

Памяти наших учителей Л.А. Блюменфельда
и С.Э. Шноля посвящается

О БИОФИЗИКЕ И О КАФЕДРЕ БИОФИЗИКИ ФИЗИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА МГУ

© 2023 г. В.А. Твердислов*,*, В.И. Лобышев*, Л.В. Яковенко*, М.Г. Гапочка*

*Физический факультет Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова,
Ленинские горы, 1/2, Москва, 119991 Россия

**E-mail: tverdislov@mail.ru

Поступила в редакцию 30.01.2023 г.

После доработки 30.01.2023 г.

Принята к публикации 15.02.2023 г.

*О милых спутниках, которые наш свет
Своим сопутствием для нас животворили,
Не говори с тоской: их нет,
Но с благодарностью: были.*

В.А. Жуковский

*Я прожил жизнь. Не мне судить,
Как прожил — хорошо или плохо,
Но не смогла совсем убить
Меня во мне моя эпоха.*

Л.А. Блюменфельд

*Положение страны в мировой иерархии определяется ее местом
в мировой науке. ... У нас единственный бесценный предмет гордости —
наш интеллект, наша история, наша уникальная многонациональная
культура, наша уникальная природа, наша традиция дружеского общения,
наш язык. Они — основа нашего патриотического чувства.
Они — условия выживания, возрождения и процветания нашей страны...
Независимость и самобытность особенно свойственна людям науки. ...
Интеллектуальная основа общества сохраняется лишь при условии
связи поколений, при непосредственном общении «отцов» и «детей».*

С.Э. Шноль

Перешагнула 63-летний рубеж своей истории первая в мировой науке кафедра биофизики, созданная на физическом факультете МГУ имени М.В. Ломоносова. Ушли из жизни ее создатели: в 2002 г. — профессор Л.А. Блюменфельд, в 2021 г. — профессор С.Э. Шноль. В последних выпусках журнала «Биофизика» была опубликована большая серия статей, подготовленных друзьями, коллегами, учениками и последователями этих выдающихся ученых. Настоящая статья завершает эту подборку. В ней дан краткий исторический обзор становления мировой и российской биофизики как научной дисциплины, рассказано об истории возникновения кафедры биофизики, ее основных достижениях и сформировавшихся в ее стенах научных школах.

Ключевые слова: Московский государственный университет, физический факультет, кафедра биофизики, биофизика в России.

DOI: 10.31857/S0006302923040221, EDN: KOUAUD

Проходят годы и многое, связанное с историей науки в стране и в Московском университете, постепенно стирается в памяти сменяющихся поколений. Это естественный процесс. И мы, к сожалению, непросто мало знаем и помним о наших замечательных предшественниках. И что еще более нам непросто, — мы теряем их мысли и идеи.

Перешагнула 63-летний рубеж своей истории первая в мировой науке кафедра биофизики, созданная на физическом факультете Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова — *у физиков и для физиков*. Ушли из жизни ее создатели: в 2002 г. — профессор Лев Александрович Блюменфельд, в 2021 г. — профессор Симон Эльевич Шноль. В последних номерах журнала «Биофизика» была опубликована большая серия статей, подготовленных друзьями, коллегами, учениками и последователями этих выдающихся ученых. Настоящая статья завершает эту подборку.

«Физическая» биофизика России и Московского университета много старше кафедры и восходит своими истоками непосредственно к именам М.В. Ломоносова, Н.А. Умова, П.Н. Лебедева, П.П. Лазарева. Об этом, как и об истории создания самой кафедры осенью 1959 г., пойдет речь. Это, скорее, не системное исследование, а заметки о давних и недавних событиях. О коллегам.

О БИОФИЗИКЕ

Поначалу о предмете исследования биофизики как науки о живой материи. Исторически и административно биофизику относят к биологии, называя ее разделом биологии, изучающим физические механизмы различных биологических процессов. Это положение справедливо лишь отчасти, поскольку биология по своему существу и умению изучает лишь сами живые системы, а биофизика привносит в науку глубокое понимание общих физических основ исходного формирования и развития живых систем. Известные и цитируемые определения «живого» обычно сводятся к перечислению важнейших биологических признаков (типа клеточного строения, обмена веществ, размножения, естественного отбора и т.д.), к констатации универсальности химического разнообразия живой природы, к упоминанию некоторых общих физических характеристик (типа термодинамической неравновесности, нелинейности и пр.).

Попробуем перейти к более общему определению живого, точнее говоря, предмету науки, которая ранее называлась естествознанием и которым сейчас сквозным образом занимается единственно биофизика, перекрывая свои понимания

с философией: *живое можно охарактеризовать как системную совокупность физических принципов, реализуемых универсальным химическим инструментарием и проявляющуюся в единстве биологических структур и функций, способных к устойчивой эволюции*. Поэтому как раздел биологии биофизика действительно изучает физические аспекты строения и механизмы процессов в живых системах, а как направление физики, как естествознание биофизика раскрывает фундаментальные принципы возникновения, структурной системности и устойчивого развития живых систем. Действительно, в основе всех природных процессов лежат процессы физические, определяемые непреложными законами физики.

Оттого достаточно несостоятельным представляется широко цитируемое определение NASA, выработанное в 1994 г. и применяющееся в задачах поиска жизни во Вселенной: *«жизнь — самоподдерживающаяся химическая система, способная к дарвиновской эволюции»*. Жизнь — далеко не только химическая система в своей основе (!), а механизмы устойчивой эволюции вполне могут быть отличны от дарвиновской модели. Хорошая выборка определений Живого приведена в Интернете в статье «Жизнь» (<https://ru.wikipedia.org/wiki/Жизнь>).

В этом отношении куда более адекватными представляются определения биофизиков М.В. Волькенштейна — *«Живые тела, существующие на Земле, представляют собой открытые, саморегулирующиеся и самовоспроизводящиеся системы, построенные из биополимеров — белков и нуклеиновых кислот»* [1] — и Л.А. Блюменфельда — *«Назовем живыми самовоспроизводящиеся системы, которые способны создавать информацию при взаимодействии с окружающей средой»* [2, 3], а также математика А.А. Ляпунова — *«Жизнь можно охарактеризовать как высокоустойчивое состояние вещества, использующее для выработки сохраняющих реакций информацию, кодируемую состояниями отдельных молекул»* [4].

Еще одно содержательное, информационно-ориентированное и в чем-то эпатажное определение жизни дано Г.Р. Иваницким: *«Жизнь — это система (биосфера), для которой характерна память, способность к направленной подвижности, самовоспроизведению, обмену веществ, регулируемому потоку энергии и к размножению. Жизнь — это результат процесса игры при взаимодействии части системы со своим окружением. В игре у этой части системы появилось свойство запоминать вероятность появления удач и неудач в предыдущих раундах, что дало ей шанс на существование в последующих раундах»* [5].

Существенно, что все эти определения жизни, по существу, идут от биофизического комплекса представлений о предмете живого. Встречающее-

ся в некоторых учебниках и высказываниях определение «биофизика есть наука о взаимодействиях и механизмах» не отражает фундаментальной роли физики и биофизики, поскольку вне этого определения вся биология построена на взаимодействиях и механизмах на всех уровнях живого.

До начала XIX века биология как самостоятельная наука не существовала, а все науки о живом входили в предмет интересов и пониманий физики. Формальное разделение наук о живом и неживом произошло относительно недавно, а сам термин «биология» был предложен всего 200 с небольшим лет назад — в 1802 г. независимо и одновременно Жаном Батистом Ламарком (1744–1829), французским естествоиспытателем, эволюционистом, великим предшественником великого Чарльза Дарвина (1809–1882), и немецким естествоиспытателем, анатомом и физиологом Готфридом Рейнхольдом Тревиранусом (1776–1837). Для биологии концентрация наук о живом оказалась плодотворной: завершилась систематизация видов, появилось дарвиновское эволюционное учение, физиология, цитология и эмбриология сформировались как системные разделы науки о живом.

Вместе с тем науки о живом всегда были естественным образом вплетены в развитие физики. Ученый мир всегда стремился добраться до основ биологических явлений. Достаточно упомянуть всего лишь несколько имен выдающихся физиков, которые закладывали физический фундамент биофизики и биологии: Рене Декарт (1596–1650), Антони ван Левенгук (1632–1723), Роберт Гук (1635–1703), Исаак Ньютон (1643–1727), Леонард Эйлер (1707–1783), Даниил Бернулли (1700–1782), Пьер Симон Лаплас (1749–1827), Луиджи Гальвани (1737–1798), Алессандро Вольта (1745–1827), Томас Юнг (1773–1829), Юлиус Роберт Майер (1814–1878), Альберт Эйнштейн (1879–1955), Нильс Бор (1885–1962), Эрвин Шредингер (1887–1961) и многие-многие другие. Однако основателем и корифеем современной биофизики все-таки следует считать Германа Людвига Фердинанда фон Гельмгольца (1821–1894), выпускника Военно-медицинской академии в Берлине, лейб-лекаря императора, ставшего выдающимся физиком и биофизиком.

Заметим, что не успели биология и физика размежеваться, как вышла в свет книга «Грамматика науки», написанная английским математиком Карлом Пирсоном (1857–1935) в которой тот дал одно из первых определений биофизики (в 1892 г.): «Уже теперь представляется несомненным, что некоторые обобщения физики — в особенности великий принцип сохранения энергии — описывают... часть нашего чувственного опыта относительно жизненных форм. Нужна... отрасль науки, имеющая своей задачей приложение законов

неорганических явлений, физики к развитию органических форм. ... Факты биологии — морфологии, эмбриологии и физиологии — образуют частные случаи приложения общих физических законов. ... Следовало бы назвать ее биофизикой. ... Ей принадлежит большое будущее» [6]. Эта книга, по-видимому, привнесла в научный мир первое системное определение биофизики и принесла Пирсону такой же успех, как и его кривые распределения случайных величин.

С 40-х годов прошлого уже века в биофизике начались разительные перемены. Из линейной и фрагментарно-описательной она становилась «объяснительной». И это было велением времени — совершившая к середине нашего века феноменальный скачок физика активно входила в биологию через представления термодинамики открытых систем, квантовую химию и математическое понимание нелинейных сложных систем. Здесь необходимо вспомнить выдающийся вклад Эрвина Шредингера в биологию, связанный с его книгой «Что такое жизнь с точки зрения физики?» (1944), основанной на лекциях, которые были прочитаны в Дублинском Тринити-колледже в феврале 1943 г. [7]. По версии С.Э. Шноля эти лекции и книга были созданы под впечатлением от статьи Н.В. Тимофеева-Ресовского, Карла Циммера и Макса Дельбрюка, опубликованной в 1935 г. и переданной Шредингеру Паулем Эвальдом в начале 1940-х годов [8]. Статья была посвящена изучению генетических мутаций, которые возникают под действием рентгеновского и гамма-излучений и для объяснения которых авторами была развита теория мишеней. Хотя в то время еще не была известна молекулярная природа генной наследственности, взгляд на проблему мутагенеза с точки зрения атомной физики позволил выявить некоторые общие закономерности этого процесса. Работа Тимофеева–Циммера–Дельбрюка была положена Шредингером в основу его книги, которая привлекла широкое внимание сначала физиков, а затем и биологов. Некоторые из них (например, Морис Уилкинс — английский физик и молекулярный биолог, лауреат Нобелевской премии по физиологии и медицине 1962 года совместно с биологом Джеймсом Уотсоном и физиком Фрэнсисом Криком) под ее влиянием решили заняться молекулярной биологией/биофизикой. Ф. Крик также известен тем, что сформулировал доминирующую «центральную догму молекулярной биологии»: генетическая информация передается в клетке в одну сторону, от ДНК к РНК, а затем к белку.

Уже в 1954 г., через год после открытия двуспиральной структуры молекул ДНК, другой великий физик Георгий Гамов понял, что структура белков, состоящих из 20 аминокислот, должна быть зашифрована в последовательности из четырех возможных нуклеотидов, входящих в со-

став молекулы ДНК [9]. Он предположил и рассчитал, что кодоны должны состоять из трех нуклеотидов, чтобы кодонов хватило для всех 20 аминокислот (всего же возможно 64 различных кодона из трех нуклеотидов: на каждую из трех позиций можно поставить один из четырех нуклеотидов). Таким образом, он был первым, кто обосновал кодирование аминокислотных остатков триплетами нуклеотидов. Особая ситуация в отношении возникающей молекулярной биологии складывалась в те годы в СССР. Но именно в нашей стране физики сыграли выдающуюся роль в области развития биологии.

О РОССИЙСКОЙ БИОФИЗИКЕ

Необходимо сказать о наших соотечественниках, которых за труды и идеи следовало бы считать физиками-биофизиками. И, как не трудно догадаться, первым среди них был наш Михаил Васильевич Ломоносов (1711–1765). Будучи последователем Ньютона и приверженцем его представлений о роли эфира в физических и физиологических процессах, он попытался детализировать описание нервного импульса, рецепции и зрения на основе механической модели эфира. В «Слове о происхождении света» он описывает механическую модель эфира, состоящую из малых сфер, имеющих на своей поверхности зубцы, плотно сцепляющие соседние сферы при поворотах и вращении. При этом на движение этих эфирных частиц могут оказывать влияние молекулы различных веществ. *«Вообразив сие основание, — пишет Ломоносов — ясно себе представить можете всех чувств действия и других чудных явлений и перемен в натуре бывающих. Жизненные соки в нервах таковым движением возвещают в голову бывающие на концах их перемены, сцепляясь с прикасающимися им внешних тел частицами. Сие происходит нечувствительным временем, для непрерывного совмещения частиц по всему нерву от конца до самого мозга. Ибо по механическим законам известно, что многие тысячи таких шаровых колес, когда они стоят в совместном сцеплении, непрерывно должны с одним повернутым внешнею силою вертеться, с остановленным остановиться и с ним купно умножить или умалять скорость движения. Таким образом, кислая материя, в нервах языка содержащаяся, с положенными на язык кислыми частицами сцепляется, перемену движения производит и в мозге оную представляет. Таким способом рождается обоняние».* Конечно, с позиций современного знания приведенное высказывание выглядит архаичным. Тем не менее, даже при отсутствии «достаточного запаса опытов», в нем угадываются глубоко осмысленные, пусть интуитивные, представления о фундаментальных свойствах возбудимых биологических систем — цик-

лических процессах, активных средах, автоволновых процессах и т.д.

Российская биофизика формировалась в среде выдающихся русских ученых-естествоиспытателей конца девятнадцатого, начала двадцатого века — физиков, биологов, медиков, тесно связанных с Московским университетом. Среди них были Н.К. Кольцов, В.И. Вернадский, П.Н. Лебедев, И.И. Мечников, П.П. Лазарев, позднее — С.И. Вавилов, А.Л. Чижевский, Н.В. Тимофеев-Ресовский и многие другие.

Удивительна связь между судьбами научных идей и людскими судьбами. Николай Константинович Кольцов (1872–1940), о котором мы уже упоминали выше, выдвинул гипотезу, что признаки, передаваемые по наследству, определяются линейным расположением мономеров в полимерных молекулах, размножающихся по принципу матриц (!). Эта основополагающая идея так бы и была долгое время не замечена, если бы не работы его ученика Николая Владимировича Тимофеева-Ресовского (1900–1981), выдающегося биолога и биофизика. Вместе с физиком-теоретиком Максом Дельбрюком в Германии он начал экспериментальное изучение идеи Кольцова — определения частоты мутаций у дрозофил в зависимости от радиоактивного излучения. Он экспериментально определил размер генома в клетке — его «эффективное сечение захвата». Под влиянием Тимофеева-Ресовского Дельбрюк заинтересовался генетикой фагов. После эмиграции Дельбрюка в США в аспирантуру к нему поступил орнитолог Дж. Уотсон (1928), который, как мы уже упоминали, вместе с английским биофизиком и генетиком Ф. Криком (1916) и М. Уилкинсом (1916), английским биофизиком, в 1953 году создали пространственную модель ДНК — двойную спираль, а в 1962 году получили за эту работу Нобелевскую премию. Мы не забываем, что Розалинда Франклин своей работой над получением рентгенограмм структуры ДНК составила экспериментальную основу этого эпохального движения мысли. Полученные ею снимки отличались особой четкостью и подготовили почву для выводов о структуре ДНК, сделанных Дж. Уотсоном и Ф. Криком.

А истоки идеи матричного синтеза, по крайней мере независимо и впервые, пришли к ним через Дельбрюка и Шредингера от Кольцова и Тимофеева-Ресовского. Заметим, что в конце жизни Николай Владимирович несколько лет преподавал молекулярную биологию, а по существу, — теорию микроэволюции, будущим биофизикам на кафедре биофизики физического факультета.

«Биологическая» биофизика в России естественным образом брала начало от наших славных зоологов, ботаников, физиологов, медиков, в

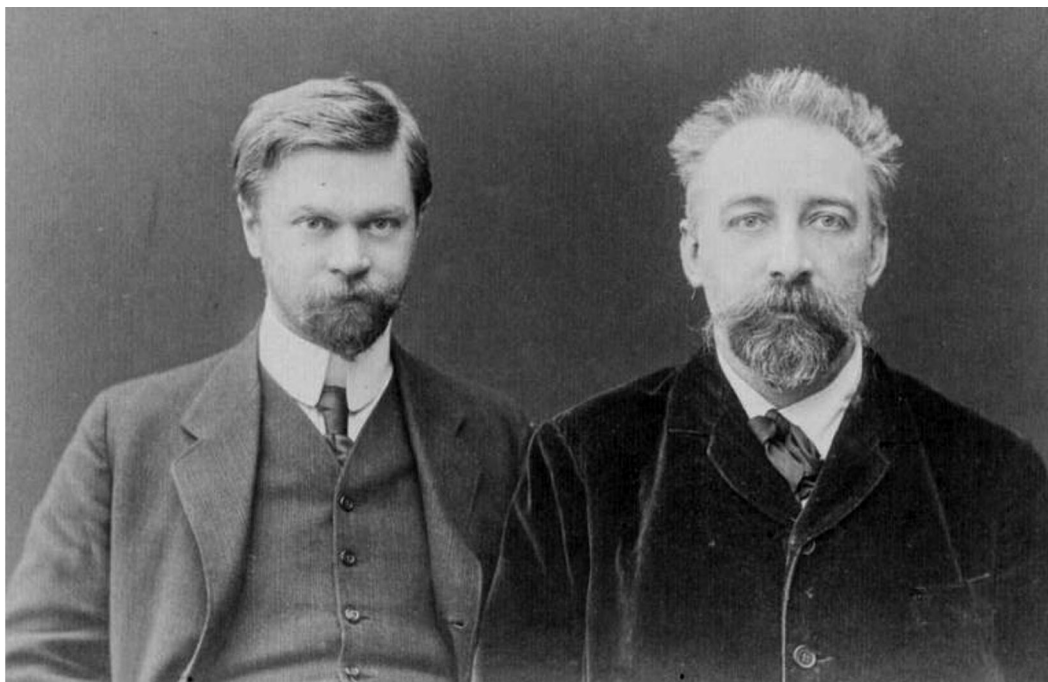


Фото 1. П.П. Лазарев и П.Н. Лебедев (справа), 1911 г.

первую очередь И.М. Сеченова. Это известно и неоднократно описано [10, 11]. История академической биофизики полно описана Г.Р. Иваницким в работе [12].

Сейчас о том, как отечественная «физическая» биофизика создавалась физиками Московского университета. В физической лаборатории, руководимой Петром Николаевичем Лебедевым (1866–1912), создателем русской экспериментальной физической школы, в начальные годы XX столетия проходили семинары (коллоквиумы), посвященные проблемам фотосинтеза. В их организации и проведении участвовал профессор Московского университета, выдающийся физиолог растений и популяризатор эволюционного учения Климент Аркадьевич Тимирязев (1843–1920). Лебедевы и Тимирязевы дружили семьями. Сейчас предмет семинарских обсуждений назывался бы биофизикой фотосинтеза. Обсуждался, в частности, и вопрос относительно зависимости эффективности фотосинтеза от интенсивности и длины волны света. Напомним, что тогда еще не существовало теории относительно энергии светового кванта. Именно с этим вопросом обращался к Тимирязеву тогда еще студент медицинского факультета Петр Петрович Лазарев (1878–1942), впоследствии ученик и соратник Лебедева. В 1901 г. Лазарев окончил медицинский факультет Московского университета. Позднее (в 1903 г.) он сдал экстерном на физико-математическом факультете полный курс физики и математики и остался работать поначалу лаборантом в

лаборатории Лебедева. Позже, уже в 1912 г., Лазарев по представлению своего учителя возглавил его лабораторию. В 1917 г. он был избран первым в России академиком-биофизиком по представлению выдающегося физиолога, Нобелевского лауреата Ивана Петровича Павлова (1849–1936). Им же в 1922 г. был прочитан первый в России лекционный курс под названием «Биофизика» для врачей при клинике Московского университета.

С 1918 г. П.П. Лазарев был главным редактором и издателем журнала «Успехи физических наук», с 1920 по 1931 г. возглавлял созданный по его инициативе и утвержденный специальным декретом Председателя Совнаркома В.И. Ульянова-Ленина Государственный институт биофизики и физики. Лазарев также являлся основоположником медицинской рентгенологии: в его институте имела первая и единственная тогда работавшая рентгеновская установка, на которой сделали рентгеновский снимок В.И. Ленину после покушения на него в 1918 г. Однако Институт биофизики и физики был ликвидирован после ареста Лазарева в 1931 г., а в 1934 г. на его основе был сформирован ФИАН имени Лебедева.

И все же следует заметить, что одним из наиболее выдающихся, мудрым и, странным образом, недооцененным в нашей области знания ученым был Николай Алексеевич Умов (1846–1915). Если Гельмгольц окончательно сформулировал закон сохранения энергии в ин-

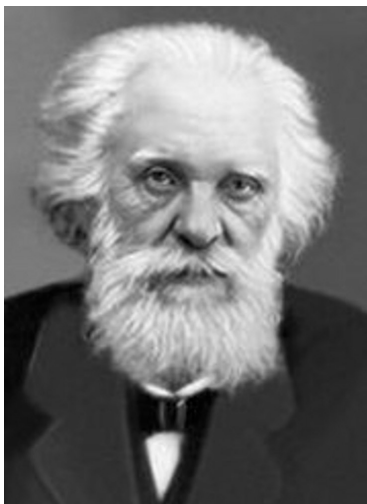


Фото 2. Н.А. Умов.

тегральной форме, то Умов впервые сформулировал его в дифференциальной форме через поток энергии (!). Вместе с Лебедевым он принимал деятельное участие в составлении проекта и организации Физического института при университете, преподавал физику студентам-медикам, был Президентом Московского общества испытателей природы (1897–1915). После смерти А.Г. Столетова в 1896 г. он возглавлял кафедру физики.

Исторически и по неразумению распорядителей науки биофизику относят к разделу биологии. По существу же она вместе с рядом других наук (типа биохимии и молекулярной биологии) составляет куда более широкий комплекс наук о живом. Биофизика по предмету изучения и по методам значительно шире, чем биология: это наука о живых и сопряженных неживых системах, определяющая через физические закономерности возможности, границы и механизмы возникновения и функционирования живых систем. Биофизика — в классическом понимании — естествознание, база наук о живом, где принципы — физические, инструментарий — химический (биохимический), а функции — биологические. Так и Н.А. Умов, выдающийся мыслитель, воспринимал физику как базу наук о живом. Предвосхитив мысли не читавших его трудов создателей термодинамики открытых систем, синергетики, а также многих современных отечественных биофизиков, он языком современной тогда ему науки формулировал «что есть жизнь с точки зрения физики». Он содержательно обсуждал концепцию открытых термодинамических систем и физических машин в живых системах. Чего стоит его яркое принципиальное высказывание, отражающее естественнонаучное предназначение биофизики: *«Переживаемая нами эпоха должна*

служить не къ разъединенію, а къ сближенію задачъ объ организованномъ и неорганизованномъ въ природе. Не только въ области жизни, но и въ области неживой матеріи есть стройность.» (1902 (!) год) [13]. Сейчас бы его слово «стройность» звучало как «симметрия» или «регулярность».

С середины 1920-х годов до послевоенного времени физики Московского университета системно живой природой непосредственно не занимались. Но и здесь необходимо вспомнить Сергея Ивановича Вавилова (1891–1951), младшего брата Николая Ивановича Вавилова (1887–1943), выдающегося биолога, генетика, физиолога растений и географа, президента ВАСХНИЛ (1929) и непримиримого врага Т.Д. Лысенко (1898–1976). Лазарев был научным руководителем Вавилова. В Институте физики и биофизики Вавилов исследовал квантовую природу света при отсутствии приборов для регистрации сверхнизкой интенсивности света. Тогда Лазарев, занимавшийся биофизикой рецепторов и проводивший спектральные исследования чувствительности глаза, предлагает использовать для опытов человеческий глаз — на тот момент наиболее чувствительный физический прибор. В 1932 году вместе со своим аспирантом Павлом Алексеевичем Черенковым (1904–1990) он открывает излучение, возникающее при движении в веществе заряженных частиц со скоростями, превышающими фазовую скорость света в данном веществе (Нобелевская премия за это открытие и теоретическое его объяснение в 1958 г. была присуждена И.Е. Тамму, И.М. Франку и П.А. Черенкову).

К ИСТОРИИ СОЗДАНИЯ КАФЕДРЫ БИОФИЗИКИ НА ФИЗФАКЕ МГУ

Для естествознания 40-х–50-х годов XX века в мировой науке актуальной стала подготовка исследователей с тремя фундаментальными образованиями — физическим, биологическим и химическим. В нашей стране была еще одна важная причина возникновения в 40-е годы тесного союза между биологией и физикой. Теперь мало известно и частью забыто, что именно физика и физики сыграли решающую политическую роль в возрождении современной биологии на переломном этапе истории нашей страны в середине прошлого столетия. И с этой ситуацией как раз и связано создание кафедры биофизики на физфаке.

Начиная с 30-х годов, в 40-е годы, и даже позже, в 50-е годы прошлого века, при Н.С. Хрущеве, политически доминирующим направлением в биологии, науке и образовании, стала «лысенковщина», подержанная властью и отрицавшая классическую генетику и связанные с нею основы эволюционного учения. Лысенко обещал с помощью своего учения в голодное послевоенное

время быстро накормить страну, против долгой и неопределенной по результатам генетики. А для биологии это явление было частью общего идеологического наступления на «буржуазные, идеалистические» направления в науке. Конкретно, это серьезным образом коснулось и набиравшей силу кибернетики. Насаждение догматических и вненаучных (убедительно бытовых) взглядов академика Т.Д. Лысенко, а также его реально вредоносная деятельность привели после печально известной сессии ВАСХНИЛ 1948 г. к прямым репрессиям в среде генетиков, а в 40-е и 50-е годы к прямому разгрому практически всех передовых биологических и сельскохозяйственных лабораторий, что критическим образом и на многие годы затормозило развитие биологии в СССР. А происходило это в то время, когда уже с 1953 г. (!) были известны структура ДНК и молекулярный смысл генетического кода. Ученые неоднократно обращались с письмами к руководству страны о недопустимости подобного положения в биологической науке, но безрезультатно. Тогда группа передовых биологов стала в инициативном порядке готовить обращение к руководству страны. Но главной силой, решительно вставшей против лысенковщины, стали десятки ведущих физиков, в том числе большая группа выдающихся академиков, работавших на физфаке.

Напомним, что «идеологизированные» представители марксистской философии начали наступление и на «идеалистические корни» квантовой механики, т.е. на фундаментальные основы физики. За квантовой физикой стояли атомное оружие, твердотельная радиоэлектроника, науки о материалах. Активные нападки начинались и на новейшие направления квантовой химии. В 1955 г. группой ученых, современно образованных и осведомленных, преимущественно ленинградских, было подготовлено письмо-обращение в ЦК КПСС, которое подписали около 300 человек, среди которых значительное большинство составляли физики. Можно назвать имена некоторых наших выдающихся ученых, поднявших свой голос в защиту отечественной науки. Это были академики Л.Д. Ландау, И.Е. Тамм, М.В. Келдыш, Г.С. Ландсберг, А.И. Фрумкин, П.Л. Капица, А.И. Алиханов, Ю.Б. Харитон, М.А. Леонтович, М.А. Арцимович, А.Н. Тихонов, М.А. Лаврентьев, С.Л. Соболев, С.А. Христианович; В.Л. Гинзбург, Я.Б. Зельдович, М.А. Марков, А.И. Алиханьян, И.Я. Померанчук, А.И. Шальников, А.Б. Мигдал, Г.Н. Флеров и многие другие.

Н.С. Хрушев, на тот момент первый секретарь ЦК КПСС и председатель Совета Министров СССР, был крайне раздражен этой несанкционированной инициативой, но, обладая необразованным, но рациональным умом, понемногу стал сдерживать Лысенко и отодвигать его от управления наукой. Как раз в это время физики через во-

енные лобби создали несколько научных центров, где поднялись ростки современной молекулярной биологии: на Урале в Миассово, в Москве в Курчатовском центре, в Обнинске. Тогда же стране требовалось создание независимого образовательного подразделения в смежных областях биологии и физики. Два Нобелевских лауреата, академики И.Е. Тамм и Н.Н. Семенов, при деятельном участии А.И. Шальникова, впоследствии тоже академика, в 1959 г. обратились к ректору МГУ математику И.Г. Петровскому с предложением создать кафедру биофизики на физическом факультете, первую в научном мире кафедру биофизиков у физиков, а не у биологов или медиков.

На биологическом факультете МГУ кафедру биофизики создали в 1953 г., ориентируя ее на медико-биологические, радиологические и, отчасти, космические направления. В становлении кафедры участвовали академики А.А. Красновский, А.Н. Теренин, Г.М. Франк, член-корреспондент АН СССР А.М. Кузин. Ее основателем был доктор биологических наук, биохимик по роду занятий, профессор Борис Николаевич Тарусов. К общепризнанным научным заслугам Б.Н. Тарусова следует отнести исследования в области физико-химических механизмов адаптации, радиационной биофизики, теории цепных реакций при перекисном окислении липидов и их роли в жизнедеятельности организмов и при развитии патологических процессов. Он был одним из первооткрывателей сверхслабого свечения у растений и в тканях животных в видимой области спектра. С первых дней кафедра биофизики биологического факультета МГУ является бесспорным флагманом отечественной биологической биофизики, сотни ее выпускников успешно работают в области биофизики и физико-химической биологии. С 1976 г. кафедру возглавляет профессор Андрей Борисович Рубин, известный биофизик, доктор биологических наук, академик РАН (2022). А.Б. Рубин – автор множества статей, монографий и классических учебников в области биофизики [14]. На наш взгляд, лучшими учебными пособиями в стране стали и учебники Г.Ю. Ризниченко по математическому моделированию в биологии [15].

Ректор МГУ И.Г. Петровский и декан физического факультета В.С. Фурсов поддержали инициативу физиков по созданию «физической» биофизики, и в ноябре 1959 г. была заложена сначала специализация, затем межкафедральная лаборатория, а следом и кафедра биофизики. Руководить кафедрой по предложению названных академиков предложили физико-химику Л.А. Блюменфельду, а в качестве преподавателей пригласили биохимика С.Э. Шноля и физиолога И.А. Корниенко. Следует отметить очень важное обстоятельство, связанное с созданием кафедры



Фото 3. Л.А. Блюменфельд.

на физическом факультете: среди студентов тогда же возникла встречная инициатива по созданию физической специализации «биофизика». Они же и стали первыми студентами и аспирантами кафедры, частью перейдя на нее с других направлений.

Л.А. Блюменфельд (1921–2002) является реальным создателем кафедры биофизики, возглавлявшим ее в течение 30 лет [16]. Л.А. Блюменфельд — участник Великой отечественной войны. После окончания химического факультета МГУ учился в аспирантуре Физико-химического института им. Карпова. На кафедре биофизики он многие годы читал курсы лекций «Физическая химия», «Квантовая химия и строение молекул», «Избранные главы биофизики». Л.А. Блюменфельд — ученый с мировым именем, автор более 200 работ, в том числе шести монографий. Его небольшая книга-завещание «Решаемые и нерешаемые проблемы биологической физики» до наших дней является одним из самых ярких научных трудов, определивших движение российской биофизики в XXI веке [3].

Его исследования были связаны с методами радиоспектроскопии (им был создан первый в стране ЭПР-спектрометр для биологических исследований), его интересы охватывали широкий круг вопросов — от проблем термодинамики, теории информации в биологии до изучения механизмов ферментативного катализа, фотосинтеза и окислительного фосфорилирования.

В 2001 г. Л.А. Блюменфельд совместно с В.А. Твердисловым и А.Н. Тихоновым был удостоен Ломоносовской премии за научные исследования в области биологических энергопреобразующих молекулярных машин.

Научные интересы Л.А. Блюменфельда в значительной степени определили научные направления, представленные на кафедре биофизики физического факультета МГУ, — физические основы строения, функционирования и регуляции биологических систем на молекулярном, клеточном и т.д. уровнях, вплоть до биосферного. В подобном понимании биофизика, включающая математическое моделирование фундаментальных биологических процессов и синергетические подходы, на его взгляд, состоялась как теоретическая биология. Следует отметить, что в научных направлениях, развиваемых на кафедре биофизики и в работах ее выпускников, представлены практически все направления современной биофизики и биологии. В последние годы на кафедре успешно ведутся работы в области медицинской биофизики, биофизической экологии и нанобиотехнологий.

Более полувека существования кафедры курсы лекций по биохимии и истории биологии читал доктор биологических наук профессор Симон Эльевич Шноль (1930–2021), окончивший в 1951 г. Московский университет по кафедре биохимии животных (в последние годы биохимию преподает профессор, член-корреспондент РАН



Фото 4. С.Э. Шноль.

М.А. Пантелеев). Совместно с коллегами С.Э. Шноль в течение десятилетий изучал колебательные процессы и космофизические эффекты в биологических и физико-химических системах, изотопные эффекты в биологических системах, разрабатывал новые нетривиальные подходы в теории биологической эволюции. Он — автор более чем 200 работ, в том числе четырех монографий. С.Э. Шноль — выдающийся популяризатор науки, блестящий рассказчик, остроумнейший и эрудированный дискуссионщик. Его многократно переиздававшаяся книга «Герои, злодеи и конформисты российской науки» является одним из отечественных шедевров научно-исторического исследования [11]. Именем С.Э. Шноля названа малая планета Солнечной системы.

С.Э. Шноль обладал удивительной интуицией в науках, также определившей на многие десятилетия научные направления кафедры биофизики. Именно он привнес на кафедру идеи изотопии в биологии и эволюции, идеи слабых воздействий и малых концентраций, осознание физико-химических принципов естественного отбора и эволюции, идеи биологических часов и колебательных процессов в живых системах, понятия автоволновой самоорганизации в биологии через возрож-

денную им реакцию Белоусова (в настоящее время именуемую реакцией Белоусова–Жаботинского), а также нераскрытые пониманием до сих пор идеи относительно роли космофизических факторов в развитии Вселенной, в том числе живой материи.

Вскоре после ее создания на кафедру биофизики перешли работать с кафедры физики колебаний два замечательных радиофизика — Г.Н. Берестовский (1929–2010) и А.Н. Заикин (1934–2019). Оба они на протяжении многих лет занимались проблемами возбудимых сред, вопросами теоретического и экспериментального изучения волновых процессов в мембранах растительных и животных клеток (Берестовский) и динамики автоволновой самоорганизации в химических средах, в морских нейстонных и почвенных популяциях микроорганизмов (Заикин). В 1964 г. Г.Н. Берестовский и А.Н. Заикин вместе с С.Э. Шнолем переехали работать в Пушкино в Институт биологической физики, где успешно работали в течение многих лет. Следует добрым словом вспомнить и других сотрудников первых лет кафедры: лаборанта Е.В. Денисенко, лаборанта Н.А. Смирнову, мастера С.Н. Чернова, инженера А.П. Репкина, техника В.Н. Леонову. Несколько позже пришли работать на кафедру мастером — Г.А. Денисенко, лаборантом — О.А. Крутоверцева. Эти интеллигентные, самоотверженные, дружелюбные люди составили животворящую основу тогдашней экспериментальной жизни кафедры и в значительной степени сформировали ее традиционную доброжелательную атмосферу.

В первые же годы из сферы атомной физики пришла работать на кафедру Г.Н. Зацепина, многие годы развивавшая направление, связанное с биофизикой водных систем. Галина Николаевна была замечательным ученым и педагогом, человеком ярким и творческим. Ею, совместно с С.В. Тульским (бессменным, после ухода И.А. Корниенко, заместителем заведующего кафедрой профессором Л.А. Блюменфельда) были разработаны биофизические принципы создания терапевтических приборов, способствующих регенерации костных тканей с помощью низкочастотных электрических токов.

Первыми аспирантами со специализацией «биофизика» стали выпускники других кафедр физического факультета С.В. Тульский, И.Г. Харитоненков, Э.К. Рууге и, годом спустя, — биофизик А.Ф. Ванин. На их долю выпала масса работы по оборудованию кафедры, вследствие чего исследовательская работа и защиты диссертаций задерживались. Ими даже был основан «Тайный союз незащитившихся аспирантов Блюменфельда». Тем не менее, с задержкой примерно на два года, все они успешно защитили кандидат-

ские диссертации и впоследствии блестяще проявили себя в науке. И.Г. Харитоненков выполнил ряд замечательных работ в области вирусологии, А.Ф. Ванин впервые начал систематическое изучение физико-химических характеристик нитрозильных комплексов железа и биофизических аспектов воздействия метаболитов оксида азота на живые системы [17]. В результате многолетних исследований им было доказано, что динитрозильные комплексы железа с тиольными лигандами играют значительную роль в функционировании оксида азота в организме как в норме, так и при патогенезе многих заболеваний. В контакте с А.Ф. Ваниным успешно развивает это направление исследований профессор кафедры биофизики Э.К. Рууге.

Выпускник кафедры биофизики А.М. Жаботинский (1938–2008), будучи аспирантом Л.А. Блюменфельда, по предложению профессора С.Э. Шноля в 1961 г. приступил к изучению механизмов гомогенной цветной колебательной реакции, открытой химиком Б.П. Белоусовым в 1951 г. и получившей впоследствии всемирную известность под названием «реакция Белоусова–Жаботинского». Выпускники кафедры В.А. Вавилин и М.Д. Корзухин, а также А.Н. Заикин приняли самое активное участие в проведении экспериментального и теоретического исследования реакции. Что чрезвычайно существенно, были изучены точечный колебательный и пространственно-распределенный автоволновой и хаотический режимы. Несмотря на то, что к тому времени были известны некоторые колебательные процессы, особенно в гетерогенных системах, именно эта реакция стала базовой демонстрационной системой в системно формировавшейся тогда науке о самоорганизации – синергетике. За это выдающееся исследование в 1980 г. А.М. Жаботинскому и А.Н. Заикину совместно с их коллегами Г.Р. Иваницким и В.И. Кринским была присуждена Ленинская премия – высшая научная награда в СССР.

В 1962 г. в аспирантуру кафедры поступил ее выпускник А.К. Кукушкин, целеустремленный и широко образованный биофизик. Прошел путь от научного сотрудника до профессора. Им была детально исследована взаимосвязь первичных процессов фотосинтеза с транспортом и запасанием продуктов фиксации CO_2 , показана важная роль неорганического фосфата для регуляции метаболизма углерода. Были рассчитаны квантовые характеристики компонент системы «пластохинон–гистидин», моделирующей начальный этап сопряжения переноса электрона и протона, получены энергетические уровни и волновые функции протона в этой системе для различных состояний восстановления пластохинона. На основании результатов расчета была высказана гипотеза

о молекулярном механизме сопряжения протонного и электронного транспорта в реакционном центре фотосистемы II высших растений и хроматофорах бактерий. А.К. Кукушкин ушел из жизни в 2015 г.

Многие годы рядом с ним работал старший научный сотрудник М.К. Солнцев, удивительно светлый, доброжелательный и надежный человек (скончался в 2011 г.). Он исследовал первичные процессы фотосинтеза люминесцентными методами, влияние ряда физико-химических факторов (гербицидов, фунгицидов, стимуляторов роста, антиоксидантов, тяжелых металлов, газового состава окружающей среды и др.) на процессы запасаения и трансформации энергии зелеными растениями. Им было проведено сравнительное исследование люминесцентных и физиолого-биохимических показателей здоровых и зараженных растений, обработанных регуляторами роста, антиоксидантами и фунгицидами, установлена взаимосвязь этих показателей с фотосинтезом.

Первым преподавателем биологии на кафедре биофизики стала Н.А. Ляпунова, привлекая к обучению физиков биологии преподавателей восьми кафедр биофака, заложившая замечательные традиции практики на Беломорской биологической станции МГУ. Ее традиции продолжила М.Н. Виленкина, сейчас преподавание организует Л.Л. Меньшенина. Заметим, все они – выпускницы кафедры зоологии беспозвоночных биологического факультета МГУ.

В 1989 г. заведующим кафедрой биофизики, сменившим профессора Л.А. Блюменфельда, стал заслуженный профессор МГУ, доктор физ.-мат. наук В.А. Твердислов, зачисленный в ее штат лаборантом в феврале 1964 г. после окончания кафедры.

Об основных современных направлениях научных исследований на кафедре биофизики и о ее сотрудниках рассказано в следующем разделе.

НАУЧНАЯ ШКОЛА ФИЗФАКОВСКОЙ БИОФИЗИКИ

Более чем за 60 лет своего существования кафедра подготовила примерно 1000 биофизиков. Сложилась признанная в мировом научном сообществе учебная (бакалавриат + магистратура/специалитет) и научная школа биофизики. На уровне высших мировых стандартов студентам-физикам в течение четырех лет в дополнение к физике и математике системно и полно преподаются курсы биологии и физиологии, общей химии, физической и квантовой химии, биохимии, молекулярной биологии, микробиологии, физики биомакромолекул, биоэнергетики, биоинформатики, биофизики макросистем и экологии, методов математического моделирования, си-

стемной биофизики, биомеханики, экспериментальных методов в биофизике, медицинской биофизики и многие другие. Все годы сотрудники биологического факультета терпеливо учат наших физиков основам биологии — цитологии, эмбриологии, ботанике. Биологическое образование завершается на Беломорской биологической станции МГУ, где после окончания третьего курса студенты-физики проходят полноценную биологическую практику. Выпускники кафедры получают глубокое, поистине университетское, всестороннее образование в области физики, биофизики, физико-химической биологии, медицинской биофизики.

В научном отношении кафедра биофизики представляет собой разносторонне направленное научное учреждение, осуществляющее плодотворное сотрудничество со многими академическими и медицинскими организациями. Принципиальной особенностью кафедры как научной школы является традиционное сочетание разработки глубоких фундаментальных проблем происхождения, формирования и развития живых систем, изучения важнейших структур, процессов и функций живой материи на всех уровнях ее организации (от молекулярного до биосферного) и практических медико-биологических применений. Значительными достижениями кафедры можно считать разработку механизмов автоволновой самоорганизации в активных химических и биологических средах, физических механизмов фотосинтеза, теории молекулярных биологических машин, биофизических основ функционирования цитоскелета клеток и систем свертывания крови. Известны работы в области нанобиотехнологий.

Развитие физических идей в концепции биологических машин, высказанной Н.А. Умовым в начале XX столетия, в России уже в 60-е годы прошлого века было связано с появлением известной работы С.Э. Шноля, Ю.И. Хургина и Д.С. Чернавского [18]. Наиболее глубоко эти идеи были развиты Л.А. Блюменфельдом в ряде статей и монографий [19–21].

Сам Лев Александрович считал, что физической основой его выхода на машинную тематику послужили работы К. МакКлэра [22–24]. Начиная с 40-х годов, стало ясно, что преобразование энергии в фотосинтетических системах и в системах окислительного фосфорилирования митохондрий основано на работе мембранных молекулярных машин. Как раз этими проблемами занимаются ученики профессора Л.А. Блюменфельда профессора Э.К. Рууге и А.Н. Тихонов, базируя свои экспериментальные работы на методах магнитной спектроскопии, в частности, ЭПР.

Э.К. Рууге детально изучил участие свободно-радикальных центров и парамагнитных металлокомплексов в процессах энергетического метаболизма в клетках сердечной мышцы при гипоксии и реоксигенации. Им показано, что защитное действие природных хиноидных соединений и полифенолов, а также нитрозильных комплексов железа против активных форм кислорода и азота обусловлено антиоксидантными свойствами этих соединений. Физиологически наиболее значимые метаболиты оксида азота — динитрозильные комплексы железа — проявляют свое защитное действие на клетки сердечно-сосудистой системы как антиоксиданты при разных значениях парциального давления кислорода, включая условия глубокой гипоксии, характерные для острой сердечной недостаточности [25].

Профессор А.Н. Тихонов, выпускник кафедры, работающий на ней после окончания аспирантуры с 1975 г., успешно исследовал ключевые факторы регуляции фотосинтетического транспорта электронов и протонов, сопряженного с синтезом АТФ в хлоропластах растений. Им применительно к данной системе предложена и развита концепция «белок—машина»: теоретически и экспериментально обоснованы представления о физических механизмах функционирования белков и белковых комплексов как макромолекулярных машин, обеспечивающих преобразование и запасание энергии в энергопреобразующих органеллах живой клетки (хлоропластах и митохондриях) [26, 27].

Профессор В.А. Караваев многие годы развивает экологические приложения фундаментальных исследований, связанных с фотосинтезом. Им систематически исследуется функциональная связь естественных и антропогенных физико-химических воздействий внешней среды на тонкие механизмы регуляции фотосинтеза у высших растений [28–30].

С марта 1967 г. был зачислен инженером выпускник кафедры В.И. Лобышев, ныне ее профессор. С первых дней существования кафедры фундаментальные проблемы строения воды и водных растворов, в частности их взаимодействия с биологическими структурами, а также изотопных эффектов, занимали одно из центральных мест [31]. В.И. Лобышев как раз и является двигателем этого направления, и именно ему в значительной степени принадлежит обретающая силу принципиальная концепция о долговременных неравновесных состояниях воды и водных растворов, имеющая прямое отношение к проблемам слабых воздействий и малых концентраций. В.И. Лобышевым на различных биологических объектах обнаружено аномальное активирующее влияние небольших вариаций концентраций дейтерия в воде относительно его

природного содержания, в том числе в регенерации гидроидов, что может быть значимо для отдельных направлений медицины. Показано, что вода, специфически связанная с биополимерами, стабилизирует белки и липидные мембраны. Он также продемонстрировал образование мезоструктур в сильно разбавленных водных растворах, проявляющееся, в частности, в появлении фотолюминесценции в растворах веществ, не обладающих собственной флуоресценцией. Интенсивность свечения не подчиняется закону С.И. Вавилова и является немонотонной функцией концентрации растворов. Область возбуждения излучения — примерно 100 нм. Также наблюдается длительная эволюция спектров фотолюминесценции таких растворов, и в подобном неравновесном состоянии проявляется высокая чувствительность к слабым внешним электромагнитным полям. Эти наблюдения радикально изменяют наши представления о разбавленных растворах и служат обоснованием нового направления — водные разбавленные растворы как самоорганизующаяся система [32, 33].

Научные проблемы, которыми занимаются сотрудники кафедры биофизики, чрезвычайно разнообразны, но объединены общими представлениями о системном единстве физических подходов к изучению различных биологических проблем, идеями самоорганизации. Многие годы профессор Л.В. Яковенко, выпускник кафедры, совместно с В.А. Твердисловым изучает проблему возникновения предшественников живых клеток на Земле в ходе начальных стадий биопоза [34, 35]. Ими развиты основные положения гипотезы о происхождении предшественников клеток в ходе предбиологической эволюции на границе раздела «океан—атмосфера». Показано, что неравновесная поверхность Мирового океана обладает физико-химическими свойствами, обеспечивающими ионную асимметрию, фракционирование энантиомеров аминокислот, нуклеиновых оснований и формирование замкнутых везикул, т.е. условия, необходимые для самопроизвольного возникновения предшественников клеток. В подходе к решению данной проблемы также продуктивными оказались представления об автоволновой самоорганизации [36].

Фракционирование физиологически важных ионов в неживых неравновесных и нелинейных системах сменилось в ходе биологической эволюции появлением и работой мембранных молекулярных машин — ионных насосов. Л.В. Яковенко предложена физическая модель функционирования Na^+ -насоса клеточных мембран. Основная идея состоит в том, что фермент представляет собой два ионных канала, работающих сопряженно: высоты трех потенциальных барьеров внутри каналов для ионов каждого типа (натрия и калия)

изменяются синхронно, при этом в одном из состояний системы возможен внутренний обмен ионами между каналами. Этот наиболее общий подход к описанию активного транспорта ионов в мембранах вошел в ряд учебников по биофизике [10]. Кроме того, им разработаны модель конформационной релаксации белковой глобулы после быстрого локального возмущения (совместно с Л.А. Блюменфельдом и В.А. Намиотом), модель одноионного канала и метод реконструкции энергетических барьеров и их флуктуаций по вольтамперной характеристике (совместно с В.А. Намиотом и Б.И. Ходоровым), кинетическая модель реакций, катализируемых ферментом с медленными конформационными изменениями (совместно с В.В. Пешехоновым) [21, 37, 38].

Физические идеи автоволновой самоорганизации в биологических системах нашли свое яркое воплощение в работах другого выпускника кафедры, Ф.И. Атауллаханова, ныне ее профессора и академика РАН. Атауллахановым и его коллегами было показано, что распространение фронта свертывания крови подчиняется тем же законам, что и распространение нервного импульса или фронта горения. Кровь — активная среда необычного типа. Существенное отличие системы свертывания крови состоит в том, что она умеет останавливать распространение таких волн. Это открытие привело к формированию новых представлений о том, как протекает процесс свертывания. Оказалось, что за разные фазы процесса формирования сгустка (активацию, распространение, остановку) отвечают разные метаболические блоки реакций. Были предсказаны новые реакции, играющие ключевую роль в финальной фазе формирования сгустка — его остановке [39, 40]. Исследования свертывания крови фактически привели к возникновению нового направления теории «активных сред» и синергетики.

Микротрубочка — молекулярный мотор цитоскелета. Под руководством Ф.И. Атауллаханова создана модель микротрубочки, позволяющая теоретически рассчитать силы, развиваемые деполимеризующейся микротрубочкой. Оказалось, что эти силы настолько велики, что могут полностью обеспечить движение хромосом в митозе без участия молекулярных моторов известного типа наподобие сократительных или мембранных транспортных АТФаз. Проведенные эксперименты подтвердили предсказания модели. В сотрудничестве с коллегами из США Ф.И. Атауллахановым и Н.Б. Гудимчуком в последние годы был обнаружен и теоретически обоснован новый механизм полимеризации микротрубочек, реализующийся путем смыкания изогнутых протофиламентов на растущем конце [41, 42]. Поведение ансамбля таких необычных

механохимических преобразователей в процессе формирования и развития веретена деления приводит, видимо, к необычным механизмам самоорганизации, которые являются в настоящее время предметом исследований.

Тромбоциты являются центральным звеном системы гемостаза, которая отвечает за остановку кровотечения при ранениях и кровоизлияниях любой природы. Одна из интригующих загадок — почему тромбоциты при активации переходят в разные функциональные состояния? Тема гетерогенности тромбоцитов оказалась в центре внимания сотрудников кафедры с середины 2000-х годов, когда появились первые доказательства того, что есть, как минимум, две популяции активированных тромбоцитов с радикально разными свойствами. Научная группа, возглавляемая профессором М.А. Пантелеевым и А.Н. Свешниковой, активно участвовала в процессе идентификации этих двух субпопуляций и позднее выявила механизм агрегации, с помощью которого прокоагулянтные тромбоциты включаются в агрегаты и тромбы [43–45].

Было установлено, что субпопуляций на самом деле может быть больше двух, были выявлены основные сигнальные пути, ведущие к их формированию. В 2015 г. Пантелеевым и Свешниковой была предложена теория формирования гетерогенности в ответе тромбоцитов, спустя год подтвержденная экспериментально. Исследователи установили механизм модуляции этого процесса через пуринорецепторы, выявили механизмы инактивации адгезионных рецепторов в субпопуляции сверхактивированных тромбоцитов, а также физиологический смысл двухрецепторной схемы активации тромбоцитов тромбином. В рамках этого направления была обнаружена активация контактного пути свертывания на прокоагулянтной субпопуляции тромбоцитов, неравномерность прокоагулянтной активности на поверхности этих клеток. На основании этого была разработана математическая модель их участия в свертывании крови [46, 47].

Д.Ю. Нечипуренко предложил механохимический механизм, связывающий наблюдаемую специфичность расщепления ДНК ультразвуком с конформационной подвижностью дезоксирибозы в составе молекулы. Показано, что наблюдаемая специфичность расщепления ДНК ультразвуком является универсальным механическим свойством данной молекулы, которое проявляется во всех известных механических подходах к фрагментации двунитевых молекул ДНК. В цикле его исследований, посвященных механизмам свертывания крови, было продемонстрировано, что миозин-зависимая контракция артериального тромба является причиной механического вытеснения прокоагулянтных тромбоцитов на его

периферию и приводит к гетерогенной структуре внешней части тромба [48]. На основе экспериментальных данных о взаимодействии тромбоцитов с фактором фон Виллебранда и друг с другом была построена стохастическая модель тромбообразования, учитывающая ключевые особенности межтромбоцитарных взаимодействий. При помощи данной модели было показано, что именно стохастическая природа взаимодействия слабоактивированных тромбоцитов позволяет объяснить наблюдаемую пластичность оболочки тромба [49].

Научная группа, возглавляемая А.В. Беляевым, работает над созданием оригинальной теории регуляции роста тромба в артериях и микрососудах. Созданная математическая модель впервые продемонстрировала особенности влияния гидродинамических сил, действующих на тромб и играющих решающую роль в микрососудах (артериолах и венах). Показано, что размер области и форма повреждения стенки микрососуда влияют на динамику роста тромба и его конечный размер [50]. Согласно данным проведенного компьютерного моделирования, гидродинамические силы также оказывают регуляторное воздействие на клеточном и молекулярном масштабах [51]. Эти данные, а также сама математическая модель уже используются медиками и инженерами для оценки рисков окклюзии (закупорки) сосудов тромбом в разветвленных системах кровеносных микрососудов.

В 2015–2018 гг. сотрудники кафедры Е.Ю. Симоненко, С.А. Яковенко, В.А. Твердислов участвовали в масштабном проекте МГУ «Научные основы создания национального банка-депозитария живых систем — Ковчег», поддержанным Российским научным фондом. Проект признан Ведущей научной школой МГУ. Это исследование послужило основанием для развития еще одного направления кафедры — криобиологии. За последние годы Е.Ю. Симоненко и С.А. Яковенко совместно с науч. сотр. кафедры А.А. Ивановой, студентами и аспирантами разработали новый системный подход к созданию криопротекторных сред для повышения эффективности криоконсервации культур клеток, основанный на анализе изменений термодинамических характеристик растворов на всех этапах их формирования, с учетом их влияния на целостность и жизнеспособность клеток. На основании разработанных дополнительных анализов клеточных структур, таких как фрагментация ДНК, целостность мембран, группой предложен ряд модификаций протоколов криоконсервации клеток, позволяющих повысить их выживаемость после цикла заморозки-разморозки. Работы в данном направлении успешно развивались кафедрой биофизики на базе клиники репродуктивных технологий «АльтраВита», возглавляемой

С.А. Яковенко. Эти работы служат научной основой еще одного активно развивающегося направления в деятельности Московского университета — Научно-образовательной школы «Космос» по направлению «Астробиология» [51–53].

Научной группой, возглавляемой Е.А. Генераловым, были выделены и охарактеризованы различные полисахаридные молекулы, обладающие перспективными биологическими активностями: иммуномодулирующей, радиопротекторной, регенераторно-репараторной, адаптогенными и другими. Были получены также результаты, свидетельствующие о наличии бифуркационных и метастабильных состояний в клетках, что может быть использовано для создания нового класса фармакологических веществ с разнонаправленными активностями [55, 56].

Разработка биофизических принципов создания функциональных наноструктур также является одним из важных научных направлений кафедры. Г.Б. Хомутов развивает исследования, связанные с разработкой эффективных подходов к созданию функциональных наноматериалов и наносистем с использованием биомиметических синтетических стратегий, основанных на принципах самосборки, самоорганизации и методах нанобиоинженерии. В частности, им получены и исследованы биомиметические системы одноэлектронного туннельного транспорта на основе пленок Ленгмюра–Блоджетт, содержащих встроенные в структуру пленки упорядоченные ансамбли белков (цитохром *c*), металлических нанокластеров и наночастиц. Получены новые биомиметические нанокомпозитные везикулы и капсулы, которые могут являться реальной основой новой технологической платформы и прототипом для создания новых эффективных биосовместимых средств капсулирования, адресной доставки лекарств. Принципиально важным моментом в этом подходе является использование биомиметических магнитных наночастиц оксидов железа, которое является по сути использованием и развитием открытий и идей Л.А. Блюменфельда в области исследования магнитных свойств живых систем [57]. Более шестидесяти лет назад Л.А. Блюменфельдом с сотрудниками впервые в мире были получены экспериментальные данные, указывающие на присутствие ферромагнитных или суперпарамагнитных наночастиц оксидов железа в культурах одноклеточных организмов и в препаратах ДНК (так называемые широкие линии сигнала ЭПР). Биогенные нанофазные магнитные структуры на основе оксида железа уже найдены в самых разных живых организмах — от бактерий и растений до насекомых, рыб, птиц и животных включая человека. Такие структуры могут играть важную физиологическую роль (обеспечивают ориентацию в магнитном поле Земли) или являются био-

маркерами патологий (например, у человека коррелируют с нейродегенеративными заболеваниями).

Достаточно долгая история кафедры биофизики позволяет проследить тренды и бифуркации в развитии самой биофизики в российской и мировой науке. Спустя много лет на новой методологической основе всплывают исследования, посвященные решению проблем, активно обсуждавшихся на семинарах кафедры в 60-е и 70-е годы прошлого века. В частности, речь идет о математико-биофизических подходах к изучению биологической эволюции в самом широком крупномасштабном плане. В дискуссиях участвовали Н.В. Тимофеев-Ресовский, Н.Н. Воронцов, Л.А. Блюменфельд, С.Э. Шноль, Н.А. Ляпунова, включавшийся в проблему талантливейший Александр Базыкин и многогранный ученый и музыкант А.А. Замятнин (оба — из четвертого выпуска кафедры биофизики), позднее, в Пушкино — яркий и креативный в науках Е.Е. Сельков, эрудированнейший и чрезвычайно многосторонний в науках Г.Р. Иваницкий.

Давние проблемы и подходы в новых поколениях обретают новое видение. И вот А.Э. Сидорова на кафедре развивает концепцию, согласно которой активные среды составляют системную основу пространственно-временной самоорганизации на разных уровнях организации живой материи — от макромолекулярного до биосферного и антропосферного [58]. На базе данного общеметодологического принципа, объединяющего процессы автоволновой самоорганизации, были получены следующие результаты. Построены биофизическая и математическая модель эволюции биосферы как иерархии сопряженных активных сред; модель стабилизации мутаций в пространстве перколяционной решетки отбора, учитывающая сопряжение детерминированных и случайных факторов; модели морфогенеза урбоэкосистем как автоволнового процесса самоорганизации (ошибка модели относительно реальных структур развития Москвы составляет 5–7%) [59]. На основе разработанной методики количественной оценки хиральности белков (адекватность подтверждена анализом 836 структур белков) построена трехмерная автоволновая модель образования хиральных вторичных структур белков [60, 61].

В последние годы лекции по биоинформатике читает кандидат физ.-мат. наук М.С. Попцова, сотрудник кафедры и заведующая международной лабораторией биоинформатики НИУ ВШЭ, доцент департамента больших данных и информационного поиска факультета компьютерных наук НИУ ВШЭ. Основная область научных интересов — изучение роли вторичных структур ДНК (квадруплексов, триплексов, Z-ДНК, кре-

стообразных структур) как дополнительного уровня кодирования информации в геноме, а также поиск взаимосвязей вторичных структур ДНК с эпигенетическим кодом. Под руководством Попцовой были разработаны нейросетевые модели глубинного обучения для предсказания вторичных структур ДНК на основе омиксных данных [62, 63].

Научные интересы д.б.н. М.Г. Гапочки связаны с экологическими проблемами воздействия электромагнитных полей в присутствии других антропогенных факторов на биологические системы разной степени организации. Им исследованы и объяснены зависимости стадии формирования популяции гидробионтов на их реакцию, устойчивость и чувствительность к воздействию токсических веществ и облучения ЭМП. М.Г. Гапочкой предложены практические методы использования ЭМП для снижения токсичности водных растворов, в том числе, сточных вод. Кроме того, исследования действия ЭМП на воду как гасителя митогенетического излучения привели к формулировке перспективной гипотезы механизма действия ЭМП на живые организмы [64, 65].

С первых дней существования кафедры на ней работает выпускница кафедры Т.А. Преображенская, негибаемая и доброжелательнейшая опора организационной и учебной жизни кафедры. Все годы она ведет основополагающие задачи биофизического спецпрактикума.

Особую благодарность хочется выразить Н.Г. Есиповой, которая более полувека читает студентам уникальный курс «Физика биомолекул». Ее курс — фундаментальная физическая основа молекулярно-биологического образования биофизиков физфака. Изложение курса продолжают ее ученики Д.Ю. Нечипуренко и Е.В. Белова (Малышко). Одной из ярких работ Н.Г. Есиповой, во многом воплотившей идеи макромолекулярной механики, развиваемые на кафедре биофизики, является ее статья с коллегами в журнале «Биофизика» [66].

В задачи кафедры входит не только образовательная и научная работа, но многочисленные виды деятельности, связанные с взаимодействием с организационными структурами факультета и университета. И здесь нельзя не упомянуть кажущуюся незаметной, но на самом деле критически важную роль в жизни кафедры ее выпускника ведущего программиста А.М. Адельянова. Наряду с проведением практикума он обеспечивает решение множества практических задач: от учета материальных ценностей до сопровождения заседаний диссертационного совета.

Многие годы научные интересы В.А. Твердислова были связаны с биофизикой мембран, изучением роли неорганических ионов

в биологических системах, механизмов их переноса через клеточные и модельные мембраны с помощью ионных насосов. Им была предложена и совместно с профессором Л.В. Яковенко экспериментально разработана модель параметрического разделения жидких смесей в периодических полях в гетерогенных системах и вошедшая в учебники модель натриевого насоса клеточных мембран [67, 68]. Ими же была предложена модель фракционирования основных биологических ионов в неравновесной поверхностной пленке морской воды при формировании протоклеток [34–36]. В последние годы В.А. Твердислов развивает новое направление в выяснении механизмов фолдинга в белках и их функционирования как молекулярных машин с учетом первичной гомохиральности [69, 70]

Имеются веские основания считать, что, как и в физике, в биологии фундаментальное значение могут иметь базовые симметричные факторы. В частности, именно они могут сопрягать и оптимизировать потоки превращений энергии, вещества и информации, переводя их из микроскопического уровня химии в макроскопический уровень макромолекулярных биологических машин.

В развитие нетривиальных фундаментальных идей Эмми Нётер и Фримана Дайсона о физической обусловленности связей между законами сохранения и разными типами симметрий, а также о связности эволюции систем через череду нарушения симметрий, мы высказываем соображение о том, что молекулярные машины живой природы являются ключевой находкой Природы в формировании Жизни на Земле. О внеземных формах жизни мы ничего толком не знаем, но можем предполагать, что основные принципы живого во Вселенной универсальны, тогда как механизмы и формы могут значительно отличаться. Основным биологическим признаком, по крайней мере для земных форм жизни, являются клетки, а их главным физическим признаком являются молекулярные машины.

По своей сути любая биологическая машина, прошедшая «естественный отбор», несет в себе «умение» сделать что-то «полезное». Для этого, с необходимостью, она обладает долговременной памятью и управляющим устройством, а также исполнительной частью, хотя, составляя функциональную иерархию, эти устройства могут включать в себя общие конструктивные элементы. Иными словами, конструктивные элементы молекулярной машины, «рабочее тело», элементы памяти и коммуникативные тракты могут включать общие детали. По всей видимости, эволюция исходно создавала иерархические системы, работая посредством естественного отбора блочно, сразу на нескольких уровнях молекулярной организации. Отбор на уровне отдельных элементов,

вне единого, хотя бы примитивного, системного устройства представляется эволюционно неэффективным.

В.А. Твердисловым выявлено и физически интерпретировано явление спонтанного формирования иерархических молекулярных структур, характеризующихся сменой знака хиральности в исходно гомохиральных молекулярных системах, а также сменой типа симметрии и увеличением масштаба [69, 70, 72, 73]. Явление обнаружено в информационно детерминированных, гомохиральных в своей основе, биологических макромолекулярных системах нуклеиновых кислот и белков, а также в искусственных полимерных и жидкокристаллических структурах. Хиральный дуализм служит физическим инструментом молекулярной биологии, позволяющим осуществлять фолдинг - формировать конструкции со стратифицированными уровнями внутри- и надмолекулярной организации, тогда как симметричное ядро всей молекулярной биологии можно рассматривать как периодическую знакопеременную систему хиральных элементов. В публикациях описана фундаментальная закономерность смены знака хиральности в структурно-функциональной иерархии белков и нуклеиновых кислот. Для белковых структур эта закономерность L-D-L-D, для ДНК — D-L-D-L. Молекулярные машины являются хиральными иерархически организованными устройствами (конструкциями). Они циклически осуществляют преобразование формы энергии за счет смены или переключений симметрий в ее хиральных структурных элементах, которые как раз и реализуют в них выделенные «квазимеханические» степени свободы, способные депонировать энергию на относительно большие времена, по сравнению с тепловыми степенями свободы. Феномен хиральности позволяет формировать дискретные хирально знакопеременные четырех- или пятиуровневые иерархии структур в макромолекулярных машинах в процессе фолдинга, а также обеспечивает однонаправленное движение машин по энергетическому циклу за счет нелинейных вентильных свойств спиральных внутри- и надмолекулярных структур. Непосредственное участие в развитии отдельных направлений этой работы принимали Л.В. Яковенко, Е.В. Белова (Малышко), А.Э. Сидорова.

В качестве важного дополнения к обсуждению научных заслуг наших учителей авторы хотят отметить, что при всех их личностных различиях их роднила высокая традиция российской интеллигенции — умение слушать, понимать и поддерживать учеников. Истинные и великие учителя.

История, традиции и научные достижения кафедры биофизики, замечательные качества ее сотрудников, студентов и аспирантов дают все ос-

нования верить в ее дальнейшее успешное развитие.

Авторы выражают свою признательность ВСЕМ друзьям и коллегам, с которыми уже на протяжении десятилетий работали, общались и формировали свои мнения о наших общих науках и соратниках.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Настоящая работа выполнена при поддержке Междисциплинарной научно-образовательной школы МГУ имени М.В. Ломоносова «Фундаментальные и прикладные исследования Космоса».

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. М. В. Волькенштейн, *Биофизика* (Наука, М., 1988).
2. Л. А. Блюменфельд, *Проблемы биологической физики* (Наука, М., 1977).
3. Л. А. Блюменфельд, *Решаемые и нерешаемые проблемы биологической физики* (Едиториал УРСС, М., 2002).
4. А. А. Ляпунов, *Проблемы кибернетики*, № 10, 179 (1963).
5. Г. Р. Иваницкий, *Успехи физ. наук*, **180** (4), 337 (2010).
6. К. Пирсон, *Грамматика науки* (Шиповник, СПб., 1911).
7. E. Schrodinger, *What is Life? The physical aspect of the living cell*, (Cambridge University Press, Cambridge, 1944).
8. N. W. Timofeeff-Ressovsky, K. G. Zimmer, und M. Delbruck, *Nachr. Gess. Wiss. Gottingen*, **1** (13), 189 (1935).
9. G. Gamow, *Nature*, **173**, 318 (1954).
10. А. Б. Рубин и Б. Н. Тарусов, в сб. *История биологии. С начала XX века до наших дней*, под ред. Л. Я. Бляхера (Наука, М., 1975), сс. 285, 468.
11. С. Э. Шноль, *Герои, злодеи, конформисты отечественной науки* (URSS, М., 2022).
12. Г. Р. Иваницкий, *Мир глазами биофизика* (Педагогика, М., 1985).
13. Н. А. Умов, в кн. *Собрание сочинений профессора Николая Алексеевича Умова. Т. 3. Речи и статьи общего содержания* (МОИП и Об-во содействия успехам опытных наук имени Х. С. Леденцова, М., 1916), сс. 184–200.
14. А. Б. Рубин, *Биофизика* (URSS, М., 2013).
15. Т. Ю. Плюснина, П. В. Фурсова, Л. Д. Терлова и Г. Ю. Ризниченко, *Математические модели в био-*

- логии (Регулярная и хаотическая динамика, М.–Ижевск, 2014).
16. В. А. Твердислов и А. Н. Тихонов, *Биофизика*, **66** (6), 1246 (2021).
 17. A. F. Vanin, *Nitric Oxide*, **54**, 15 (2016).
 18. Д. С. Чернавский, Ю. И. Хургин и С. Э. Шноль, *Молекуляр. биология*, **1**, 419 (1967).
 19. Л. А. Блюменфельд, *Природа*, № 6, 66 (1981).
 20. L. A. Blumenfeld and A. N. Tikhonov, *Biophysical Thermodynamics of Intracellular Processes. Molecular Machines of the Living Cell* (Springer-Verlag, New-York, 1994).
 21. Л. А. Блюменфельд, В. А. Намиот и Л. В. Яковенко, *Биофизика*, **31** (4), 572 (1986).
 22. C. W. F. McClare, *J. Theor. Biol.*, **30**, 1 (1971).
 23. C. W. F. McClare, *J. Theor. Biol.*, **35**, 233 (1972).
 24. C. W. F. McClare, *J. Theor. Biol.*, **35**, 569 (1972).
 25. K. B. Shumaev, A. L. Dudylna, M. V. Ivanova, et al., *BioFactors*, **44** (3), 237 (2018).
 26. A. N. Tikhonov, G. B. Khomutov, E. K. Ruuge, et al., *Biochem. Biophys. Acta*, **637**, 321 (1981).
 27. А. Н. Тихонов и Л. А. Блюменфельд, *Биофизика*, **30** (3), 527 (1985).
 28. В. А. Караваев и А. К. Кукушкин, *Биофизика*, **38** (6), 958 (1993).
 29. V. A. Karavaev, I. B. Polyakova, M. K. Solntsev, et al., *J. Lumin.*, **76** (4), 335 (1998).
 30. В. А. Караваев, О. А. Калмацкая, Б. В. Трубицин и др., *Биофизика*, **67** (3), 524 (2022).
 31. В. И. Лобышев и Л. П. Калиниченко, *Изотопные эффекты D₂O в биологических системах* (Наука, М., 1978).
 32. В. И. Лобышев, М. С. Томкевич и И. Ю. Петрушанко, *Биофизика*, **50** (3), 464 (2005).
 33. В. И. Лобышев, *Биофизика*, **67** (4), 658, (2022).
 34. В. А. Твердислов, М. Р. Кузнецова и Л. В. Яковенко, *Вестн. Моск. ун-та. Сер. 3. Физика. Астрономия*, № 5, 56 (1992).
 35. Л. В. Яковенко и В. А. Твердислов, *Биофизика*, **48** (6), 1137 (2003).
 36. В. А. Твердислов, Л. В. Яковенко, М. Е. Мазуров и др., *Вестн. Моск. ун-та. Сер. 3. Физика. Астрономия*, №6, 107 (2014).
 37. В. А. Намиот, Л. В. Яковенко и Б. И. Ходоров, *Биофизика*, **33** (2), 303 (1988).
 38. Л. В. Яковенко и В. В. Пешехонов, *Рос. хим. журн. (Журн. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева)*, **51** (1), 31 (2007).
 39. Ф. И. Атауллаханов, В. И. Зарницына, А. Ю. Кондратович и др., *Успехи физ. наук*, **172** (6), 671 (2002).
 40. Ф. И. Атауллаханов, Е. С. Лобанова, О. Л. Морозова и др., *Успехи физ. наук*, **177** (1), 87 (2007).
 41. N. B. Gudimchuk, and J. R. McIntosh, *Nature Rev. Mol. Cell Biol.*, **22** (12), 777 (2021).
 42. П. Н. Захаров, В. К. Аржаник, Е. В. Ульянов и др., *Успехи физ. наук*, **186** (8), 853 (2016).
 43. N. A. Podoplelova, A. N. Sveshnikova, Y. N. Kotova, et al., *Blood*, **128**(13), 1745 (2016).
 44. A. N. Sveshnikova, F. I. Ataullakhanov, and M. A. Panteleev, *Mol. Biosyst.*, **11** (4), 1052 (2015).
 45. Т. А. Коваленко, М. А. Пантелеев и А. Н. Свешникова, *Биофизика*, **62** (2), 370 (2017).
 46. В. А. Терентьева, А. Н. Свешникова и М. А. Пантелеев, *Биофизика*, **62** (5), 909 (2017).
 47. А. Н. Свешникова, А. А. Якушева, А. А. Рябых и др., *Креативная кардиология*, **12** (3), 260 (2018).
 48. D. Y. Nechipurenko, N. Receveur, A. O. Yakimenko, et al., *Arterioscler. Thromb. Vasc. Biol.*, **39** (1), 37 (2019).
 49. V. N. Kaneva, J. L. Dunster, V. Volpert, et al., *Biophys. J.*, **120** (2), 334 (2021).
 50. A. V. Belyaev, M. A. Panteleev, and F. I. Ataullakhanov, *Biophys. J.*, **109**, 450 (2015).
 51. Е. Ю. Симоненко, В. В. Прядун, А. А. Иванова и др., *Биофизика*, **64** (1), 5 (2019).
 52. А. А. Иванова, В. В. Прядун, А. Н. Ефанов и др., *Акт. вопр. биол. физ. и хим.*, **5** (3), 434 (2020).
 53. С. А. Яковенко, Е. Ю. Симоненко, С. Б. Гармаева и др., *Биофизика*, **61** (2), 316 (2016).
 54. А. В. Беляев, *Вестн. Моск. ун-та. Сер. 3. Физ. Астрон.*, № 5, 445 (2017).
 55. Е. А. Генералов, Е. Ю. Симоненко и Л. В. Яковенко, *Акт. вопр. биол. физ. и хим.*, **7** (4), 613 (2022).
 56. Е. А. Генералов, Е. Ю. Симоненко, Н. Г. Кульченко и др., *Биомед. химия*, **68** (6), 403 (2022).
 57. G. B. Khomutov, V. P. Kim, Y. A. Koksharov, et al., *Coll. and Surf. A: Physicochem. and Engin. Asp.*, **532**, 26 (2017).
 58. В. А. Твердислов, А. Э. Сидорова и Л. В. Яковенко, *Биофизическая экология* (КРАСАНД, М., 2020).
 59. А. Э. Сидорова, Н. Т. Левашова, А. Е. Семина и др., *Мат. биол. и биоинф.*, **13** (2), 454 (2018).
 60. В. А. Твердислов, А. Э. Сидорова, О. Е. Багрова и др., *Биофизика*, **67** (5) 837 (2022).
 61. А. Э. Сидорова, Н. Т. Левашова, А. О. Луценко и др., *Учен. зап. физ. фак-та Моск. ун-та*, № 4, 1940401 (2019).
 62. N. Beknazarov, S. Jin, and M. Poptsova, *Sci. Rep.*, **10**, 19134 (2020).
 63. T. Zhang, C. Yin, A. Fedorov, et al., *Nature*, **606**, 594 (2022).
 64. М. Г. Гапочка, *Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон.* № 6, 33 (2008).
 65. М. Г. Гапочка, *Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон.*, № 1. 67 (2009).
 66. А. В. Батыновский, И. Д. Волотовский, В. А. Намиот и др., *Биофизика*, **60** (3), 437 (2015).
 67. В. А. Твердислов, А. Н. Клейменов и Л. В. Яковенко, *Биофизика*, **18** (2), 251 (1973).
 68. В. А. Твердислов и Л. В. Яковенко, *Биофизика*, **25** (5), 815 (1980).
 69. В. А. Твердислов и Е. В. Малышко, *Успехи физ. наук*, **189** (4), 375 (2019).

70. V. A. Tverdislov and E. V. Malyshko, *Symmetry*, **12** (4), 587 (2020).
71. Е. В. Малышко, А. Р. Муртазина и В. А. Твердислов, *Биофизика*, **65** (2), 213 (2020).
72. В. А. Твердислов, Е. В. Малышко и С. А. Ильченко, *Известия РАН. Сер. физ.*, **79** (3), 1728 (2015).
73. В. А. Твердислов, *Акт. вопр. биол. физ. и хим.*, **7** (4), 552 (2022).

On Biophysics and a Chair of Biophysics at the Faculty of Physics of Moscow State University

V.A. Tverdislov*, V.I. Lobyshev*, L.V. Yakovenko*, and M.G. Gapochka*

**Faculty of Physics, Lomonosov Moscow State University, Leninskie Gory, 1/2, Moscow, 119991 Russia*

A historical timeline created to celebrate the 63-year anniversary of a chair of biophysics, the first in the world of science chair founded at Lomonosov State Moscow University. Professor Lev Alexandrovich Blumenfeld and Professor Simon El'evich Shnoll, who both departed this life in 2002 and 2021, respectively, started the chair. In the latest issues of journal "Biophysics", a large series of articles written and prepared by friends, colleagues, students, and the successors of these outstanding scientists have been published. This article closes this series. The article includes a brief historical overview of the formation of world and Russian biophysics as a scientific discipline, gives information about the history of how the Chair of Biophysics has been established, its main achievements and the scientific schools formed within the walls of this Department.

Keywords: Moscow university, faculty of physics, chair of biophysics, biophysics in Russia