

РОЛЬ НАУЧНЫХ ШКОЛ В ОРГАНИЗАЦИИ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ РАДИОФИЗИКИ

Кудрявцев Василий Владимирович

Московский педагогический государственный университет, Институт физики, технологии и информационных систем, Москва, Россия
kudv-v@yandex.ru

Чулкова Галина Меркурьевна

Московский педагогический государственный университет, Институт физики, технологии и информационных систем, Москва, Россия
chulkova@rplab.ru

DOI: 10.19181/sntp.2020.2.2.7

АННОТАЦИЯ

В статье описан научно-школьный подход как метод историко-научного исследования. Раскрыта ценность научно-школьного подхода применительно к изучению отечественной науки. На основе рассмотрения новых «измерений» (или аспектов) науки исследователь может получить панорамную картину её развития в научно-содержательном, научно-организационном, научно-образовательном, личностно-психологическом и социокультурном «измерениях». Приведён краткий исторический обзор, фиксирующий некоторые важные вехи на пути формирования первых советских научных школ в физике. Данные школы сыграли основополагающую роль в организации и развитии физической науки в нашей стране после Октябрьской революции. Обсуждаются причины утраты роли научных школ в организации современных научных исследований за рубежом. Показано, что эволюция отечественной радиофизики тесно связана с деятельностью ряда научных школ. Рассмотрены различные «роли» научных школ, которые они сыграли в зарождении отечественной радиофизики, создании её теоретического фундамента, формировании новых направлений радиофизических исследований, развитии технологий передачи информации, военных технологий с весомой радиофизической составляющей, образовании современных учебных и научных радиофизических центров. Эти «роли» могут оказаться полезными при организации научных исследований в нашей стране.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

организация научных исследований; научные школы; научно-школьный подход; «измерения» научных школ; радиофизика; научные школы в отечественной радиофизике.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Кудрявцев В. В., Чулкова Г. М. Роль научных школ в организации отечественной радиофизики // Управление наукой: теория и практика. 2020. Т. 2. № 2. С. 150–177.

DOI: 10.19181/sntp.2020.2.2.7

В русской науке важнейшую роль играло это уникальное явление – научные школы. В них наилучшим образом сочетается индивидуальное творчество отдельных личностей с коллективной исследовательской работой.

А. В. Гапонов-Грегов [1, с. 86]

Чтобы двигаться дальше, нужно сохранять и развивать те научные школы, которые сложились у нас.

Ж. И. Алфёров [2]

ВВЕДЕНИЕ

Профессиональные учёные или люди, проявляющие интерес к науке, обычно не задумываются над тем, почему одни лаборатории, институты, университеты и даже государства успешны в научной сфере, а другие в тех же, на первый взгляд, условиях остаются в ней на среднем уровне. Одни научные центры успешно работают над инновационными проектами, в их стенах трудятся выдающиеся учёные, лауреаты Нобелевских премий, их деятельность обеспечена внушительной финансовой поддержкой. В то же время другие научные организации выполняют рядовые исследования и не могут похвастаться весомыми результатами, созданием прорывных технологий.

Формирование подобной «турбулентности» в научно-исследовательской деятельности связано прежде всего с социально-экономическими аспектами науки. К ним относятся вопросы финансирования и организации исследований, использования интеллектуального потенциала учёных, их коммуникаций с государственными структурами, бизнесом, ВПК, коллегами.

Однако научные работники или люди, увлекающиеся наукой и читающие научно-популярные книги, как правило, не обращаются к изучению этих аспектов. Во многом это связано с тем, что достижения науки сами по себе значительно привлекательнее того, как и в каких условиях они были получены. Однако профессиональные историки науки и науковеды не могут игнорировать данные вопросы. Помимо фиксации ключевых событий, повлиявших на развитие науки, значительный интерес представляют раскрытие и анализ причин, которые обуславливают появление выдающегося исследования. Почему оно произошло в этот период времени, в данном месте и почему именно эти учёные оказались его авторами?

Таким образом, история науки становится не только историей развития идей, теорий, экспериментальных достижений и их практического применения, но и историей научных коммуникаций, научно-образовательных систем, личностно-психологических и научно-биографических аспектов в их взаимосвязи [3].

Изучение истории советской науки (в частности, физики) заставляет нас задуматься над следующим вопросом: почему физика в этот промежуток времени если и отставала от мировой (фактически американской), то ненамного, а в ряде случаев даже её опережала? Казалось бы, это совершенно невозможно, ведь американская наука могла опираться на интеллект учёных, приезжавших в США со всего мира. Они стремились работать в США не только ради финансовых привилегий, но прежде всего потому, что там было проще реализовать собственные научные идеи и амбиции.

К сожалению, СССР никогда не имел таких возможностей – черпать идеи и технологии из «мирового океана» знаний, привлекать специалистов из разных стран. Не будем также забывать, что и финансирование науки в США было значительно мощнее, чем в СССР. Тогда как же мог возникнуть фактический паритет полученных результатов во многих научных и технических направлениях (теоретическая физика, радиофизика, создание ракетно-ядерного щита, космонавтика) в двух супердержавах? Ответ очевиден – за счёт эффективной организации научных исследований и правильно выбранной методологии их проведения. Отсюда и проистекает повышенный интерес историков и социологов науки, науковедов к изучению организационных форм советской и американской науки в XX в.

В советской науке имела место необычная для Запада форма организации исследований, а именно *научные школы*. Разумеется, это не означает, что их не было в США или Европе. Но именно в СССР научные школы сыграли исключительно важную роль в развитии науки (в частности, физики). Каждая школа – это не только «фабрика» по получению новых научных результатов и выращиванию ценных кадров, но также сплочённый коллектив, члены которого ощущают от пребывания в нём максимально возможный личностный комфорт.

Благодаря формальным и неформальным связям в отечественных научно-школьных коллективах вырастают учёные экстра-класса, которые могут на равных конкурировать с зарубежными специалистами, а часто и выступать в роли признанных авторитетов в той или иной научной сфере и организаторов науки.

Прежде чем мы обсудим вклад научных школ в организацию советской физики в целом и радиофизики в частности, рассмотрим хотя бы в общих чертах сущность научно-школьного подхода как метода историко-научного исследования¹.

¹ При написании статьи широко использовались материалы диссертационной работы автора: Кудрявцев В. В. Научные школы в отечественной радиофизике: зарождение, развитие, творческое наследие. Диссертация... доктора физико-математических наук: 07.00.10. Москва, 2018. 657 с.

НАУЧНО-ШКОЛЬНЫЙ ПОДХОД КАК МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ

Научно-школьный подход к изучению какой-либо области знания заключается в том, что её можно представить как процесс возникновения, развития и ветвления разных научных школ. При этом анализируются история формирования, результаты функционирования каждой из научных школ, взаимодействие между ними, их творческое наследие.

Целесообразность применения научно-школьного подхода к истории отечественной науки (в том числе физики) XX в. обусловлена рядом причин [4]. Во-первых, в прошлом столетии наука в значительной степени стала коллективным предприятием, а научная школа оказалась одной из наиболее распространённых его форм.

Во-вторых, научная школа особенно характерна для организации советской науки. Например, формирование и развитие российской и советской физики в XX в. связаны с деятельностью научных школ П. Н. Лебедева, А. Ф. Иоффе, Л. И. Мандельштама, И. Е. Тамма, Л. Д. Ландау и др.

В-третьих, научно-школьный подход позволяет включить в рассмотрение новые «измерения» (или аспекты) науки и её истории. Доминирующим является научно-содержательное «измерение», связанное с получением научных результатов, решением научных проблем, открытием новых явлений, их объяснением и построением научных теорий. Этот аспект деятельности научных школ отражён в самом их названии, т. е. речь идёт о школах, в первую очередь научных (точнее, научно-исследовательских).

Таким образом, мы должны позиционировать научные школы как своеобразные «цехи» по производству новых научных знаний. К научно-содержательному «измерению» следует отнести также тематику исследований научной школы, исследовательскую программу (или исследовательские программы), по которой работают её участники.

Для получения научного знания создаются исследовательские лаборатории, научные центры и институты. При этом научные школы обычно оказываются связанными с этими организационными структурами. По этой причине для научных школ характерно институциональное (или научно-организационное) «измерение».

Научные школы обладают научно-образовательным «измерением», так как в их стенах формируется кадровый состав, а также происходит передача научных знаний от руководителя к его ученикам. Причём это может происходить как на семинарах, так и при непосредственном общении ученика и учителя в лабораторных условиях, при обсуждении результатов научных работ, подготавливаемых к печати материалов.

Взаимодействие лидера со «школьниками», их согласованная работа относятся к личностно-психологическому «измерению», которое включает и биографический (или научно-биографический) аспект. В этом случае речь идёт об индивидуальных особенностях руководителя, его стиля мышления, специфике организации научных исследований и др.

Научные школы взаимодействуют между собой (конкурируют или сотрудничают), вступают во взаимоотношения с властными структурами, обществом, другими научными объединениями и т. д. В связи с этим можно говорить о научно-коммуникативном, научно-политическом и социокультурном «измерениях» научных школ.

Методологическая ценность научно-школьного подхода заключается в том, что в нём синтезируются указанные выше «измерения». Это позволяет получить панорамную картину развития отечественной науки в научно-содержательном, научно-организационном, научно-образовательном, личностно-психологическом и социокультурном «измерениях». Кроме того, в результате историко-научного исследования удаётся собрать ценный фактический материал, касающийся выдающихся отечественных физиков и связанных с их именами научных школ. При этом появляется возможность открыть и неизвестные ранее научные школы.

НАУЧНЫЕ ШКОЛЫ В ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ФИЗИКЕ

До Октябрьской революции научные исследования в области физики были тесно связаны с высшей школой, прежде всего с университетами, и носили фрагментарный характер. В основном физическая мысль развивалась благодаря усилиям учёных-одиночек, которые тем не менее внесли существенный вклад в мировую науку. Достаточно вспомнить имена А. Г. Столетова, Н. А. Умова, А. С. Попова и полученные ими результаты. Исключение составила деятельность выдающегося физика-экспериментатора П. Н. Лебедева, создавшего в Москве первую отечественную физическую школу мирового уровня. Из неё вышли П. П. Лазарев, С. И. Вавилов, Н. Н. Андреев, В. К. Аркадьев, Т. П. Кравец и др.

Более масштабно теоретической и экспериментальной физикой в нашей стране стали заниматься после Октябрьской революции. Несмотря на разруху первых послереволюционных лет, научные исследования не прекратились. Именно в это время были определены основные направления, по которым должно было пойти развитие физической науки в России. К ним можно отнести такие организационные меры, как создание крупных научных учреждений, обновление высшей школы, укрепление её связей с наукой, появление объединений учёных.

Первые научные учреждения стали организовываться уже в 1918 г. В декабре этого года по инициативе М. А. Бонч-Бруевича и В. М. Лещинского была основана Нижегородская радиолоборатория. В том же году в Петрограде начал функционировать Рентгенорадиологический институт (будущий Физико-технический институт, ФТИ), организованный А. Ф. Иоффе и М. И. Неменовым, а также Государственный оптический институт (ГОИ) под руководством Д. С. Рождественского. В 1918 г. был также открыт Центральный аэрогидродинамический институт (ЦАГИ) под руководством Н. Е. Жуковского. В Москве П. П. Лазарев на базе Московского городского

народного университета им. А. Л. Шанявского организовал Институт биофизики Наркомздрава (1919 г.).

Из ФТИ впоследствии возникли такие крупные научные центры, как Институт химической физики (руководитель Н. Н. Семёнов), Институт атомной энергии (руководитель И. В. Курчатов), Радиевый институт (руководитель В. И. Вернадский), Ленинградский электрофизический институт (руководитель А. А. Чернышёв), Украинский физико-технический институт (УФТИ, руководитель И. В. Обреимов). Эти институты сыграли системообразующую роль в становлении советской физики, по их образу и подобию создавались институты во многих городах нашей страны.

В СССР сформировался новый тип учёного – организатора науки, руководителя и воспитателя творческой молодёжи, создателя широко известных в мире физических школ. В качестве примеров можно привести школы С. И. Вавилова, А. Ф. Иоффе, И. В. Курчатова, Л. Д. Ландау, Л. И. Мандельштама, Д. С. Рождественского, И. Е. Тамма, Я. Б. Зельдовича и др. Отметим, что научные школы А. Ф. Иоффе и Д. С. Рождественского обеспечили Северной Пальмире научное лидерство, по крайней мере, до середины 1930-х гг. [5].

Во второй половине 1920-х гг. с приходом в Московский университет Л. И. Мандельштама (1925 г.) в нём зародилась новая научная школа. Её участники работали по трём исследовательским программам:

- 1) теории нелинейных колебаний и её применению в радиофизике (Н. Д. Папалекси, А. А. Андронов, А. А. Витт, С. Э. Хайкин, С. М. Рытов, Г. С. Горелик, В. В. Мигулин и др.);
- 2) оптике и спектроскопии (Г. С. Ландсберг, П. А. Бажулин);
- 3) теоретической физике, включающей разработку проблем квантовой механики и ядерной физики (И. Е. Тамм, М. А. Леонтович, С. П. Шубин).

Впоследствии учениками Л. И. Мандельштама (а затем и их учениками) были созданы собственные научные школы. В качестве примера можно привести:

- теоретические школы И. Е. Тамма (С. А. Альтшулер, В. Л. Гинзбург, Л. В. Келдыш, А. Д. Сахаров, Д. А. Киржниц и др.), М. А. Леонтовича (Е. П. Велихов, Б. Б. Кадомцев, М. Л. Левин, Р. З. Сагдеев и др.);
- школу нелинейных колебаний А. А. Андронина (А. В. Гапонов-Грехов, Ю. И. Неймарк, Н. Н. Баутин, Н. В. Бутенин, И. Л. Берштейн), выросшую в современную нижегородскую радиофизическую школу.

В 1934 г. в Москве из Физико-математического института был выделен Физический институт Академии наук СССР (ФИАН). Его руководитель С. И. Вавилов начал привлекать к работе в институте лучших московских физиков. В частности, были приглашены Л. И. Мандельштам и его сотрудники. Вскоре они перенесли свою научную деятельность из Московского университета в ФИАН. В частности, Л. И. Мандельштам, Н. Д. Папалекси

и их ученики, опираясь на материально-технические возможности ФИАН, проводили оригинальные исследования по распространению радиоволн и созданию методов радиоинтерферометрии.

В 1940–1950-е гг. Москва в области физики становится безусловным лидером. В ней сосредотачивается большинство ведущих научных школ, связанных с именами И. Е. Тамма, И. В. Курчатова, Л. Д. Ландау, Н. Н. Семёнова, А. И. Алиханова, И. Я. Померанчука, Н. Н. Боголюбова и др. Помимо четырёх школ-прародительниц², нельзя обойти вниманием теоретическую школу Л. Д. Ландау, которая начала формироваться в УФТИ, а с 1937 г. нашла основное пристанище в ИФП (на базе его теоретического отдела).

Указанные школы-прародительницы можно назвать «супершколами». Для них характерно существование нескольких исследовательских программ. В структуру «супершколы» может входить ряд научных школ. Например, у А. Ф. Иоффе была сначала школа по изучению механических свойств твёрдых тел, а затем школа по физике полупроводников.

Кроме того, «супершкола» появляется в том случае, когда наряду с чисто научными проблемами (у С. И. Вавилова – в области люминесценции, у Д. С. Рождественского – в области спектроскопии, у И. В. Курчатова – в области физики реакторов, а затем УТС и т. д.) перед её лидером возникают грандиозные научно-организационные задачи. У С. И. Вавилова это организация ФИАН, у Д. С. Рождественского – создание ГОИ и оптической промышленности, у И. В. Курчатова – создание атомной промышленности и ядерного оружия.

Приведённый краткий исторический обзор фиксирует некоторые важные вехи на пути формирования первых советских научных школ в физике. Благодаря их деятельности уже в первые послеоктябрьские годы были созданы теоретические и экспериментальные предпосылки для постановки и решения целого комплекса научных задач. В орбите научных интересов советских физиков оказались проблемы атомной физики, радиоактивности, электроники, радиофизики, физики твёрдого тела, оптики и спектроскопии, акустики, биофизики, геофизики.

НАУЧНЫЕ ШКОЛЫ ЗА РУБЕЖОМ

При изучении феномена научных школ и их организации в отечественной науке возникает закономерный вопрос о существовании подобных форм коллективного творчества за рубежом. Научные школы в физике и химии впервые появляются в Европе в XIX в. в связи с формированием этих наук как самостоятельных дисциплин и появлением исследовательских лабораторий. В этом контексте можно вспомнить школу Ю. Либиха, немецкие физические школы А. Кундта, К. Ф. Брауна, В. К. Рентгена, знаменитые школы Э. Резерфорда и Н. Бора.

² Не считая школы П. Н. Лебедева, это научные школы А. Ф. Иоффе, Д. С. Рождественского, Л. И. Мандельштама и С. И. Вавилова.

Любопытно, что лидеры отечественных школ-прародительниц были выходцами из указанных западных научных школ: П. Н. Лебедев – из школы А. Кундта; А. Ф. Иоффе – из школы В. К. Рентгена; Л. И. Мандельштам и Н. Д. Папалекси – из школы К. Ф. Брауна; Л. Д. Ландау считал себя учеником Н. Бора, а П. Л. Капица (хотя и избегал научно-школьной терминологии) – учеником Э. Резерфорда.

История физики XX в. свидетельствует о том, что в СССР и в послевоенные годы научные школы оставались преобладающей формой организации исследований. Однако в западной физике они во многом утратили своё значение (коллективы учёных после решения определённой исследовательской задачи, как правило, распадаются). Нобелевский лауреат, один из основателей проекта LIGO К. Торн, высоко оценивающий советские гравитационные и вообще теоретические школы (прежде всего, школы Я. Б. Зельдовича, Л. Д. Ландау, И. Е. Тамма), интерпретирует эту ситуацию так: «Практически никому в Британии и в Америке не разрешают сидеть на одном месте под крылышком своего родного учителя, даже если ученик весьма талантлив. Напротив, в СССР выдающиеся молодые физики (такие как И. Д. Новиков) обычно остаются рядом со своим преподавателем десять, двадцать, тридцать, а то и более лет. Ведущие советские физики, такие как Зельдович или Ландау, обычно работают в институтах Академии наук, а не в университетах. Их преподавательская нагрузка мала или её вообще нет. Оставляя у себя самых лучших студентов, они выстраивают вокруг себя постоянную, крепко спаянную и мощную группу исследователей...» [6, с. 286].

В отличие от западных стран, в России сделан акцент на стабильности научных коллективов, поэтому научные школы играют ведущую роль в исследовательской работе и в подготовке научных кадров. Эту ситуацию наилучшим образом охарактеризовал академик РАН Г. Е. Месяц: «В России есть научные школы, берущие начало в XIX веке. И можно пофамильно проследить людей – учеников и учителей, – сменяющих друг друга на протяжении столетия. В Америке не так. Там собирается команда под проблему. Проблема решена, люди разбегаются. В таких условиях научную школу не создашь» [7].

Как отметил член-корреспондент РАН Д. Р. Хохлов, «во времена СССР... вокруг руководителей школы формировался устойчивый коллектив единомышленников, способный решать крупные проблемы. Государственная система стимулировала формирование таких школ, что явилось залогом выхода российской физики в лидеры мировой науки. В 90-е гг. многие коллективы научных школ фактически распались» [8, с. 263].

Причины сложившейся ситуации – отсутствие или ограничение финансирования и материально-технической поддержки научных школ, отток учёных в другие отрасли, отъезд специалистов за границу. В связи с этим поддержка научных школ и обеспечение их функционирования являются весьма актуальными задачами.

РАДИОФИЗИКА В ЗЕРКАЛЕ НАУЧНЫХ ШКОЛ

В рамках статьи не представляется возможным рассмотреть деятельность научных школ в разных направлениях физики. Но эффективность научно-школьного подхода можно продемонстрировать, применив его к какому-либо одному разделу этой науки. В качестве примера выберем *радиофизику*. Традиционно под радиофизикой понимают раздел физики, в котором изучают физические основы радиотехники и электротехники. При этом исследуются физические процессы, связанные с электромагнитными колебаниями в радиодиапазоне (интервал частот: 10^4 – 10^{10} Гц): возбуждение, распространение, приём и преобразование частот, а также возникающие при этом взаимодействия электрических и магнитных полей с зарядами в вакууме и в веществе [9].

В силу активной дифференциации радиофизики, интеграционных процессов, активной экспансии её методов в другие области науки и техники в настоящее время принята более общая трактовка этой дисциплины. Радиофизика представляет собой междисциплинарную область знания, в рамках которой исследуются колебания и волны разной физической природы (электромагнитные, звуковые, сейсмические, гравитационные и др.). Предмет радиофизики включает в себя возбуждение колебаний и волн в неравновесных средах и системах, их излучение и распространение, взаимодействие со средой, регистрацию и обработку колебательных и волновых сигналов [10].

Современная радиофизика пронизывает многие сферы человеческой деятельности, её методы используются при исследовании явлений и процессов:

- в астрофизике (изучение космических объектов путём анализа приходящего от них радиоизлучения);
- в планетологии (радиолокация планет и их спутников);
- в дистанционном мониторинге поверхности Земли и акватории Мирового океана (исследование природных сред по собственному и отражённому радиоизлучению);
- в метеорологии (контроль озонового слоя Земли, облачных и грозových фронтов);
- в спутниковой связи, беспроводной связи и телефонии;
- в медицине (ЯМР-томография) и др.

Радиофизические методы широко применяют в народном хозяйстве, быту, ВПК. В нашей стране созданы уникальные радиофизические концерны, которые занимаются разработкой, производством и модернизацией зенитно-ракетного и радиолокационного оборудования, систем разведки и управления. К ним можно отнести такие предприятия ВПК, как ОАО «Концерн “Вега”», ОАО «Морской научно-исследовательский институт радиоэлектроники (МНИИРЭ) “Альтаир”», ОАО «Концерн ПВО “Алмаз-Антей”» и др.

Расширяя и многократно приумножая возможности человека, радиофизика обеспечивает его уверенное продвижение по пути научно-технического прогресса. Радиофизические открытия лежат в основе технических устройств

(лазерные технологии, микроэлектронные устройства), определяющих нашу жизнь в XXI в. Высокий статус радиофизических исследований также подтверждается присуждением Нобелевских премий в этой области [11].

Анализ историко-научного материала показывает, что эволюция отечественной радиофизики тесно связана с деятельностью научных школ [12]. Рассмотрим различные «роли» отечественных научных школ, которые они сыграли (и продолжают играть) в организации и проведении радиофизических исследований:

- 1) зарождение радиофизики как науки;
- 2) создание теоретического фундамента радиофизики;
- 3) формирование новых направлений радиофизических исследований;
- 4) развитие военных и оборонных технологий на основе радиофизических методов;
- 5) образование современных радиофизических центров.

В статье мы кратко рассмотрим результаты деятельности какой-либо одной школы в каждом из указанных пяти направлений. При этом нужно иметь в виду, что в этих направлениях функционировало несколько научно-школьных коллективов.

РОЛЬ № 1. ЗАРОЖДЕНИЕ РАДИОФИЗИКИ

Развитие радиотехники предопределило формирование и развитие радиофизики. Мощный импульс к развитию практически всех основных разделов радиотехники дала научная школа инженерной радиотехники И. Г. Фреймана – основателя первой в России кафедры радиотехники (ЭТИ, 1917 г.) [13]. Многие теоретические положения, разработанные им и его учениками в радиотехнике, стали классическими.

И. Г. Фрейманом была проведена колоссальная работа по систематизации материалов по проектированию и расчёту радиоустройств, включающих в себя достижения как отечественной, так и мировой науки, результаты его собственных теоретических и практических исследований, по формированию современной терминологии в радиотехнике и электронике (именно он ввёл в научный оборот термин «радиовещание»).

Кроме того, им была разработана концепция построения системы радиовооружения ВМФ. Результаты научно-исследовательской работы И. Г. Фреймана и его учеников были реализованы в первой отечественной ламповой системе радиовооружения ВМФ «Блокада-1». Отметим, что в 1948 г. корабельная система радиосвязи «Победа» (развитие систем «Блокада-1» и «Блокада-2») получила Сталинскую премию.

Значительное внимание И. Г. Фрейман уделял педагогической деятельности и подготовке научных кадров. В 1924 г. им был опубликован фундаментальный труд «Курс радиотехники», ставший на протяжении многих лет настольным для отечественных радиоспециалистов. В период с 1917 по 1928 гг. под руководством И. Г. Фреймана защитили дипломы более

30 радиоинженеров, многие из которых стали докторами и кандидатами наук, руководителями и главными инженерами предприятий. «Учителем всех учителей от радиотехники» назвал И. Г. Фреймана историк науки и техники Б. А. Остроумов. Имена выдающихся отечественных учёных, учеников Фреймана, широко известны: это академики АН СССР А. И. Берг, А. А. Харкевич, А. Н. Щукин, члены-корреспонденты АН ССР С. Я. Соколов, В. И. Сифоров и др.

Помимо научной школы И. Г. Фреймана, весомый вклад в зарождение и развитие радиотехники, теории распространения радиоволн, радиовещания внесли также научно-школьные коллективы академиков АН СССР М. В. Шулейкина, А. Л. Минца, Б. А. Введенского. Благодаря их деятельности к 1930–1940 гг. был накоплен обширный экспериментальный и теоретический материал. Его целостная физическая интерпретация оказалась возможной только в рамках более широкой научной дисциплины, которой и стала радиофизика.

РОЛЬ № 2. ФОРМИРОВАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ФУНДАМЕНТА РАДИОФИЗИКИ

Возникновение и развитие радиофизики тесно связаны с разработкой методов теории нелинейных колебаний. Именно на их основе можно было адекватно объяснить процессы, происходящие в электронных лампах, генераторах незатухающих колебаний и других радиотехнических устройствах. Разработка теории нелинейных колебаний и применение её методов к изучению различных радиофизических проблем были осуществлены благодаря деятельности ряда научных школ. Пионером в этом направлении является школа двух академиков АН СССР Л. И. Мандельштама и Н. Д. Папалекси.

В 1922 г. они начали работать в качестве научных консультантов радиолaborатории Треста заводов слабого тока (ТЗСТ). В 1924 г. она была переведена в Ленинград и преобразована в Центральную радиолaborаторию (ЦРЛ). Работая в лаборатории высокочастотной физики ЦРЛ, Папалекси, Мандельштам и их сотрудники приступили к изучению колебательных процессов в регенеративных системах – системах с положительной обратной связью.

В ходе исследований было показано, что явления, аналогичные резонансу в линейных колебательных системах, в нелинейных регенеративных системах должны наблюдаться не только при приближении частоты внешнего воздействия к частоте собственных колебаний системы, но и в том случае, когда частота внешнего воздействия оказывается кратной собственной частоте системы. Это явление было названо резонансом n -го рода. Особенности резонанса n -го рода были использованы для осуществления трансформации частоты в рациональном отношении, в радиоинтерференционных методах, при создании автопараметрического фильтра [14].

В результате исследований Л. И. Мандельштамом, Н. Д. Папалекси и их сотрудниками были разработаны: математический аппарат, адекватный

различным задачам теории нелинейных колебаний, её основные понятия, а также методы решения конкретных радиофизических задач.

В 1934–1947 гг. Папалекси руководил лабораторией колебаний ФИАН. В ней были развёрнуты работы по изучению распространения радиоволн и разработке радиоинтерференционных методов [15]. Одним из первых случаев практического применения разработанных методов стало определение скорости распространения радиоволн вдоль земной поверхности. Выполненные в период с 1934 по 1941 гг. научные работы предоставили ценный экспериментальный материал. Он касался как физической природы распространения радиоволн вдоль суши и морской поверхности, так и определения возможностей и методики использования радиоинтерференции для решения навигационных, гидрографических и геодезических задач. С непревзойдённой до того времени точностью (до $3 \cdot 10^{-4}$ над морем и до $6 \cdot 10^{-4}$ над ровной сушей) была измерена скорость распространения радиоволн.

Цикл работ по радиоинтерферометрии, выполненный научной школой Мандельштама–Папалекси, стал выдающимся достижением в области радиофизики. Радиоинтерференционные методы в геодезии и навигации были впервые применены на практике в нашей стране. Известно, что после Великой Отечественной войны проводка тральщиков, вылавливавших мины в некоторых портах Чёрного моря, производилась с помощью радиоинтерференционного устройства.

В настоящее время радиоинтерференционные методы применяют в исследованиях ионосферы и магнитосферы, для реализации систем наблюдения и контроля параметров орбит искусственных спутников Земли, создания глобальных радионавигационных систем, решения задач локальной радионавигации, геодезии и гидрографии.

При работе в различных научно-исследовательских центрах (ЦРЛ, ЛЭФИ³, ФИАН) и образовательных учреждениях (МГУ, ЛИИ⁴) вокруг Л. И. Мандельштама и Н. Д. Папалекси формировались группы молодых специалистов и аспирантов. Многие из учеников Л. И. Мандельштама и Н. Д. Папалекси впоследствии стали самостоятельными учёными в области теории нелинейных колебаний и радиофизики, а некоторые представители их научной школы создали собственные научные школы (А. А. Андронов, Г. С. Горелик, С. Э. Хайкин, К. Ф. Теодорчик, В. В. Мигулин).

Л. И. Мандельштам, Н. Д. Папалекси и их ученики известны не только как выдающиеся учёные, но и как прекрасные лекторы, организаторы и руководители семинаров. Они воспитывали у студентов умение «физически» мыслить, находить нетривиальные решения поставленных задач, применять выбранные модели к изучению физических явлений и процессов, широко использовать колебательный подход и «нелинейную интуицию». Лекции Л. И. Мандельштама, Н. Д. Папалекси и их последователей представляют собой шедевры педагогического мастерства. Недаром в научный обиход вошли такие понятия, как «мандельштамовская ясность», «гореликовский стиль преподавания».

³ ЛЭФИ – Ленинградский электрофизический институт.

⁴ ЛИИ – Ленинградский индустриальный институт.

Ещё одной гранью творчества обсуждаемой научной школы является значительная просветительская деятельность, проводимая Л. И. Мандельштамом, Н. Д. Папалекси и их учениками. Они были авторами научно-популярных лекций, историко-научных материалов, учебных курсов, ставших настольными для многих поколений физиков и не утративших до сих пор свою актуальность. В качестве примеров можно привести двухтомный «Курс физики» Н. Д. Папалекси, полное собрание трудов Л. И. Мандельштама (в том числе лекции по теории колебаний), учебники «Механика» и «Физические основы механики» С. Э. Хайкина, учебник «Колебания и волны. Введение в акустику, радиофизику и оптику» Г. С. Горелика и др.

Подводя итоги, отметим, что деятельность научной школы Мандельштама–Папалекси обеспечила теоретический и экспериментальный фундамент радиофизической науки, позволила определить её предмет, разработать важнейшие методы, терминологию и методологию исследований в этой области, выработать «нелинейную колебательную культуру». Благодаря этому удалось получить основополагающие результаты не только в теории нелинейных колебаний, но и в таких научных направлениях, как теория автоматического регулирования, оптика, акустика, радиотехника и др.

РОЛЬ № 3. ФОРМИРОВАНИЕ НОВЫХ НАПРАВЛЕНИЙ РАДИОФИЗИКИ

За прошедшие 70 лет в результате проникновения радиофизических методов в разные области науки и техники, а также вследствие интеграционных процессов⁵ появилось множество новых направлений исследований в радиофизике (радиолокация, статистическая радиофизика, радиоспектроскопия). В результате проведённого историко-научного исследования было показано, что значительную роль в их развитии сыграли научные школы.

В качестве примера рассмотрим деятельность научной школы академика АН СССР Ю. Б. Кобзарева [16]. Его работы в значительной степени определили развитие отечественной радиофизики и радиолокации. В 1920–1930-е гг. Кобзаревым был выполнен обширный цикл работ в области радиотехники и теории нелинейных колебаний. Разработанные им теория нелинейных колебаний, близких к гармоническим или квазигармоническим, и методы инженерных расчётов автогенераторов прочно вошли во все вузовские учебники.

Одной из характерных особенностей научной школы Ю. Б. Кобзарева является её ориентация на решение задач, имеющих высокий государственный статус и направленных на создание и введение в эксплуатацию новых

⁵ В этом смысле примечателен так называемый цикл В. А. Зверева (Виктор Анатольевич Зверев – член-корреспондент РАН, один из выдающихся представителей нижегородской радиофизической школы). По воспоминаниям главного научного сотрудника ИПФ РАН В. Ф. Вдовина, «отвечая на его (В. А. Зверева. – В. К.) отмечавшиеся заслуги в развитии радиофизики во время одного из юбилеев, он скромно отметил, что, по сути, не сделал ничего нового, просто переместил методы одного из разделов радиофизики в другой: радиотехники – в акустику, акустики в оптику, а оптики – в радиотехнику».

объектов ВПК. Под руководством Кобзарева была создана первая импульсная радиолокационная станция (РЛС «РУС-2») дальнего обнаружения самолётов. К началу Великой Отечественной войны были сконструированы две модификации «РУС-2» – автомобильная (РЛС «Редут») и перевозимая в упаковках (РЛС «Пегматит»). РЛС «Редут» обеспечивали ПВО при обороне Ленинграда, Москвы и других городов. К 20 сентября 1941 г. была сформирована система круговой обороны Ленинграда, в состав которой входили 11 таких РЛС. С помощью РЛС «Редут» была предотвращена массированная бомбардировка Москвы фашистской авиацией 22 июля 1941 г.

Для развития радиолокационных методов и аппаратуры требовались высококвалифицированные специалисты в этой области. В связи с этим в 1943 г. Кобзареву было поручено организовать в Московском энергетическом институте (МЭИ) на радиотехническом факультете кафедру радиолокации (по соображениям секретности она называлась кафедрой радиотехнических приборов). Под руководством и при непосредственном участии Кобзарева на кафедре радиотехнических приборов в МЭИ были разработаны основополагающие концепции подготовки радиоспециалистов в области радиолокации, созданы основные учебные курсы и хорошо оборудованные лаборатории.

К 1954 г. в лаборатории Кобзарева в НИИ-20⁶ были получены научно-технические результаты, на основе которых была разработана первая в СССР когерентно-импульсная РЛС обнаружения с защитой от пассивных помех – двухкоординатная РЛС дециметрового диапазона волн «Тропа» (П-15). Эта станция позволяла обнаруживать низколетящие цели. В ней была решена проблема выделения сигналов от цели на фоне мощных отражений от подстилающей поверхности, метеообразований, дипольных отражателей, интенсивность которых могла во много раз превосходить полезный сигнал. РЛС «Тропа» была принята на вооружение в 1955 г. и стала самой массовой радиолокационной станцией войск ПВО. Её модификация – РЛС «Дунай» (П-19) – находится на вооружении и в настоящее время.

В 1955 г. Ю. Б. Кобзарев начал работать в Институте радиотехники и электроники (ИРЭ), в котором он возглавил пионерские исследования в области изучения электромагнитных колебаний в СНЧ-диапазоне. Они привели, в частности, к созданию радиотехнической системы надёжного обнаружения ядерных взрывов. Это способствовало заключению в 1963 г. международного соглашения о запрещении ядерных испытаний «в трёх средах».

Большое значение имели также работы научной школы Кобзарева по дистанционному зондированию атмосферы и земной поверхности в СВЧ-диапазоне. Они значительно опережали аналогичные зарубежные исследования и привели к формированию новых перспективных направлений в радиофизике, имеющих большое прикладное значение. Например, Кобзаревым и его учениками (А. Ф. Богомол, А. Е. Башаринов, Б. Г. Кутуза и др.) был выполнен цикл исследований по изучению радиотеплового излучения Земли и естественных случайных низкочастотных полей Земли.

⁶ Сейчас Всероссийский научно-исследовательский институт радиотехники, ВНИИРТ.

Итак, благодаря работам научной школы Ю. Б. Кобзарева были созданы теоретические и экспериментальные основы для появления и развития радиолокации как самостоятельного научно-технического направления. Это привело к тому, что радиолокационные методы активно применяют в военных технологиях, навигации, метеорологии, экологическом мониторинге, космических исследованиях.

РОЛЬ № 4. РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ, ВОЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Одной из особенностей деятельности научных радиофизических школ является акцент на проведении исследований, направленных на развитие технологий передачи информации, имеющих большое значение для ВПК. Проиллюстрируем данное утверждение на примере научной школы академика АН СССР А. Л. Минца [17].

Его исследования всегда отличала практическая и инженерная направленность. А. Л. Минцем и его сотрудниками были спроектированы и построены уникальные по своим характеристикам радиовещательные станции: ВЦСПС, радиостанция им. Коминтерна, РВ-96, Куйбышевская радиостанция и др. При разработке нового радиотехнического объекта Минц предлагал инновационные идеи и разработки, в частности, метод частотной манипуляции, метод сеточной модуляции, блоковую систему, мощные разборные генераторные лампы и др., обеспечившие решение сложнейших научно-технических задач.

Приведём высказывание Л. И. Мандельштама: «А. Л. Минц является одним из самых крупных наших радиоспециалистов. ...Им спроектированы и построены все мощные радиовещательные станции СССР. Пять станций по 100 кВт и сверхмощная в 500 кВт. При проектировании и руководстве строительством как этих станций, так и... ряда других типов передатчиков ему приходилось находить новые решения для преодоления тех или иных трудностей, причём он проявил исключительное умение и изобретательность» [18, л. 1].

В 1946 г. для развития в СССР фундаментальных и прикладных исследований в области ядерной физики, физики элементарных частиц и плазмы и с целью создания ядерного оружия при ФИАН была создана Лаборатория № 11. Научное руководство всем комплексом работ по атомной проблеме в нашей стране возлагалось на И. В. Курчатова. В марте 1943 г. он был назначен начальником Лаборатории № 2 АН СССР.

Для скорейшей реализации Атомной программы СССР И. В. Курчатов организовал работы по проектированию и сооружению ускорителей для исследований элементарных частиц. В результате в Лаборатории № 2 был создан радиотехнический отдел во главе с А. Л. Минцем и физический отдел под руководством М. Г. Мещерякова.

В 1947 г. Лаборатория № 11 была переведена из ФИАН в Лабораторию № 2. По соображениям секретности Лаборатория № 2 была переименована в

Лабораторию измерительных приборов АН СССР (ЛИПАН, ныне – Российский научный центр «Курчатовский институт»), а отдел радиоаппаратуры получил сокращённое обозначение ОРЛИП. В 1951 г. на базе ОРЛИП была организована Радиотехническая лаборатория АН СССР (РАЛАН). В 1957 г. на базе РАЛАН был открыт Радиотехнический институт (РТИ) АН СССР. Он стал ведущим отечественным радиофизическим центром, в котором выполнялись работы по созданию ускорителей заряженных частиц и радиолокационных комплексов.

Основу научной школы А. Л. Минца в области создания радиоэлектронных систем для ускорителей заряженных частиц составил коллектив талантливых учёных-радиотехников и инженеров (М. И. Басалаев, И. Х. Невяжский, З. И. Модель и др.), работавших вместе с ним над проектированием и строительством радиовещательных станций. В результате под руководством Минца в РТИ были разработаны радиоэлектронные системы для таких отечественных ускорителей заряженных частиц, как фазотрон на 680 МэВ, синхрофазотрон на 10 ГэВ, протонный синхротрон на 7 ГэВ, кольцевой ускоритель протонов на энергию 76 ГэВ и др.

А. Л. Минцем и его коллегами были предложены оригинальные научно-технические решения, например, высокочастотные схемы, программное управление частотой ускоряющего напряжения, способ формирования вращающихся электронных колец, модель «кибернетического ускорителя» и др. Отметим, что эти разработки также обладали высоким государственным статусом, так как они выполнялись в рамках Атомной программы СССР.

Расскажем ещё об одном направлении научного творчества школы А. Л. Минца. Речь пойдёт о работах по созданию систем ракетно-космической обороны нашей страны. В июне 1950 г., после начала войны в Корее, опасность полномасштабного военного конфликта между сверхдержавами резко возросла, и потребовалось обеспечить комплексную защиту Москвы от возможных массированных воздушных атак.

В 1950 г. И. В. Сталин поставил задачу создать систему ПВО Москвы. К работе над этим проектом были привлечены ведущие отечественные специалисты, в том числе академики АН СССР А. А. Расплетин, А. Н. Щукин и А. Л. Минц. Техническое руководство испытаниями системы С-25 возглавил Расплетин, его заместителем был Минц. В 1955 г. система С-25 была принята на вооружение. Она состояла из 22 РЛС дальнего обнаружения, 56 ЗРК, расположенных двумя кольцами вокруг Москвы, технических баз и командных пунктов управления. Система С-25 стала первым принятым в СССР на вооружение образцом зенитного управляемого ракетного оружия. Дальнейшим развитием идей, заложенных в системе С-25, стало создание ЗРК следующих поколений – С-75, С-125, С-200, С-300, С-400.

К 1960-м гг. противоречия в геополитике сверхдержав существенно обострились (достаточно вспомнить Карибский кризис 1962 г.). В связи с наращиванием ракетно-ядерного потенциала и угрозой его применения стало ясно, что если США и страны НАТО получат преимущество в области создания информационных систем и систем управления, обеспечивающих глобальный контроль в возможном военном конфликте, то риск ракетно-

ядерной войны резко возрастёт. Понимая это, в 1954 г. правительство СССР поручает РАЛАН разработать предложения по созданию системы ПРО Москвы. В её состав должны входить мощные РЛС, позволяющие на большом расстоянии (порядка нескольких тысяч км) обнаружить ракету противника и с высокой точностью определить её координаты. В 1956 г. вышло постановление ЦК ВКП(б) и Совета Министров СССР «О противоракетной обороне». В соответствии с ним А. Л. Минц был назначен одним из главных конструкторов РЛС дальнего обнаружения межконтинентальных баллистических ракет.

С этого времени коллектив, возглавляемый Минцем, становится активным участником разработок уникальных по своим техническим характеристикам РЛС. При этом радиолокационную тематику возглавили ученики Минца М. М. Вейсбейн и А. Я. Брейтбарт. Для решения поставленной задачи были развёрнуты масштабные научные исследования и экспериментальные работы по созданию подобных РЛС. В частности, были проведены эксперименты по наблюдению и измерению эффективной площади рассеяния головных частей баллистических ракет в районе их падения, на основе которых была проведена очень важная работа по выбору оптимального диапазона радиоволн. Им оказался метровый диапазон радиоволн, используемый для локации малоразмерных целей на сверхбольшой дальности.

В 1956 г. А. Л. Минцем был предложен проект системы, получившей название Центрального варианта ПРО г. Москвы. Его общее руководство осуществлял М. М. Вейсбейн. Проект предусматривал создание РЛС двух типов: ЦСС-30, работающей на частоте 1 ГГц (её разработка в 1960 г. была прекращена), и ЦСО-П, работающей на частоте 150 МГц. В 1961 г. успешно завершились испытания станции ЦСО-П.

В конце 1950-х гг. академиком АН СССР В. Н. Челомеем была выдвинута идея создания системы противоспутниковой обороны. К созданию РЛС для этой системы он привлёк А. Л. Минца, который поручил своему сотруднику Ю. В. Поляку создать проект системы контроля космического пространства (ККП). В 1962 г. вышло правительственное постановление о создании системы ККП на основе РЛС ЦСО-П. На базе ЦСО-П в 1963 г. были разработаны РЛС «Днепр» и комплекс обнаружения спутников (ОС) с двумя узлами ОС-1 и ОС-2, которые были расположены в двух регионах Сибири на расстоянии примерно 2000 км друг от друга. Эти станции состояли из восьми секторных РЛС и позволяли с высокой вероятностью обнаруживать спутники и измерять параметры их движения. В 1966 г. РЛС «Днепр» была модернизирована (её модификацией стала РЛС «Днепр-М»), в результате чего длительность зондирующего сигнала была увеличена с 200 мкс до 800 мкс. Это позволило увеличить дальность действия до 6000 км. На основе РЛС «Днепр-М» была создана РЛС «Днепр».

В 1963 г. А. Л. Минц создал в РТИ лабораторию по разработке РЛС для высокоточного обнаружения и сопровождения баллистических ракет. Это стало началом разработки РЛС «Дон-2Н». При разработке и создании в РТИ последующих РЛС (серий «Днепр», «Дарьял» и «Дон») было использовано научно-техническое наследие А. Л. Минца, при участии которого эти проек-

ты зарождались. Указанные РЛС и сегодня находятся на боевом дежурстве, выполняя свои функции в современных системах предупреждения о ракетном нападении (ПРН), ККП и ПРО.

РОЛЬ № 5. ОБРАЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ РАДИОФИЗИЧЕСКИХ ЦЕНТРОВ

Совсем не обязательно, что научная школа в конечном счёте распадается. По мнению ряда историков науки, творческий цикл школы охватывает примерно 20–25 лет. Возможны ситуации, при которых она под действием различных факторов трансформируется в другие научные школы или новые формы организации науки (НИИ, научно-производственные кластеры, научно-образовательные центры).

В качестве примера такого преобразования рассмотрим деятельность радиофизической школы МПГУ [19]. Её становление тесно связано с именем Н. Н. Малова – известного учёного, автора работ в области физики СВЧ-колебаний. Выбор данного направления исследований обусловлен тем, что он был одним из учеников В. К. Аркадьева, который, в свою очередь, входил в научную школу П. Н. Лебедева. Её представители разрабатывали методы генерации и исследования электромагнитных волн миллиметрового диапазона.

В годы войны тематика работ Н. Н. Малова была связана с обороной страны. Именно в это время под его руководством были получены результаты, которые затем легли в основу теории распространения СВЧ-колебаний в волноводах. После создания в МПГУ⁷ Проблемной радиофизической лаборатории (ПРФЛ) Малов в течение 10 лет был её научным руководителем. Он воспитал целую плеяду учеников, среди которых одним из наиболее талантливых был Е. М. Гершензон [20].

В 1950-х гг. в вузах СССР формировались коллективы проблемных лабораторий, работающих под эгидой ведущих министерств ВПК. В это время коллектив кафедры общей и экспериментальной физики (КОЭФ) МПГУ пополнили молодые талантливые учёные (прежде всего В. С. Эткин и Е. М. Гершензон). По их инициативе и при участии Н. В. Александрова (впоследствии первого заместителя министра просвещения РСФСР, 1964–1980 гг.) в 1959 г. на физическом факультете МГПИ открылась ПРФЛ.

Научная школа КОЭФ всегда работала над самыми актуальными проблемами радиофизики в стране и в мире. В конце 1950-х – начале 1960-х гг. её сотрудниками был получен выдающийся научно-технический результат. Под руководством Е. М. Гершензона и В. С. Эткина был создан первый в СССР малошумящий параметрический усилитель СВЧ на полупроводниковых диодах, предложены основы его расчёта, сконструированы и реализованы несколько типов усилителей, ставших базовыми для промышленности. Кроме того, Е. М. Гершензоном и В. С. Эткиным была написана первая в нашей стране монография по полупроводниковым параметрическим усилителям [21].

⁷ Тогда МГПИ им. В. И. Ленина.

Исследования параметрических устройств переросли в цикл работ по созданию сверхмаломощных СВЧ-приёмников – радиометров, предназначенных для радиоастрономии и дистанционного мониторинга Земли и Мирового океана. Эти работы проводились совместно с Институтом космических исследований (ИКИ) АН СССР. Один из отделов этого института был образован сотрудниками ПРФЛ во главе с В. С. Эткиным. Фактически он создал новое научное направление – дистанционное зондирование поверхности Земли из космоса радиофизическими методами.

Главной задачей стало изучение поверхности океана с целью выявления внутриокеанических процессов по их поверхностным проявлениям. Исследования океана потребовали создания ряда уникальных комплексов радиометров для самолётных и корабельных исследований подстилающих поверхностей. Разработанные радиометры успешно использовались в ряде глобальных экспериментов по мониторингу подстилающих поверхностей. К ним относится единственный в мировой практике (на тот момент) эксперимент по изучению морского волнения с борта судна с помощью комплекса криогенных радиометров.

В 1992 г. В. С. Эткину удалось запустить масштабный российско-американский проект JUSREX'92. При его проведении использовались самолёты-лаборатории ТУ-134СХ, Р-3 и DC-8. Исследования проводились в Атлантическом океане к юго-востоку от Нью-Йорка, в шельфовой экономической зоне США. В эксперименте участвовало также научно-исследовательское судно «Академик Иоффе», на котором работали отряды ИКИ, ИПФ, Института океанологии РАН и группа сотрудников Лаборатории прикладной физики (Университет Джонса Хопкинса, Балтимор, США), руководимая Дж. Апелем и Р. Чепманом. Впервые в истории российско-американского сотрудничества российский самолёт-лаборатория базировался на территории США. Кроме того, к эксперименту был привлечён российский спутник, снабжённый радаром с синтезированной апертурой.

Основная цель эксперимента JUSREX'92 состояла в исследовании взаимосвязи между параметрами спектра шероховатости морской поверхности, величиной обратного рассеяния радиолокационного сигнала и яркостной температуры в микроволновом диапазоне при различных метеорологических условиях. Другая цель заключалась в сравнении радиометрических, радарных, оптических и контактных методов исследования океана. Полученные результаты оказали мощное влияние на развитие методов исследования морской поверхности. В частности, было показано, какой суммарный эффект может дать совместное использование радиометрических и радиолокационных данных при дистанционном зондировании океана.

Продолжим обсуждение результатов деятельности ПРФЛ. Спектроскопические исследования полупроводников привели Е. М. Гершензона и его сотрудников к необходимости аналогичного изучения сверхпроводников и сверхпроводниковых структур. Это направление возглавил ученик Е. М. Гершензона Г. Н. Гольцман. В настоящее время он является заведующим КОЭФ и научным руководителем Учебно-научного радиофизического центра (УНРЦ), пришедшего на смену ПРФЛ.

Наиболее важными достижениями ПРФЛ стали обнаружение, теоретическое обоснование и детальное изучение эффектов, связанных с разогревом электронов в сверхпроводниках, находящихся в резистивном состоянии. Наряду со значительной фундаментальной ценностью указанный эффект находит многочисленные варианты практического применения. На его основе был разработан смеситель на горячих электронах (1990 г.). Только через три года появилась первая конкурирующая публикация из Йельского университета (США) о сверхпроводниковом смесителе на горячих электронах с диффузионным каналом охлаждения.

В настоящее время к одному из магистральных направлений исследований радиофизической школы МПГУ относятся неравновесные явления и пространственно неоднородные процессы в сверхпроводниковых наноструктурах – ультратонких плёнках толщиной в несколько атомных слоёв, узких сверхпроводящих полосках и мостиках. Полученные при этом результаты послужили основой ряда прикладных проектов. Один из них – создание рекордных по характеристикам малошумящих и широкополосных смесителей терагерцевого диапазона частот, требующих малой мощности гетеродина, а также однофотонных инфракрасных и оптических детекторов, сочетающих пикосекундное быстроедействие, высокую квантовую эффективность и рекордно малое число ложных срабатываний. Это позволяет применить на практике приборы, созданные на базе сверхпроводниковых наноструктур в ряде областей науки и техники:

- в терагерцевой астрономии (исследование звездообразования в молекулярных облаках, пылевых туманностях, остатках сверхновых звёзд);
- в радиофизике (дистанционное зондирование верхних слоёв атмосферы в субмиллиметровом диапазоне для мониторинга гетерогенных химических реакций и наличия примесей-катализаторов, предположительно отвечающих за состояние озонового слоя и глобальное потепление климата);
- в медицине (разработка метода сверхточного определения содержания свободной и связанной воды в глазном яблоке, что позволит офтальмологам проводить диагностику таких заболеваний, как близорукость и изменения в роговице (кератоконус), а также делать прогнозы о характере и последствиях оперативных вмешательств);
- в электронике (разработка приборов для неразрушающей диагностики комплементарной структуры металл-оксид-полупроводник сверхбольших интегральных схем (КМОП СБИС) путём детектирования излучения горячих электронов в переключающихся полевых транзисторах);
- в фотонике (разработка оптических квантовых микросхем, содержащих множество разных элементов на одном чипе, – сверхпроводниковых детекторов, счётчиков фотонов, источников излучения, фильтров, управляемых интерферометров для квантовых компьютеров и квантовых коммуникаций).

В 2013 г. в МПГУ была создана лаборатория квантовых детекторов, в которой разрабатываются технологии создания ультратонких сверхпроводниковых плёнок для последующего производства на их основе быстродействующих и высокочувствительных детекторов электромагнитного излучения видимого, инфракрасного и терагерцевого диапазонов. Руководителем лаборатории квантовых детекторов (в рамках мегагранта Правительства Российской Федерации) является Т. Клапвик – специалист в области неравновесной сверхпроводимости, профессор квантовых наносистем Технологического университета г. Делфт (Нидерланды).

Сотрудники лаборатории работают над решением проблемы оптимального выбора сверхпроводящих материалов для создания чувствительных детекторов электромагнитного излучения инфракрасного диапазона. Актуальной задачей является создание многоэлементных однофотонных детекторов ближнего и дальнего инфракрасного диапазона с низким уровнем шума при температурах выше 1 К. Перед сотрудниками радиофизической школы МПГУ стоит задача создания матрицы однофотонных детекторов, которые будут основой системы построения изображения от однофотонных источников в инфракрасном диапазоне.

В последние годы сотрудниками научной школы проводятся исследования, направленные на создание действующего прототипа квантово-криптографической системы связи (предельная дальность 320 км) с использованием волноводных сверхпроводящих однофотонных детекторов (WSSPD – Waveguide Superconducting Single Photon Detectors) на чипе. Целью исследований является создание лабораторной модели системы распределения квантового ключа с поляризационным кодированием сигнала и использованием ловушечных состояний. Работы выполняются в сотрудничестве с группой из Технологического института г. Карлсруэ, возглавляемой В. Пернайсом.

Радиофизическая школа МПГУ также работает над созданием технологии передачи квантового ключа с помощью спутника: из одной точки на Земле на спутник отправляется оптический сигнал с информацией о ключе, далее он отражается от зеркала на спутнике и попадает в другую точку на Земле. Другими словами, квантовый ключ передаётся на большое расстояние в свободном пространстве. Подобная технология пока реализована только в Китае.

Квантовые ключи можно использовать для передачи конфиденциальной информации о финансах, например, из одного банка в другой. Данная технология может оказаться эффективной и для обмена информацией с движущимися объектами, в частности в железнодорожных перевозках. Как отмечает Г. Н. Гольцман, «в этом смысле железнодорожный состав аналогичен спутнику. Состав движется, проходит мимо станции с большой скоростью, не останавливается. За это время он получает квантовый ключ или много ключей – и на станции, и по дороге. Таким образом, можно передавать информацию светом в свободном пространстве другому потребителю. Такую технологию пока никто не сделал, но это представляется возможным» [22].

Расскажем теперь о специфике подготовки научных кадров в обсуждаемой научной школе. В коллективе развиваются традиции многоступенча-

той подготовки научных кадров, заложенные Е. М. Гершензоном. Профессора и доценты привлекают к научным исследованиям студентов. Лучшие из студентов и магистров направляются в аспирантуру и привлекаются к выполнению научно-исследовательских работ. Аспиранты и магистранты попадают в коллектив, где под руководством опытных научных сотрудников осваивают современные методы исследований сверхпроводниковых наноструктур, технологические процессы их производства, овладевают методами обработки экспериментальных данных и теоретического анализа. Параллельно идёт разработка фундаментальной или прикладной задачи под руководством профессора. Современная традиция, сложившаяся в научной школе, – организация зарубежных стажировок для молодых учёных и аспирантов в научно-исследовательских центрах (Гарвардском, Бостонском университетах, Институте планетных исследований в Берлине и др.).

В завершение отметим, что за более чем полувековой период деятельности радиофизической школы МПГУ из её стен вышли известные учёные-радиофизики. Среди них доктора физико-математических наук – Ю. А. Гурвич, Л. Б. Литвак-Горская, А. П. Мельников, В. А. Ильин, Ю. Л. Хотунцев, А. Н. Мансуров, И. А. Струков и др.

Признанием выдающихся научных достижений радиофизической школы МПГУ стало присуждение в 2017 г. Г. Н. Гольцману престижной международной премии IEEE (The Institute of Electrical and Electronics Engineers – Институт инженеров электроники и электротехники). Она была вручена ему за изобретение и продвижение болометрического смесителя на горячих электронах, сверхпроводящего однофотонного детектора, а также за вклад в понимание процессов релаксации энергии электронов в примесных сверхпроводящих плёнках. До сих пор российские учёные этой премии не получали.

Анализ деятельности существовавших или активно функционирующих в настоящее время научных школ показывает, что они могут выступать в качестве «центров кристаллизации» современных радиофизических центров. Например, история возникновения кафедры физики колебаний МГУ, Института прикладной физики РАН, Научно-исследовательского радиофизического института, Радиоастрономического института Национальной академии наук Украины, ПРФЛ и др. напрямую связана с научными школами (соответственно, научной школой Л. И. Мандельштама–Н. Д. Папалекси, А. А. Андропова, Д. А. Рожанского, В. К. Аркадьева). Традиции, научно-исследовательский подход и стиль работы этих школ были унаследованы сотрудниками научных, научно-производственных и образовательных учреждений в области радиофизики.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье на примере истории отечественной радиофизики мы постарались показать, насколько многогранной может быть деятельность научно-школьных коллективов. Эти неформальные объединения учёных сыграли и продолжают играть важные роли в развитии отечественной фундаментальной

науки⁸. Особенности организации и функционирования научных школ позволяют выращивать в их стенах первоклассных специалистов, которые могут похвалиться серьёзными научными достижениями, открытиями нобелевского уровня и успешно конкурировать с зарубежными коллегами.

Итак, научно-школьный подход к изучению истории отечественной радиофизики (и не только) является эффективным методом исследования. Как отметил один из ярких представителей радиофизической школы МПГУ, историк науки В. А. Ильин, «современная отечественная радиофизическая наука – может быть, самое важное наследие, которое мы приобрели от деятельности радиофизических школ... Бесспорно, это творческое и культурное наследие нужно сохранить и эффективно использовать... при организации и проведении радиофизических исследований в XXI веке» [23].

Однако важно понимать, что научная школа представляет собой историко-научную модель. История любого неформального научного коллектива шире этого понятия. Кроме того, нельзя редуцировать историю развития какого-либо научного направления только к эволюции соответствующих научных школ. Вместе с тем, используя научно-школьный подход, можно описать не только научные результаты, полученные той или иной школой, но и обнаружить тенденции, закономерности развития определённой научной области. Это позволяет не только систематизировать накопленный материал, связанный с деятельностью научной школы, но и выявить белые пятна в истории науки.

На наш взгляд, важно сохранить существующие продуктивные научные школы, обеспечить им необходимую финансовую, материально-техническую и правовую помощь, использовать положительный опыт их деятельности при организации научных учреждений. Научно-школьное объединение учёных может стать кадровой основой лабораторий, исследовательских центров, в том числе в рамках грантов Правительства Российской Федерации.

При этом следует поощрять стажировки молодых учёных в ведущих зарубежных научных центрах, их участие в международных научных проектах и научных коллаборациях. Но отечественные учёные не должны терять связей с научной школой. Так, научная школа члена-корреспондента РАН В. Б. Брагинского, сложившаяся на кафедре физики колебаний МГУ, работает в области прецизионных и квантовых измерений, изучения шумов в гравитационно-волновых антеннах. Вместе с другими исследовательскими группами она входит в коллаборацию LIGO⁹.

В 2017 г. основатели проекта LIGO К. Торн, Б. Бэриш и Р. Вайсс были удостоены Нобелевской премии по физике «за решающий вклад в детектор LIGO и наблюдение гравитационных волн». Серьёзным образом участвуя в

⁸ Необходимо отметить, что многие ведущие научные радиофизические школы не распались в 1990-х гг. Они продолжают успешно функционировать в настоящее время. Помимо рассмотренной радиофизической школы МПГУ следует назвать нижегородскую радиофизическую школу, научную школу Д. И. Трубецкова в области электроники, СВЧ-радиофизики и нелинейной динамики, научный коллектив кафедры физики колебаний МГУ и др.

⁹ В настоящее время руководителем московской группы коллаборации LIGO является представитель научной школы В. Б. Брагинского В. П. Митрофанов.

коллаборации LIGO, научная школа В. Б. Брагинского «Прецизионные и квантовые измерения» (В. П. Митрофанов, Ф. Я. Халили, С. П. Вятчанин, И. А. Биленко, М. Л. Городецкий и др.) сохраняет свою национальную идентичность и высокий научный статус.

В заключение приведём высказывание выдающегося учёного-радиофизика, академика РАН А. В. Гапонова-Грехова. Его авторитетное мнение весьма актуально в настоящее время. Согласно А. В. Гапонову-Грехову, «наука бывшего СССР... была сильна в силу того, что... во многом сохранила ту структуру и традиции, в которых зародилась великая европейская наука начала XX века... Речь идёт о той структуре науки, которая базируется на существовании и развитии научных коллективов и школ. <...> Это обстоятельство является сейчас одной из причин той высокой оценки, которую имеют наши научные результаты и головы за рубежом» [1, с. 74].

Комментарии здесь излишни. Ясно одно – государство и научное сообщество должны уделять значительно больше внимания поддержанию и развитию научных школ в нашей стране.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гапонов-Грехов А. В.* Теорема существования. Размышления о науке и обществе. Н. Новгород: ИПФ РАН, 2001. 159 с.
2. Лауреату Нобелевской премии по физике Жоресу Алфёрову исполняется 85 лет [Электронный ресурс] // ITMO.NEWS. 2015. 13 марта. URL: <http://news.ifmo.ru/ru/news/4662/> (дата обращения: 03.05.2020).
3. *Визгин В. П., Кессених А. В.* Научно-школьный подход к истории отечественной физики // История науки и техники. 2016. № 1. С. 3–23.
4. К исследованию феномена советской физики 1950–1960-х гг. Социокультурные и междисциплинарные аспекты / Сост. и ред. В. П. Визгин, А. В. Кессених, А. В. Томилин. СПб.: РХГА, 2014. 560 с.
5. *Визгин В. П.* Физика в Москве // Москва научная. М.: Янус-К, 1997. С. 185–211.
6. *Торн К.* Чёрные дыры и складки времени: Дерзкое наследие Эйнштейна. М.: Физматлит, 2007. 616 с.
7. *Месяц Г. А.* О научных школах в России и США // Огонёк. № 28. 2003. 10 августа.
8. *Хохлов Д. Р.* О проблемах физической науки в современных условиях // Труды Международной научно-образовательной конференции «Наука в вузах: математика, физика, информатика. Проблемы высшего и среднего профессионального образования». М.: РУДН, 2009. С. 263–279.
9. Физика: Большой энциклопедический словарь / Гл. ред. А. М. Прохоров. М.: Большая Российская энциклопедия, 1999. 944 с.
10. *Литвак А. Г.* Золотой век нижегородской науки (интервью с С. П. Капицей) // В мире науки. 2012. № 4. С. 8–13.
11. *Кудрявцев В. В., Ильин В. А.* История радиофизики в контексте Нобелевской премии // История науки и техники. 2009. № 10. С. 8–25.
12. *Кудрявцев В. В.* История отечественной радиофизики как эволюция научных школ // EUROPEAN RESEARCH: сборник статей XIV Международной научно-прак-

тической конференции. В 2 ч. Ч. 1. Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». 2018. С. 11–14.

13. *Золотинкина Л. И.* Профессор Имант Георгиевич Фрейман – основатель отечественной научно-инженерной школы радиотехники // История науки и техники. 2016. № 2. С. 73–95.

14. *Печёнкин А. А. Л. И.* Мандельштам. Исследование, преподавание и остальная жизнь. М.: Логос, 2011. 334 с.

15. *Папалекси Н. Д.* О некоторых применениях радиоинтерференционных методов // Известия АН СССР. Серия физическая. 1938. № 4. С. 539–550.

16. *Кобзарев Ю. Б.* Создание отечественной радиолокации: научные труды, мемуары, воспоминания / Сост. Б. Г. Кутуза, Г. Ю. Кобзарев. М.: Наука, 2007. 503 с.

17. *Тимошенко Д. А.* «Мне с детских лет был близок Дон Кихот...». М.: ОАО «РТИ имени академика А. Л. Минца», 2015. 440 с.

18. Архив РАН. Ф. 1794. Оп. 1. № 33. Л. 1. 1 об.

19. *Гольцман Г. Н., Чулкова Г. М.* Научная радиофизическая школа Московского государственного педагогического университета // История науки и техники. 2016. № 1. С. 80–89.

20. *Кудрявцев В. В., Гольцман Г. Н., Ильин В. А.* Радиофизика в истории Московского государственного педагогического университета // История науки и техники. 2009. № 9. С. 10–23.

21. *Эткин В. С., Гершензон Е. М.* Параметрические системы СВЧ на полупроводниковых диодах. М.: Советское радио, 1964. 352 с.

22. *Гусаченко Н.* Квантовые коммуникации: что это и зачем они РЖД? [Электронный ресурс] // РЖД-Партнёр. 2019. 15 июля. URL: <https://www.rzd-partner.ru/zhd-transport/comments/kvantovye-kommunikatsii-chto-eto-i-zachem-oni-rzhd/> (Дата обращения: 03.05.2020).

23. *Кудрявцев В. В.* История отечественной радиофизики: Зарождение радиофизики как науки. Кн. 1. М.: URSS, 2020 (в печати).

Статья поступила в редакцию 07.04.2020.

THE ROLE OF SCIENTIFIC SCHOOLS IN THE ORGANIZATION OF NATIVE RADIOPHYSICS

Vasily V. Kudryavtsev

Moscow State Pedagogical University, Institute of Physics, Technology and Information Systems, Moscow, Russian Federation

kudv-v@yandex.ru

DOI: 10.19181/smtp.2020.2.2.7

Galina M. Chulkova

Moscow State Pedagogical University, Institute of Physics, Technology and Information Systems, Moscow, Russian Federation

chulkova@rplab.ru

Abstract. The article describes the scientific-school approach as a method of historical and scientific research. The value of the scientific-school approach in relation to the study of domestic science is revealed. Based on the consideration of new «dimensions» (or aspects) of science, a researcher can get a panoramic picture of its development in a scientifically-substantive, scientific-organizational, scientific-educational, personal-psychological and socio-cultural «dimensions». A brief historical review is given, fixing some important milestones on the path to the formation of the first Soviet scientific schools in physics. These schools played a fundamental role in the organization and development of physical science in our country after the October Revolution. The reasons for the loss of the role of scientific schools in the organization of modern scientific research abroad are discussed. It is shown that the evolution of Russian radiophysics is closely related to the activities of a number of scientific schools. Various «roles» of scientific schools that they played in the emergence of native radiophysics, the creation of its theoretical foundation, the formation of new areas of radiophysical research, the development of information transfer technologies, military technologies with a significant radiophysical component, the formation of modern educational and scientific radiophysical centers are examined. These «roles» may be useful in organizing research in our country.

Keywords: organization of scientific research; scientific schools; scientific-school approach; «measurements» of scientific schools; radiophysics; scientific schools in native radiophysics.

For citation: Kudryavtsev, V. V. and Chulkova, G. M. (2020). The role of scientific schools in the organization of native radiophysics. *Science management: theory and practice*. Vol. 2. No. 2. Pp. 150–177.

DOI: 10.19181/smtp.2020.2.2.7

REFERENCES

1. Gaponov-Grekhov, A. V. (2001). *Teorema sushchestvovaniya. Razmyshleniya o nauke i obshchestve* [Existence theorem. Reflections on Science and Society]. N. Novgorod: IAP RAS. 159 p. (In Russ.).
2. Laureatu Nobelevskoi premii po fizike Zhoresu Alferovu ispolnyaetsya 85 [Nobel Laureate in Physics Zhores Alferov turns 85]. (2015). [Electronic resource]. *ITMO News*. March 13. URL: <http://news.ifmo.ru/ru/news/4662/> (accessed 03.05.2020). (In Russ.).
3. Vizgin, V. P. and Kessenich, A. V. (2016). Nauchno-shkol'nyi podkhod k istorii otechestvennoi fiziki [Scientific-school approach to the history of Russian physics]. *Istoriya nauki i tekhniki*. No. 1. Pp. 3–23. (In Russ.).
4. *K issledovaniyu fenomena sovetskoy fiziki 1950–1960-kh gg. Sotsiokul'turnyye i mezhdistsiplinarnyye aspekty* [To the study of the phenomenon of Soviet physics of the 1950–1960s. Sociocultural and interdisciplinary aspects]. (2014). Ed. by Vizgin, V. P., Kessenich, A. V., Tomilin, A. V. St. Petersburg: RCAH publ. 560 p. (In Russ.).
5. Vizgin, V. P. (1997). Fizika v Moskve. [Physics in Moscow]. In: *Moskva nauchnaya*. Moscow: Yanus-K publ. Pp. 185–211. (In Russ.).
6. Torn, K. (2007). *Chernyye dyry i skladki vremeni: Derzkoye naslediyе Eynshteyna* [Black Holes and the Creases of Time: Einstein's Defiant Heritage]. Moscow: Phismatlit publ. 616 p. (In Russ.).
7. Mesyats, G. A. (2003). O nauchnykh shkolakh v Rossii i SSHA [About scientific schools in Russia and the USA]. *Ogonek*. No. 28. 10 Aug. (In Russ.).

8. Khokhlov, D. R. (2009). O problemakh fizicheskoi nauki v sovremennykh usloviyakh [On the problems of physical science in modern conditions]. In: *Proceedings of the International Scientific and Educational Conference “Science at universities: mathematics, physics, computer science. Problems of higher and secondary vocational education”*. Moscow: RUDN publ. Pp. 263–279. (In Russ.).
9. *Fizika: bol'shoy entsiklopedicheskiy slovar'* [Physics: a large encyclopedic dictionary]. (1999). Ed. by A. M. Prokhorov. Moscow: Bol'shaya Rossiyskaya entsiklopediya publ. 944 p. (In Russ.).
10. Litvak, A. G. (2012). Zolotoi vek nizhegorodskoi nauki (interv'y u S. P. Kapitsei) [The Golden Age of Nizhny Novgorod Science (interview with S. P. Kapitza)]. *V mire nauki*. No. 4. Pp. 8–13. (In Russ.).
11. Kudryavtsev, V. V. and Il'in, V. A. (2009). Istoriya radiofiziki v kontekste Nobelevskoi premii [The history of radiophysics in the context of the Nobel Prize]. *Istoriya nauki i tekhniki*. No. 10. Pp. 8–25. (In Russ.).
12. Kudryavtsev, V. V. (2018). Istoriya otechestvennoi radiofiziki kak ehvolyutsiya nauchnykh shkol [The history of radiophysics as an evolution of scientific schools]. *EUROPEAN RESEARCH: collection of articles of the XIV International Scientific and Practical Conference*. In 2 parts. Part 1. Penza: ICSC Nauka i prosveshchenie publ. Pp. 11–14. (In Russ.).
13. Zolotinkina, L. I. (2016). Professor Imant Georgievich Freiman – osnovatel' otechestvennoi nauchno-inzhenernoi shkoly radiotekhniki [Professor Imant Georgievich Freiman – founder of the national scientific and engineering school of radio engineering]. *Istoriya nauki i tekhniki*. No. 2. Pp. 73–95. (In Russ.).
14. Pechenkin, A. A. (2011). L. I. Mandel'shtam. Issledovaniye, prepodavaniye i ostal'naya zhizn'. [L. I. Mandelstam. Research, teaching and the rest of life]. Moscow: Logos publ. 334 p. (In Russ.).
15. Papalexi, N. D. (1938). O nekotorykh primeneniyyakh radiointerferentsionnykh metodov [About some applications of radio interference methods]. *Izvestiya AS USSR. Seriya fizicheskaya*. No. 4. Pp. 539–550. (In Russ.).
16. Kobzarev, Yu. B. (2007). *Sozdaniye otechestvennoy radiolokatsii: nauchnyye trudy, memuary, vospominaniya* [Creation of national radar: scientific works, memoirs, reminiscences]. Comp. by B. G. Kutuza, G. Yu. Kobzarev. Moscow: Nauka publ. 503 p. (In Russ.).
17. Timoshenko, D. A. (2015). “*Mne s detskikh let byl blizok Don Kikhot...*” [“I have been close to Quijote since childhood...”]. Moscow: RTI imeni akademika A. L. Mintsy publ. 440 p. (In Russ.).
18. Archive of the RAS. F. 1794. I. 1. № 33. L. 1. 1 turnover. (In Russ.).
19. Gol'tsman, G. N. and Chulkova, G. M. (2016). Nauchnaya radiofizicheskaya shkola Moskovskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta [Scientific radiophysical school of Moscow state pedagogical university]. *Istoriya nauki i tekhniki*. No. 1. Pp. 80–89. (In Russ.).
20. Kudryavtsev, V. V., Gol'tsman, G. N. and Il'in, V. A. (2009). Radiofizika v istorii Moskovskogo pedagogicheskogo gosudarstvennogo universiteta [Radiophysics in the history of Moscow state pedagogical university]. *Istoriya nauki i tekhniki*. No. 9. Pp. 10–23. (In Russ.).
21. Etkin, V. S. and Gershenson, E. M. (1964). *Parametricheskiye sistemy SVCH na poluprovodnikovyykh diodakh* [Semiconductor diode parametric microwave systems]. Moscow: Sovetskoe radio publ. 352 p. (In Russ.).
22. Gusachenko, N. (2019). Kvantovye kommunikatsii: chto eto i zachem oni RZHD? [Quantum communications: what are they and what are they needed for RZHD?]. [Electronic resource]. The RZD-Partner: [web-site]. July 15. URL: <https://www.rzd-partner.ru/zhd-transport/comments/kvantovye-kommunikatsii-chto-eto-i-zachem-oni-rzhd/> (accessed 03.05.2020). (In Russ.).
23. Kudryavtsev, V. V. (2020). *Istoriya otechestvennoy radiofiziki: zarozhdeniye radiofiziki kak nauki* [History of Russian radiophysics: the origin of radiophysics as a science]. Book 1. Moscow: URSS publ. (In print). (In Russ.).

The article was submitted on 07.04.2020.