние годы биофизика, как междисциплинарная отрасль биологии, стала особенно востребованной в области фундаментальных исследований динамического поведения биологических систем самого разного уровня организации, от молекулярного до уровня популяций и биогеоценозов. Кроме того, разработанные относительно недавно экспериментальные методы криоэлектронной микроскопии, атомной силовой микроскопии и др. позволяют изучать структуры биомакромолекул и их комплексов на масштабах десятков нанометров. Методы оптогенетики с использованием флуоресцирующих белков в сочетании с методами фемтосекундной спектроскопии позволяют проследить динамику процессов, происходящих на уровне взаимодействий отдельных макромолекул — белков и их комплексов. Именно на этих пространственно-временных масштабах вся совокупность процессов взаимодействия между атомами, которые описываются физическими законами атом-атомных взаимодействий, начинает проявлять свойства, определяющие специфику биологических систем: направленный транспорт электронов и ионов, ферментативные акты. При этом биофизические методы позволяют изучать динамику процессов в структурах белков, липидов, ДНК и других макромолекул и их комплексов. Таким образом, современная биофизика получила возможность ответить на важнейший вопрос: каким образом физические взаимодействия, имеющие место в биологических, созданных в процессе эволюции структурах, в своей совокупности обеспечивают биологически целесообразные действия.

Председатель Оргкомитета Съезда Андрей Борисович Рубин открыл съезд установочным докладом о проблемах современной биофизики. Существует несколько определений биофизики. Следуя учебнику А.Б. Рубина биофизика — это наука о механизмах фундаментальных физических взаимодействий, лежащих в основе биологических процессов. Общие законы, обнаруженные при изучении природы, и методы, развитые для анализа природных систем в физике, прилагаются для анализа и описания живых систем в биологии. Развитие физики и экспериментальной биологии, в первую очередь биофизики, происходило в тесном взаимодействии на всех этапах развития науки. Можно назвать имена Декарта, Гарвея, Ломоносова и многих других, которые благодаря своему энциклопедическому образованию и широте взглядов вносили свой вклад в междисциплинарные области науки. В биофизике благодаря этому развивались области биомеханики, биоэлектрических явлений, оптических свойств биологических объектов, процессов ионного транспорта. В основном теоретические представления современной экспериментальной биологии основаны на фундаментальных представлениях физической химии, сложившихся в конце XIX — начале XX веков. В наше время формируется качественно новый этап взаимодействия физики и биологии в биофизике. Все великие открытия в генетике и молекулярной биологии XX века были сделаны без необходимости систематического привлечения основных понятий теоретической физики. Теперь мы рассматриваем живую клетку, состоящую из организованного набора белковых «машин», взаимодействующих друг с другом. Мы знаем равновесные молекулярные структуры белков, но все еще очень далеки от полного понимания физических и физико-химических механизмов их внутримолекулярных взаимодействий, динамики их работы в гетерогенной среде живой клетки. Эти представления должны быть выработаны при помощи творческого содружества физиков, химиков, биологов и математиков. Представления о физико-химических механизмах реакций молекул в гомогенных растворах, которыми обычно пользуются исследователи, не адекватны тому, что происходит в гетерогенной системе.

Экспериментальная биофизика имеет дело с наноразмерными структурными элементами (макромолекулы, мембраны, белки), непосредственную информацию о свойствах которых мы в настоящее время можем получать благодаря новым экспериментальным методам, прежде всего радиоспектроскопии широкого диапазона. Это значит, что биологический объект становится источником информации, которая может способствовать развитию отдельных областей физики. Примером может служить действие света на фо-

точувствительные белки, когда поглощение кванта света приводит к направленным конформационным перестройкам белковой молекулы, тем самым переводя ее в активное состояние. В общих чертах этот принцип осуществляется в фотобиологии, фотосинтезе, зрительной рецепции. Проблема физики здесь состоит в том, чтобы раскрыть, каким образом «плотная» структура белка достигает определенного структурно-конформационного состояния во взаимодействии стохастических и детерминистических степеней свободы. В биофизике мы говорим условно о «целесообразном» поведении наноразмерных макромолекул, о процессах дальнего порядка взаимодействия между ними в живой клетке. Роль физики здесь состоит в выработке новых понятий, физических моделей, которые в законченном виде в настоящее время не существуют. Тем самым физика, химия и биология взаимно обогащают друг друга. Роль математики в этом процессе взаимодействия трудно переоценить. На всех этапах развития математической биологии в биофизике привлекались все новые и новые математические методы по мере углубления наших знаний об организации и взаимодействии элементов живого. Начиная с обыкновенных дифференциальных уравнений, в биофизике затем стали использовать качественную теорию дифференциальных уравнений, уравнения математической физики. В настоящее время математическое описание хаотических процессов, возникновения фрактальных структур находят свое приложение в анализе динамики биологических процессов. Все это становится доступно непосредственному экспериментальному наблюдению на молекулярном уровне организации живой материи. Это может говорить о возможных, скрытых пока от нас особенностях элементарных взаимодействий структурных элементов в живой системе, которые были выявлены и «целесообразно» использованы в биологии за миллионы лет эволюции на низших структурных уровнях организации живого.

Биология становится источником новых знаний, помогающих решению не только собственно биологических проблем, но и обогащающих те разделы физики, с которыми она взаимодействует. Таким образом, создается теоретическая основа современной биофизики. Наука развивается, это живая система, и задачи биофизики могут меняться и уточняться со временем — по сути, каждый съезд позволяет несколько по-новому взглянуть на нашу науку.

Программа Съезда включала пленарные доклады и секционные заседания с устными докладами, обсуждениями и стендовыми сессиями. Программа была сформирована в соответствии с логикой изложения биофизики как единой науки, включающей крупные разделы: биофизика сложных систем, молекулярная биофизика, био-

физика клетки. Исследования в области биофизики сложных систем и молекулярной биофизики обеспечивают фундаментальные теоретические основы биофизики, работы в области биофизики клетки относятся к изучению физико-химических механизмов конкретных процессов в живых системах.

Ниже мы более подробно остановимся на пленарных докладах, где были представлены современные теоретические представления о процессах в живых системах, сформировавшиеся на основе результатов изучения конкретных биологических объектов биофизическими методами. Как правило, в качестве пленарных докладчиков выступали руководители научных коллективов, представители которых выступали на соответствующих секциях с изложением результатов изучения конкретных биологических объектов.

## БИОФИЗИКА СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Этот раздел биофизики включает общетеоретические подходы к изучению биологических процессов с использованием методологии естественных наук, в первую очередь физики — науки о фундаментальных механизмах природных процессов. Во многом это пересекается с направлением наук о живом, которое называется «системная биология» (Systems Biology).

Прогресс современной биофизики и возрастание ее роли связано с развитием современных информационных технологий. Аппаратом биофизики сложных систем служит математическое моделирование, позволяющее формализовать и структурировать знания о живом объекте. До недавнего времени основным математическим аппаратом моделирования в биофизике был классический аппарат дифференциальных уравнений математической физики, в котором переменными служат концентрации взаимодействующих биохимических компонентов. Современные мощности компьютеров позволяют развивать агентные методы компьютерного моделирования, в которых имитируется поведение агентов-компонентов системы: отдельных атомов в биомacroмолекуле в методе молекулярной динамики, отдельных молекул — в методе броуновской динамики. Такие модели аккумулируют большие массивы знаний, содержащихся в международных базах данных, например таких, как Protein Data Bank. Включение в модели больших массивов данных (Big Data) позволяет использовать компьютерные модели для воспроизведения процессов в живых системах самого разного уровня, в том числе имитировать процессы в организме человека при решении вопросов персонифицированной медицины.

На секциях «Биофизика сложных систем» и «Биоинформатика и системная биология» обсуждались проблемы, общие для разнообразных макроскопических систем, состоящих из множества элементов, кооперативное поведение которых приводит к возникновению новых структур, формированию сложных функций и поведения в изменяющейся среде. В основе исследований лежит системный подход, т.е. стиль научного мышления, ориентированный на интеграцию научных знаний и совмещающий изучение проблемы на молекулярном, клеточном, организменном и популяционном уровнях. Подходы и методы биофизики сложных систем и биоинформатики являются важной частью многих областей биологии. В экспериментальной молекулярной биологии такие методы биоинформатики, как анализ изображений и обработка сигналов, позволяют получать полезные результаты из большого количества исходных данных. В области генетики и геномики биоинформатика помогает в упорядочивании и аннотировании геномов и наблюдаемых мутаций. Она играет роль в анализе данных из биологической литературы и развитии биологических и генетических онтологий по организации и запросу биологических данных. Инструменты биоинформатики помогают в сравнении генетических и геномных данных и в целом в понимании эволюционных аспектов молекулярной биологии. В общем виде она помогает анализировать и каталогизировать биологические пути и сети, которые являются важной частью системной биологии.

Пленарный доклад Н.А. Колчанова (ФИЦ «Институт цитологии и генетики СО РАН», Новосибирск) назывался: «Генетика, биоинформатика, системная компьютерная биология» и был посвящен кругу проблем, для решения которых необходимо использование трех перечисленных подходов: (а) — интеграция, анализ и интерпретация геномных, транскриптомных, протеомных, метаболомных данных; (б) — идентификация сайтов связывания транскрипционных факторов в регуляторных районах генов, оценка влияния мутаций в этих регуляторных районах на экспрессию генов; (в) — реконструкция генных сетей, выявление молекулярно-генетических механизмов формирования патологий, поиск генов, вносящих максимальный вклад в формирование целевых фенотипических (клинических) признаков, контролируемых генными сетями и на этой основе — предсказание наиболее перспективных мишеней для терапии заболеваний; (г) — реконструкция генетических механизмов регуляции морфогенеза растений; (д) — анализ особенностей молекулярной эволюции генных сетей и молекулярно-генетических систем; (е) — компьютерный дизайн экспериментов по созданию биотехнологически значимых продуктов.

Методы системной биологии и биоинформатики успешно применяются в направленном поиске лекарственных препаратов. Спектр биологической активности химического соединения — это множество видов биологической активности, которые отражают результат взаимодействия химических соединений с различными биологическими объектами. Поскольку исчерпывающая экспериментальная оценка всех видов биологической активности химических соединений нереальна, для прогнозирования множества видов биологической активности используются методы биоинформатики. Это позволяет определить наиболее перспективные направления для тестирования фармакологического действия конкретных веществ и отсеять потенциально опасные молекулы на ранних стадиях исследований. В докладе В.В. Поройкова (Институт биомедицинской химии имени В.Н. Ореховича, Москва) «От молекулы к лекарству: медицинская биоинформатика *in silico*» обсуждалось современное состояние этой науки и приведены адреса электронных ресурсов, разработанных коллективом, представляемым автором. Сегодня медицинская биоинформатика перестает быть всего лишь «поставщиком» математических методов и компьютерных программ для анализа данных. Это — мультидисциплинарная область науки, интегрирующая разнородные химические, биологические и медицинские данные с целью извлечения из них полезной информации и генерации новых знаний. Сравнительное рассмотрение в биологических образцах в норме и при различных заболеваниях геномных, транскриптомных, протеомных, метаболомных и других экспериментальных данных дает возможность идентифицировать биомаркеры, которые могут быть использованы для повышения качества диагностики, а также фармакологические мишени, воздействие на которые может привести к нормализации патологических процессов.

Фундаментальной проблемой биофизики сложных систем является выяснение закономерностей, лежащих в основе структурообразования в живых системах. В докладе В.А. Твердислова (физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова) «Хиральные иерархии как физическая основа молекулярно-биологических структур» показано, что эволюционно сформировавшаяся и ставшая базовой система четко стратифицированных уровней макромолекулярных и надмолекулярных биологических структур основана на принципе хирального дуализма. В биологических системах автором обнаружен общий системный принцип спонтанного формирования дискретных иерархических структур в исходно гомохиральных системах. Воспроизведение характерных паттернов в самоорганизующихся иерархических структурах разного уровня с изменяющимися фи-

зическими механизмами структурообразования основывается на единых симметричных принципах. Для всех биологических систем, от биомолекул до организмов, характерной особенностью является формирование череды вложенных или параллельно развивающихся структур с подобным или изменяющимся типом симметрии, возрастающим масштабом и, что принципиально важно, изменяющимся знаком хиральности при переходе на следующий уровень усложнения организации биологических систем.

Обсуждению проблем искусственного интеллекта и его применению были посвящены доклады Г.Р. Иваницкого (Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН) «Робот и человек. где находится предел их сходства?» и В.А. Намиота (НИИ ядерной физики имени Д.В. Скобельцина МГУ имени М.В. Ломоносова) «Существует ли принципиальное различие между искусственным и естественным интеллектом?». В обоих докладах рассматривалось различие между чисто алгоритмическим мышлением робота, цель работы которого сформулировал человек-творец, и естественным интеллектом человека, законы функционирования которого до сих пор до конца не ясны. Близкие проблемы рассматривал в своем пленарном докладе «Природные и технические когнитивные системы: в чем их различие?» В.Г. Яхно (Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород; Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского).

Перспективы развития современной науки о живом связаны с комплексным использованием всех имеющихся экспериментальных и теоретических методов изучения сложных многокомпонентных биологических систем организма и решения на основании полученных знаний проблем лечения связанных с этими системами болезней. В докладе Д.Э. Постнова (Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского) «Нейроваскулярные связи: функции, проблемы, моделирование» рассматривались процессы в нейроваскулярной единице мозга, которая включает нейрон, астроцит, клетки сосудистой стенки и формирует локальные физиологические ответы на изменение нейронной активности. Механизмы пространственных связей в пределах нейроваскулярной единицы (модуляция ионных концентраций и перенос веществ в межклеточном пространстве, кальциевые волны в сетях астроцитов, распространяющиеся вазомоторные реакции) лежат в основе формирования пространственно-временных паттернов активности паренхимы мозга. Эти физиологические механизмы становятся доминирующими во время экстремальных состояний коры головного мозга, таких как распространяющаяся кортикальная депрессия, мигрень с аурой, а также распространение волн деполяризации при инсульте

или в результате травмы. Коллективом автора доклада созданы как детальные модели локальных связей в пределах одиночной нейроваскулярной единицы, так и феноменологические модели отдельных механизмов формирования пространственно-временных структур. На наших глазах возникает понимание того, как клеточная «машина» паренхимы мозга (нейроны, астроциты, клетки гладкой мускулатуры и эндотелия сосудов) функционирует в комплексе как единое целое, включая согласование изменения активности клеток с модуляцией объема межклеточного пространства и интенсивностью транспорта веществ в нем. На очереди — учет различных типов связей в рамках единой математической модели.

Пример использования математических и компьютерных моделей разного типа для изучения процессов на молекулярном и клеточном уровне дал доклад Г.Ю. Ризниченко (МГУ имени М.В. Ломоносова) «Моделирование процессов в фотосинтетической мембране высших растений и микроводорослей. Молекулярные, броуновские и кинетические модели». В докладе были представлены результаты последних работ по математическому и компьютерному моделированию, выполненных на кафедре биофизики биологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова. Молекулярные и броуновские агентные модели позволяют изучать биофизические механизмы взаимодействия отдельных молекул-переносчиков электрона в ходе фотосинтетического электронного транспорта, лежащего в основе процессов запасаения энергии света и биосинтеза. Кинетические модели, представляющие собой системы дифференциальных уравнений, позволяют определять участки фотосинтетической цепи ФС II, претерпевающие изменение в ходе роста культуры в различных условиях, и используются для задач экологического и биотехнологического мониторинга. Совокупность методов дает общую картину процессов фотосинтеза на разных пространственных и временных масштабах.

Характерный для биофизики сложных систем комплексный подход к решению важных практических задач продемонстрировал доклад А.А. Цыганкова (ФИЦ «Пушкинский научный центр биологических исследований РАН») «Разработка подходов к получению энергии биологическим путем». В нем обсуждались современные достижения и направления исследований для создания биотехнологических систем получения водорода за счет энергии света. Наряду с получением водорода биологические системы способны и к его преобразованию в электричество. Для этого разрабатываются способы модификации гидрогеназ (ферментов, заменяющих платину в топливных элементах) и их иммобилизации на электродах. В докладе представлены последние результаты ис-

следований топливных элементов с использованием гидрогеназных водородных электродов.

Применение методов системной биологии и биофизики сложных систем позволяет изучать математические модели глобальных процессов. В докладе А.Г. Дегерменджи (Институт биофизики ФИЦ СО РАН, Красноярск) «Новые эффекты малоразмерных моделей системы биосфера—климат» была рассмотрена модель системы «биосфера—климат», которая включает интегрированное описание динамики содержания форм углерода в трех поясных кластерах Земли — в наземной экосистеме (растения и почва), океане и атмосфере при разных сценариях сжигания топлив и с учетом парникового механизма изменения климата. Расширенная модель учитывает выделение  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  из почвенной органики зоны вечной мерзлоты. Установлена важная роль влияния метана из почв на баланс  $\text{CO}_2$  и создан новый класс математического описания динамики почвенной органики в координатах «уровень гумификации — глубина слоя». Получены оценки вклада зоны вечной мерзлоты и метановой ветви круговорота углерода в глобальную динамику для различных значений параметров модели, находящихся внутри интервалов оценок. Построена математическая модель тундровых экосистем Арктики и Сибири. Ее цель — предсказать будущее поведение тундровых экосистем, обусловленное глобальным изменением климата. Модель описывает основные процессы в системе (фотосинтез тундровой фитомассы, аэробное и анаэробное дыхание, влияние освещенности, температуры и водного баланса) и включает физико-химическую подмодель, описывающую динамику замерзания-таяния вечной мерзлоты, а также блок, описывающий выделение метана и углекислого газа из тундровых и лесотундровых почв вечной мерзлоты. Для верификации модели проводятся наблюдения в специально созданной герметичной вегетационной камере (миниекосистема), в которой возможно поддерживать температуру, влажность и освещенность, приближенные к климатическим условиям северных широт. Взаимодействие глобальной малоразмерной и региональных математических моделей создает фундамент как для понимания основных механизмов изменения климата, так и для последствий его изменения.

## МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОФИЗИКА

К разделу «Молекулярная биофизика» относятся секции по структуре и динамике белков и ДНК, а также секция «Биофизика одиночных молекул. Нанобиотехнологии». На секциях «Структура и динамика белков и их комплексов» и «Структура и динамика нуклеиновых кислот и их комплексов» были представлены работы по изучению структур

молекул белков и ДНК, их функциональных конформационных состояний, взаимодействию белков и ДНК с низкомолекулярными лигандами, с другими белками и нуклеиновыми кислотами, исследованию конформационных перестроек в структуре этих биомакромолекул, возникающих вследствие влияния различных факторов. Наряду с работами по экспериментальному исследованию свойств белков и нуклеиновых кислот растительного, животного и бактериального происхождения и их мутантных форм, на этих секциях были также представлены работы по молекулярному моделированию конформационной подвижности биомакромолекул. В последние годы методы компьютерного моделирования стали неотъемлемой частью арсенала методов изучения динамических свойств биологических систем.

В пленарном докладе «Стабильность двойной спирали ДНК» М.Д. Франк-Каменецкого, который специально прилетел на Съезд из США, рассказывалось о плавлении ДНК и роли стэкинг-взаимодействий и спаривания оснований в стабильности двойной спирали ДНК. Результаты, полученные автором в этой области, стали уже классическими.

Доклад И.Ю. Петрушанко (Институт молекулярной биологии РАН) «Молекулярные механизмы редокс-регуляции транспортной и рецепторной функции  $\text{Na,K-ATФазы}$ » был посвящен изучению молекулярных механизмов редокс-регуляции белков на примере  $\text{Na,K-ATФазы}$ . Было показано, что такой механизм, как глутатионилирование, защищающий от окисления цистеины белков, одновременно влияет на активность белков и их рецепторную функцию, вплоть до инактивации. При этом в условиях сильного окислительного стресса инактивация  $\text{Na,K-ATФазы}$  способствует выживаемости клеток за счет сохранения пула АТФ.

А.К. Узденский (Ростовский государственный университет) в докладе «Многофункциональные белки» рассказывал о свойствах белков, опровергающих догму недавнего прошлого «Один ген — один белок». В последние годы было показано, что многие сигнальные белки имеют два и более реакционных центра. Например, протеинкиназы и протеинфосфатазы являются мастер-регуляторами разнообразных клеточных процессов, фосфорилируя различные белки, они активируют или ингибируют их, включают, выключают или переключают их функции.

Доклад А.П. Савицкого (Институт биохимии им. А.Н. Баха РАН) «Бифотохромные цветные флуоресцентные белки: феномен и перспективы использования» дает представление о быстро развивающейся области применения цветных флуоресцентных белков, свойства которых обеспечили современные возможности оптогенетики.

Коллективом автора доклада открыт новый белок SAASot1 из коралла *Stylocoeniella armata*, совмещающий свойства фотоконверсии (фотохимический процесс, связанный с изменением структуры хромофора) и фотопереключения (фотофизический процесс, связанный со значительным изменением квантового выхода хромофора). Эти свойства позволяют использовать данный белок для дизайна новых сенсорных молекул, молекулярного имиджинга и, в частности, кинетической субдифракционной микроскопии, позволяющей отслеживать движение и релокализацию отдельных молекул.

В докладе В.Ю. Макеева с соавторами были представлены совместные работы нескольких коллективов (Институт общей генетики им. Вавилова РАН, Институт молекулярной биологии им. Энгельгардта РАН, Московский физико-технический институт). Рассматривалась биофизика ДНК-белкового взаимодействия в свете проблемы регуляции работы генов на уровне транскрипции. Регуляторные варианты влияют на развитие организма и развитие многих распространенных заболеваний, включая рак и аутоиммунные расстройства. Наличие большого числа данных о взаимодействиях «ДНК–белок» впервые позволяет приблизиться к исчерпывающему перечню мотивов связывания, распознаваемых факторами транскрипции. Разработанный авторами ресурс НОСОМОСО включает в себя ряд сервисов, предназначенных для практического анализа в области генетики и системной биологии. Подходы машинного обучения могут быть использованы для решения проблемы нормализации данных в каждом конкретном типе клеток.

Доклад Г.В. Гурского с группой соавторов из нескольких организаций (Институт молекулярной биологии им. В.А. Энгельгардта РАН, Институт вирусологии им. Д.И. Иванова РАН, Министерство здравоохранения РФ, Кардиологический научно-производственный комплекс, Москва) «ДНК – белковые комплексы как мишени для создания новых противовирусных лекарственных агентов» был посвящен изучению противовирусного действия димерных производных антибиотика нетропсина и комплексов, которые являются для него мишенью. Результаты исследования показали, что возможно создание двух типов ингибиторов процесса инициации репликации, один из которых включает низкомолекулярные лиганды – бис-нетропсины и их аналоги. Вторая группа ингибиторов инициации репликации вирусной ДНК включает соединения, которые связываются со структурой Холлидея в «открытой» форме и подавляют миграцию точки кроссовера и АТФ-зависимый процессинг структуры Холлидея.

Доклад Ю.Д. Нечипуренко «Механохимическое расщепление ДНК и свойства регуляторных участков генома» подытожил труды международного коллектива ученых из Института молекулярной биологии РАН, Института общей генетики РАН (Москва), Института теоретической и экспериментальной биофизики (Пушино), биологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова и Института молекулярной генетики имени Макса Планка (Берлин). Доклад был посвящен памяти С. Гроховского, который открыл явление избирательного расщепления ДНК ультразвуком. Было показано на большой базе данных по секвенированию нового поколения, что механохимическое расщепление двойной спирали ДНК происходит преимущественно между цитозином и гуанином, и метилирование цитозина резко увеличивает вероятность такого расщепления. Так как метилирование цитозина является важнейшим маркером эпигенетических процессов, в докладе впервые были связаны эпигенетика и механохимия ДНК и показаны возможности выявления онкологических заболеваний на ранней стадии, когда происходят изменения паттернов метилирования в регуляторных участках генов – так называемых ГС-островах. Заметим, что уже после Съезда вышло несколько статей, где эти идеи получили неожиданное продолжение в виде гипотезы возникновения «нестабильных» ГС-пар ДНК.

Моделирование процессов на уровне белков и их комплексов было представлено несколькими пленарными докладами. В докладе К.В. Шайтана (биологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова) «Фундаментальные закономерности формирования пространственных структур конформационно подвижных молекул» рассматривались физические основы и математические идеи описания процесса формирования уникальных 3D-структур биополимеров. С использованием подходов многомерной геометрии получен фундаментальный результат, демонстрирующий выполнение двух экстремальных принципов при сворачивании полимерной цепи в вязкой среде: 1) принцип максимума скорости убыли потенциальной энергии системы и 2) принцип минимума скорости диссипации энергии при заданной скорости убыли потенциальной энергии.

В докладе В.Д. Лахно (Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН) «Теоретические основы бионанoeлектроники» рассмотрены результаты детального моделирования структуры и проводящих свойств ДНК. Наличие зонной структуры, поляронных состояний, электронных блоховских осцилляций, электронные и дырочные фазовые переходы, движение полярона в полинуклеотидной цепочке в электрическом поле позволяют рассматривать ДНК как потенциальное бионанoeлектронное устройство.

В докладе Р.Г. Ефремова (Институт биоорганической химии им. академиков М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова РАН) с интригующим названием «Путешествие в аномальные зоны клетки с помощью вычислительной биофизики» обсуждались выявленные в процессе экспериментального изучения и компьютерного моделирования детали процессов в поровых доменах клеточных мембран. Гетерогенное распределение плотности и неброуновская диффузия воды и липидов в таких доменах приводит к тому, что стохастические процессы атомарного масштаба способны вызвать макроскопические процессы – открывание и закрывание канала.

Показательно, что наряду с фундаментальными результатами все представленные в докладах компьютерные модели дают возможность также предвидеть пути практического применения моделируемых процессов в создании новых наноматериалов и устройств с необычными свойствами.

Секция «Биофизика одиночных молекул. Нанобиотехнологии» продемонстрировала работы, представляющие биофизические исследования, направленные на использование фундаментальных знаний молекулярной биофизики для практического применения в биотехнологии и медицине. На секции обсуждались вопросы адресной доставки лекарств и генетического материала в клетки, изучения характера воздействия излучений с биологическими структурами на атомном уровне, нанотехнологии для изучения каталитических центров металлоферментов, механизмов внутри- и межмолекулярного переноса электрона, структурной организации и функционирования наноструктур. Также обсуждались (как в фундаментальном, так и в прикладном аспекте) перспективы создания гибридных наноразмерных биоэнергетических и биосенсорных устройств. Фотосинтетический реакционный центр является природным наноструктурным образованием. Именно специфика протекания фотофизических и фотохимических процессов в наноразмерных структурах объясняет уникальные энергопреобразующие свойства фотосинтетических реакционных центров. Гибридные устройства типа «реакционный центр – нанотрубка» или «молекулярный провод – электрод – внешняя электрическая цепь» могут стать прообразом биоэлектрических генераторов энергии.

В пленарном докладе А.А. Красновского (Институт биохимии им. А.Н. Баха) рассматривалась фотоника и биофотоника синглетного молекулярного кислорода, определяющего фотодинамическое действие красителей. В настоящее время представления биофотоники  $O_2$  служат основой для понимания широкого круга фундаментальных проблем фотобиологии и фотомеди-

цины, а также для прикладных задач фото- и лазерной терапии.

Современные методы фемтосекундной лазерной спектроскопии позволяют наблюдать сверхбыстрые процессы взаимодействия света с первичными энергопреобразующими структурами в фотосинтетической и зрительной системах. В докладе В.А. Надточено с соавторами (ФИЦ химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, Институт физико-химической биологии им. А.Н. Белозерского МГУ имени М.В. Ломоносова, Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва) «Фемтосекундная спектроскопия сверхбыстрых первичных реакций в биологических системах: фотосистема 1 и ретинальсодержащие белки» сообщалось о современных достижениях фемтосекундной лазерной спектроскопии в исследовании двух сверхбыстрых биологических процессах – в процессе первичного разделения зарядов в фотосистеме 1 природного фотосинтеза и в процессе первичных стадий изомеризации ретиналя в родопсине. Был дан сравнительный анализ данных о первичных стадиях изомеризации ретиналя в зрительном родопсине, бактериородопсине и  $Na^+$ -родопсине. Обсуждались особенности экспериментов фемтосекундной лазерной спектроскопии и проблема интерпретации экспериментальных данных.

## МЕДИЦИНСКАЯ БИОФИЗИКА

Пример биофизического подхода к изучению свойств одиночных молекул и их роли в организме животных и человека дал пленарный доклад А.Ф. Ванина (ФИЦ химической физики им. Н.Н. Семёнова РАН, Институт регенеративной медицины Первого Московского государственного медицинского университета имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения РФ, Москва) под названием «НО сегодня в биофизике и биомедицине». Фундаментальные биофизические исследования позволили не только установить роль молекулы монооксида азота в регулировании разнообразных биохимических и физиологических процессов, но и на основе комплексов молекул оксида азота с тиолсодержащими лигандами создать лекарственные препараты, способные оказывать дозозависимое гипотензивное действие на человека, длящееся несколько часов при однократном введении препарата. Такого же рода препараты способны резко ускорять заживление кожных ран, подавлять агрегацию тромбоцитов (тромбообразование), повышать эластичность эритроцитов и тем самым улучшать микроциркуляцию. Наконец, они могут полностью подавлять развитие незлокачественных эндометриоидных опухолей у животных с экспериментальным эндометриозом и даже подавлять



развитие перевивных злокачественных опухолей, производных рака простаты человека.

В пленарном докладе Е.В. Загайновой (Приволжский исследовательский медицинский университет, Нижний Новгород) «Оптическая когерентная томография для диагностики структуры, микроциркуляции и эластических свойств тканей человека» было рассказано о разработанном и внедренном в медицинскую практику приборе оптической когерентной томографии, позволяющем увидеть края глиальной опухоли, когда неравномерный характер роста опухоли создает трудности в поиске истинных краев с нормальной тканью мозга. Авторами были рассчитаны коэффициенты затухания и разностного затухания, построены карты с цветовой кодировкой, которые демонстрируют, как оптические коэффициенты увеличивают контраст тканей, которые необходимо отличить. Точность границы может быть определена с точностью 40–50 мкм в реальном времени, что может быть использовано для интраоперационной диагностики чистого края резекции при раке молочной железы. Этот метод позволяет также наблюдать за сосудами в опухоли и нормальной ткани и контролировать ход лечения.

Метод синхронного многоканального исследования в реальном времени организма человека был представлен в пленарном докладе Б.Г. Вайнера (Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН) «Синхронные многоканальные исследования организма человека, подверженного внешним интервентным воздействиям». Получаемые данные количественно отражают циркуляцию в периферических сосудах, динамику и нюансы легочного дыхания, кардиоритм и его вариабельность, особенности прохождения пульсовой волны по лучевой артерии, температуру ядра организма и др. Создан оригинальный автоматизированный аппаратно-программный измерительный комплекс с необходимым вспомогательным оборудованием. Такой комплекс является основой для изучения качественной и количественной взаимосвязи синхронно полученных биосигналов и, следовательно, открывает огромные возможности для последующего биомедицинского и биофизического анализа.

## БИОФИЗИКА КЛЕТКИ

К разделу «Биофизика клетки» относятся секции «Биофизика клетки», «Мембранные процессы», «Биологическая подвижность», «Молекулярные моторы», «Механизмы трансформации энергии. Биоэнергетика», «Нейродинамика и нейробиология», «Фотобиология. Биоптоника».

Теоретическое осмысление, математическое и компьютерное моделирование конкретных процессов в живой клетке в сопоставлении с экспериментальными данными служат основой формирования теоретических основ биофизики, что и было отражено в секционных докладах и дискуссиях. Это относится к докладам на секциях по изучению структуры биологических мембран, транспорта веществ через них и механизмов трансформации энергии (Ю.Н. Антоненко, Н.А. Браже, Ю.А. Ермаков, Е.Г. Холина, Л.А. Ягужинский); на секции по фотобиологии и первичным процессам фотосинтеза (Н.Е. Беляева, В.Л. Евстигнеев, И.Б. Коваленко, Т.Ю. Плюснина, С.С. Хрущев, И.А. Ярошевич); на секции, посвященной генерации и распространения нервного импульса и активности мозга (А.Р. Браже, М.А. Павловская, И.В. Сысоев, Е.А. Туровский).

Большое число работ было посвящено явлениям биологической подвижности, непосредственно связанной с понятием биологического мотора. Биологические моторы – это, как правило, белки и белковые комплексы, генерирующие механическое усилие для осуществления движения клеток, внутриклеточного транспорта и других биологических процессов. К биологическим моторам относятся миозины, кинезины и динеины, обеспечивающие сокращение мышц, движение немембранных клеток, деление клеток, эндоцитоз, экзоцитоз, а также процессы внутриклеточного транспорта органелл и макромолекул. Перечисленные моторные белки перемещаются вдоль компонентов цитоскелета – микрофиламентов (миозины) или микротрубочек (кинезины и динеины). В качестве топлива они используют АТФ – универсальный энергетический субстрат клетки. Моторные белки регулируются клеточными системами, осуществляющими их активацию, торможение и взаимодействие с перемещаемыми грузами.

Все процессы в клетке обеспечиваются энергией, преобразование которой осуществляется в системах субстратного, фото- и окислительного фосфорилирования, поставляющих энергию, необходимую для жизнедеятельности организмов. В секции «Биоэнергетика» наряду с системами фосфорилирования обсуждались процессы генерации мембранных форм энергии, а также их использования для синтеза АТФ, аккумуляции химических веществ в клетках и органеллах, подвижности бактерий, образования тепла в целях терморегуляции. Несколько докладов были посвящены изучению путей практического применения биоэнергетики для отмены программы старения организма.

В пленарном докладе А.К. Цатуряна с соавторами (НИИ механики МГУ имени М.В. Ломоно-

сова, Москва, ФИЦ «Фундаментальные основы биотехнологий» РАН, Москва, Институт иммунологии и физиологии УрО РАН, Екатеринбург) «Биофизические аспекты регуляции сокращения поперечно-полосатых мышц» были представлены новые результаты изучения взаимодействия сократительных белков — актина и миозина, сопровождающегося гидролизом АТФ. В поперечно-полосатых (скелетных и сердечной) мышцах актин и миозин формируют соответственно тонкие и толстые нити. Эти нити, в свою очередь, образуют гексагонально упакованную структурно-функциональную единицу мышцы — саркомер. Актин-миозиновое взаимодействие регулируется ионами  $\text{Ca}^{2+}$  при участии регуляторных белков: тропонина и тропомиозина. Чтобы выяснить связь между структурными и функциональными свойствами тропомиозина, авторами проведено комплексное исследование, включающее получение рекомбинантных форм тропомиозина, исследование их термостабильности методом дифференциальной сканирующей калориметрии, измерение сродства тропомиозина к актину и температурной стабильности актин-тропомиозиновых комплексов. Результаты этих исследований показали тесную связь между изгибной жесткостью тропомиозина и актин-тропомиозиновых комплексов и функциональными характеристиками системы регуляции — максимальной скоростью движения нитей, кальциевой чувствительностью и кооперативностью. Полученные результаты проливают свет на особенности развития наследственных заболеваний миопатии и кардиомиопатии и намечают путь для разработки методов борьбы с ними.

Биофизические методы позволили значительно продвинуться в изучении внутриклеточных процессов и межклеточных взаимодействий в растительных организмах. В докладе А.А. Булычева с соавторами (кафедра биофизики биологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова) «Дальний транспорт и межклеточный перенос фотометаболитов у харовой водоросли» рассмотрен межклеточный транспорт у растений, который играет крайне важную роль, обеспечивая доставку ассимилятов к растущим клеткам и передачу сигнальных веществ. В многоклеточной системе транспорт включает две стадии: внутриклеточный перенос в цитоплазме и межклеточное движение через плазмодесмы — цитоплазматические тяжи, соединяющие клетки по узким отверстиям в клеточных стенках. Данный коллектив авторов изучает клетки междуузлий водоросли *Chara*, используя микроскопию модулированной флуоресценции хлорофилла в сочетании с локальным освещением клетки в стороне от места измерения. Показано, что метаболическая сигнализация между пространственно разобщенными хлоропластами ярко выражена в участках клетки,

где активен  $\text{H}^+$ -насос плазмалеммы, и сильно ослаблена в зонах с высокой проводимостью плазматической мембраны для  $\text{H}^+$  или  $\text{OH}^-$  (в области наружных щелочных зон). Распространение волны флуоресценции хлорофилла в ответ на удаленное локальное освещение проявлялось также в течение одной-двух минут после выключения фонового освещения. Результаты изучения роли течения цитоплазмы и плазмодесм во внутриклеточной и межклеточной метаболической сигнализации закладывают основы понимания механизмов сигнализации у растений, которые в настоящее время крайне слабо изучены, между тем могут стать основой для совершенно новых технических решений.

Доклад В.А. Воденеева (кафедра биофизики Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского) «Электрические сигналы растений: механизмы и функциональная роль» был посвящен изучению распространения электрических сигналов при действии локальных стимулов различной природы и интенсивности. Распространение электрических сигналов вызывает функциональные изменения в нераздраженных частях растения: изменения в экспрессии генов, активности фотосинтеза, транспирации, дыхания, изменения содержания АТФ и др. Развитие функционального ответа, по-видимому, обусловлено концентрационными сдвигами (в первую очередь  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{H}^+$ ), сопровождающими генерацию электрических сигналов. Электрические сигналы растений включают типичный для различных живых организмов потенциал действия, а также специфичные электрические сигналы — вариабельный потенциал и системный потенциал. Исторически раздельно существовавшие электрическая, химическая и гидравлическая гипотезы распространения потенциалов в растениях сегодня сменяются представлениями о комплексном характере этого типа сигнала. Изучение сигнальной системы растений в сравнении с распространением потенциала в нервных волокнах позволяет выявить фундаментальные механизмы распространения сигналов в живых системах.

Мезенхимальные стволовые клетки занимают одно из центральных мест в области клеточной биологии, клеточной биофизики и регенеративной медицины благодаря их чрезвычайно высокой биологической и терапевтической активности, возможности размножения данных клеток *in vitro* и использования затем накопленной клеточной биомассы в клинической практике для лечения разнообразных заболеваний. В докладе И.Д. Волотовского (Институт биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси, Минск) «Мезенхимальные стволовые клетки. от биофизических механизмов функционирования до использования в регенеративной медицине для лечения

заболеваний» рассматривались ключевые критерии жизнеспособности мезенхимальных стволовых клеток в культуре и биофизические механизмы, обеспечивающие их активное состояние, к которым относятся поддержание высокой пролиферативной активности, способности продуцировать широкий набор биологически активных соединений, благодаря которым клетки оказывают противовоспалительное, иммуномодулирующее, ангиогенное и др. действия, а также дифференцироваться в соматические клетки по нескольким направлениям. При Институте биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси создан Республиканский научно-медицинский центр «Клеточные технологии», в котором разработаны и внедрены в практику клеточные технологии лечения трофических язв нижних конечностей с использованием мезенхимальных стволовых клеток и их смеси с фибробластами, а также пародонтитов легкой формы; завершаются проекты по разработке клеточных технологий лечения дегенеративных заболеваний роговицы глаза, ожогов и возрастных изменений кожных покровов.

В докладе В.П. Зинченко с соавторами (Институт биофизики клетки ФИЦ ПНЦБИ РАН, Пушкино; Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, Алматы, Казахстан) «Кодирование электрической активности нейронов импульсами медленной деполяризации *in vitro*» рассматривалась спонтанная синхронная активность нейронов мозга, которая наблюдается в развивающейся центральной нервной системе в различных разделах мозга и сопровождается пачечной активностью и синхронными импульсами  $\text{Ca}^{2+}$ . В работе с помощью целого ряда экспериментальных методов исследованы закономерности изменений частоты и амплитуды потенциалов действия в зависимости от параметров  $\text{Ca}^{2+}$ -импульса медленной деполяризации в нейронах гиппокампа в культуре. Индивидуальная форма  $\text{Ca}^{2+}$ -импульса нейронов, отражающая индивидуальные различия в экспрессии белков  $\text{Ca}^{2+}$ -транспортирующих систем, представляет широкие возможности для кодирования электрической активности нейронов и реализации преимущественных путей передачи определенной информации.

В докладе С.И. Погосяна (Биологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова) «Биофизические методы в экологических исследованиях» рассматриваются современные биофизические методы экологического мониторинга пресных и морских вод. Объектом, отражающим состояние водной среды, служит фитопланктон. Обилие фитопланктона и показатели его продукции являются основными в оценке экологического состояния акваторий. В настоящее время

разработаны и широко используются флуориметрические методы оценки состояния фотосинтетического аппарата фитопланктона. Созданы приборы, позволяющие проводить измерения в пробах воды, в непрерывном потоке воды и зондировать толщу воды до глубины 200 м. Разработаны лидары (лазерные дистанционные флуорометры) для определения состояния фитопланктона при сканировании поверхностных вод с береговых вышек и с судов по их ходу. Эти методы позволяют с высокой точностью в режиме реального времени проводить детальные обследования акватории. На обширных акваториях информация об обилии фитопланктона может быть получена со спутников из космоса. Определять первичную продукцию в море можно комплексом спектральных методов по спектрам подводной облученности и параметрам флуоресценции хлорофилла. Измеряемая при этом эффективность утилизации квантов света в процессах фотосинтеза позволяет прогнозировать возможные изменения первичной продукции фитопланктонного сообщества в краткосрочной перспективе.

Роль математического моделирования в решении проблем экологического мониторинга продемонстрировал доклад А.Б. Медвинского (Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН, Пушкино) «Нелинейный анализ временных рядов и гибридные математические модели, непосредственно включающие данные мониторинга экосистем, как путь за пределы редукционизма». Предложен подход, предполагающий прямое включение данных мониторинга природных экосистем в математические модели популяционной динамики, с целью численного анализа влияния среды обитания на процессы, которые существенно влияют на наблюдаемые изменения популяционного обилия. Этот подход может быть реализован даже в тех случаях, когда характеристики природных процессов непосредственно в ходе мониторинга не измеряются. В качестве примера даются численные оценки кросс-корреляционной энтропии Шеннона как характеристики сопряженности колебаний скорости пополнения популяций фитопланктона Нарочанских озер с вариациями экзогенных факторов: температуры воды и концентрации растворенных в воде биогенов.

Традиционно на Съезде активно обсуждались вопросы воздействия физико-химических факторов на биологические системы. Секция под таким названием была посвящена вопросам изучения и применения эффектов взаимодействия с биологическими тканями животного и растительного мира электромагнитных излучений, физических полей и фотонов в широком диапазоне длин волн. Электромагнитное излучение уникально не только тем, что дает возможность зрительно наблюдать процессы, протекающие в живых систе-

мах на клеточном и молекулярном уровнях, но еще и тем, что позволяет воздействовать на них без разрушения их структуры. Эти вопросы обсуждались в пленарном докладе Л.Н. Галль (Институт аналитического приборостроения РАН, Санкт-Петербург) «Физические процессы при взаимодействии слабых электромагнитных полей с живой клеткой. эксперименты и теория» и вызвали большой интерес и оживленную дискуссию.

Самой многочисленной секцией Съезда была секция «Медицинская биофизика», ориентированная на обсуждение примеров успешного использования в медицине результатов фундаментальных исследований в области мембранных процессов, фотобиологии, биофизики клетки, а также связанных с этим проблем. Выработанные в процессе фундаментальных биофизических исследований представления медицина использует для познания на молекулярном уровне механизмов возникновения заболеваний, для ранней диагностики, для выработки способов воздействия на патологические процессы. Более того, в большинстве докладов, сделанных на других секциях, так или иначе обсуждалось и значение полученных результатов применительно к медицине и биотехнологии.

В пленарном докладе А.С. Соболева (биологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, Институт биологии гена РАН, Москва) «Модульная транспортная платформа — инструмент избирательного воздействия на процессы в органеллах живой клетки» был рассмотрен спектр возможных применений модульных нанотранспортеров для медицинских целей и в качестве инструмента для исследования живой клетки путем избирательного воздействия на процессы, протекающие в различных компартментах клетки. Модульные нанотранспортеры представляют собой синтетические полипептиды, придающие клеточную специфичность и высокую эффективность противоопухолевым агентам. Принцип, положенный в основу их дизайна, — использование естественных процессов клеточного транспорта, благодаря чему они способны проникать в клетку-мишень, а затем в ее ядро. Различные варианты применения таких нанотранспортеров для разнообразных целей и задач позволяют рассматривать нанотранспортеры как платформу для доставки лекарств и иных биологически активных веществ, что позволяет, например, вмешиваться в процессы репарации ДНК.

Доклад Г.Т. Гурия (Национальный медицинский исследовательский центр гематологии Министерства здравоохранения РФ, Москва) «Кинетические аспекты процессов свертывания крови и фибринолиза» был посвящен экспериментальным исследованиям и моделированию

кровотока в аномально суженных — стенозированных артериях. Стенозированные участки артерий выступают в качестве «очагов объемной активации» тромбоцитов в кровотоке. Местоположение таких участков артерий в системе кровообращения человека удается установить ангиографическими методами, а также методами магнитно-резонансной или ультразвуковой диагностики. В докладе демонстрируется, как полученные в ходе исследования механизмов гидродинамической активации тромбоцитов закономерности могут быть использованы для оценки персонализированных рисков внутрисосудистого тромбообразования и фибринолиза.

В докладе Д.Ю. Нечипуренко «Влияние механической активности тромбоцитов на структуру артериальных тромбов» (физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, Центр теоретических проблем физико-химической фармакологии РАН, Национальный медицинский исследовательский центр детской гематологии, онкологии и иммунологии им. Дмитрия Рогачева, Москва) при помощи объединения подходов *in vivo*, *in vitro* и компьютерного моделирования было продемонстрировано, что в процессе сжатия тромбоцитарного агрегата происходит перераспределение клеток в составе тромба: слабо взаимодействующие с другими клетками умирающие тромбоциты механически вытесняются на поверхность агрегата. Данное перераспределение приводит к дополнительной неоднородности внешних слоев тромба, что может существенным образом влиять на динамику агрегата в условиях потока. Вместе с автором доклада на съезд приехала группа студентов, аспирантов и молодых ученых, которые в своих сообщениях представили широкий круг исследований, связанных с тромбообразованием.

В докладе Е.Е. Фесенко (мл.) с соавторами (Институт биофизики клетки ФИЦ ПНЦБИ РАН, Пушкино) «Перспективы новых технологий консервации органов» обсуждалась проблема консервации предназначенных для трансплантации органов и новые подходы к низкотемпературному замораживанию, суть которых заключается в крайне медленном опускании температуры — от 0°C до минус 70°C. В результате морфология льда, который при этом образуется, носит шадящий для тканей характер. Эти разработки показывают важность изучения свойств воды, составляющей большую часть массы органической ткани и всегда представляющей собой раствор, содержащий ионы.

Изучению свойств воды были посвящены пленарные доклады А.В. Дроздова (Институт аналитического приборостроения Российской академии наук, Санкт-Петербург) «Динамика межмолекулярных взаимодействий в воде» и

В.И. Лобышева (Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва) «Самоорганизация и эволюция сильно разбавленных водных растворов». В докладе В.И. Лобышева были представлены результаты исследования комплексных электрических характеристик: удельного сопротивления, емкости и электропроводности сильно разбавленных растворов. Показано, что люминесцентные характеристики разбавленных водных растворов испытывают спонтанные долговременные переходные процессы, причем в начальном, далеком от равновесия состоянии, водный раствор оказывается весьма чувствительным к слабым воздействиям электромагнитной природы в диапазоне частот 20 Гц – 10 МГц.

### ОТКЛИКИ О СЪЕЗДЕ

Приведем некоторые отклики участников Съезда.

*Рясик Иван Олегович, врач-невролог, нутрициолог, гомеопат, член Национальной ассоциации клинического питания, Председатель Кировского регионального отделения Общероссийского общественного движения «За сбережение народа», Федеральный лектор Общества «Знание» России:* “Хотелось выразить большую признательность за организацию VI съезда биофизиков и отдельно поблагодарить за серьезный научный уровень и широту тем секции «Структура и динамика нуклеиновых кислот и их комплексов». Для медико-генетических исследований и практического здравоохранения доклады на секции важны с точки зрения формирования прогностического, превентивного и персонифицированного подхода к человеку, а также разработки мероприятий эпигенетической коррекции, медикаментозных и нутрицевтических вмешательств в метаболизм у пациентов с учетом аллельного полиморфизма в их геноме. Большое спасибо Юрию Нечипуренко за рассказ об исследованиях, открывающих причины специфической фрагментации геномной ДНК при подготовке образцов для секвенирования и имеющие прямое отношение к вопросам канцерогенеза. Идеи, полученные в результате участия в работе съезда и секции «Структура и динамика нуклеиновых кислот и их комплексов», будут использованы при работе с пациентами, полезны для учебной и научно-исследовательской работы в Кировском государственном медицинском университете и опорном университете (Вятский государственный университет)”.

*Ирина Панина (научный сотрудник ИБХ РАН):* “Для меня это было второе участие в Съезде биофизиков России, и, как и в прошлый раз, очень впечатляет масштабность мероприятия. Прежде всего, это обширный тематический охват программы: от строения биомакромолекул и нанотехнологий, до биомеханики, проблем экологии

и искусственного интеллекта. К тому же это состав и география участников и докладчиков конференции, в который, без преувеличения, входили именитые ученые-биофизики. Такое разнообразие участников и секций позволило за шесть дней участия в конференции узнать много нового и познакомиться с интересными людьми из различных уголков нашей страны.

Для меня как для молодого ученого очень ценно было получить комментарии и критические замечания по поводу моей работы от более опытных коллег, а также почерпнуть массу новых знаний и идей из других докладов, причем хочется отметить высокий уровень содержания и подачи материалов именно молодыми учеными. Кроме того, хочется отметить докладчиков, не побоявшихся вынести на общественное обозрение теории и результаты экспериментов, не являющихся «общепринятыми» (например, о влиянии электромагнитных полей на клетки или о свойствах воды) – это всегда интересно, вызывает оживленную реакцию и обсуждение, и полезно с точки зрения проверки существующей парадигмы на устойчивость.

Существенным, на мой взгляд, недостатком явилось то, что ввиду насыщенности программы мероприятия и жесткого регламента в зале заседаний практически не завязывались научные дискуссии. Выражаю благодарность организаторам за возможность участия в конференции и с нетерпением буду ждать VII съезда”.

Но общем обсуждении итогов съезда прозвучали слова о том, что биофизика в России жива, более того, она переживает расцвет благодаря тому, что ученые старшего поколения смогли передать свои знания молодежи.

### ПЕРСПЕКТИВЫ БИОФИЗИКИ – В ГОРИЗОНТЕ ДО СЛЕДУЮЩЕГО СЪЕЗДА.

По прошествии года после проведения съезда проявляются перспективные темы дальнейших фундаментальных (теоретических и экспериментальных) и прикладных исследований. Встречи на Съезде и публикация тезисов докладов Съезда привела к инициации целого ряда новых работ. В качестве примера можно привести продолжение работ по связи механохимического расщепления ДНК и эпигенетики; в результате интереса к работам по расщеплению ДНК ультразвуком появилось несколько новых работ с оригинальной концепцией, что повышенная вероятность расщепления ДНК обусловлена образованием неканонических пар оснований ДНК.

Одна из важных проблем состоит в выяснении фундаментальных физико-химических механизмов, определяющих взаимодействия структурных элементов и лежащих в основе поведения целост-

ной биологической системы. На этом пути назрел переход от молекулярной динамики отдельных молекул к моделированию взаимодействия макромолекул на клеточном уровне. Кроме того, развитие теории процессов преобразования энергии в клетке и организме требует разработки новых теоретических представлений.

Съезд еще раз подтвердил, что достижения фундаментальной науки служат основой для решения прикладных задач. Для решения практических вопросов медицины, экологии и биотехнологии общесистемный подход и широкий арсенал биофизических методов уже сейчас широко используется. Сюда относится системный взгляд на механизмы развития болезней, диагностику и лечение, персонализированная медицина, методы непрерывного мониторинга биотехнологических процессов и ранней диагностики неблагоприятного состояния экологической среды.

В самых разных областях науки сейчас работают биофизики — от фундаментальной медицины до экологии. Они разговаривают на одном языке — языке описания фундаментальных механизмов, лежащих в основе биологических процессов. В этом заключается сила биофизического подхода — мы являемся не только учеными, работающими в самых разных областях, но по сути — своего рода «переводчиками», медиаторами, посредниками, объединяющими специалистов самого разного профиля. Роль биофизики на этом пути с развитием науки будет только возрастать, что налагает на биофизиков большую ответственность.

## БЛАГОДАРНОСТИ

От имени участников Съезда авторы благодарят членов Оргкомитета Съезда и его зам. председателя А.В. Дроздова, членов Программного комитета и его зам. председателя Н.Г. Есипову, а также руководителей секций за их организационные усилия по подготовке и проведению Съезда. Отдельная благодарность локальному Оргкомитету, его председателю ректору Кубанского государственного университета М.Г. Барышеву, заместителю председателя С.С. Джимаку и ученому секретарю А.А. Елкиной.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 19-04-20089).

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

Настоящая работа не содержит описания исследований с использованием людей и животных в качестве объектов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Сборник научных трудов VI съезда биофизиков России*, в 2-х томах (Издательско-полиграфическое объединение «Плехановец», Краснодар, 2019). DOI: 10.31429/SbR6.2019.001

## VI Congress of Biophysicists of Russia

**G.Yu. Riznichenko\*, A.A. Anashkina\*\*, Yu.D. Nechipurenko\*\*, and A.B. Rubin\***

*\*Lomonosov Moscow State University, Leninskie Gory 1/12, Moscow, 119991 Russia*

*\*\*Engelhardt Institute of Molecular Biology, Russian Academy of Sciences, ul. Vavilova 32, Moscow, 119991 Russia*

This paper presents a survey of problems in modern biophysics that have been discussed during the VIth Congress of Biophysicists of Russia held in Sochi, September 2019 (<http://conf-2019.biophys.ru>). Plenary, sectional and poster sessions have been used to report the results of fundamental and applied studies covering the areas of biophysics of single biomacromolecules and molecular complexes, membrane biophysics, cell biophysics, and bionanotechnology. Much attention has been paid to the application of the information technologies, mathematical and computer modeling and bioinformatics methods as necessary research tools at all levels of organization of living systems, from biomacromolecules to biogeocenoses, as well as to new experimental methods of biophysical research. Along with the fundamental problems of studying the physical mechanisms of regulation of biological processes at the molecular, subcellular and cellular levels, issues concerning the application of the results of biophysical research in medicine and ecology have been widely discussed. The Organizing Committee has decided to hold the next Congress of Biophysicists of Russia in 2023.

*Keywords: VI Congress of Biophysicists of Russia, molecular biophysics, medical biophysics, biophysics of complex systems, ecological biophysics, Sirius Educational Center*