

# К 125-летию изобретения радио



# У истоков радио

---

Как правило, первые шаги во вновь зарождающихся областях техники бывают связаны с предыдущими научными и техническими достижениями, относящимся иной раз к различным отраслям знаний. Однако в каждой технической области всегда есть определенная физическая основа. Такой основой для появления радиотехники послужило электромагнитное поле.

Учение об этом поле, до того как оно нашло себе техническое применение, разрабатывалось многими выдающимися учеными. В 1831 г. М. Фарадей (1791-1867) в своих «Экспериментальных исследованиях по электричеству» заложил начала о воздействии электрических токов, приводящих «находящуюся в непосредственной близости от них материю в некоторое особое состояние, которое до этого было безразличным».

Дж. Максвелл (1831-1879) в 1864 г. пришел к мысли о единстве природы световых и электрических колебаний и математически обосновал свои выводы в знаменитом «Трактате об электричестве и магнетизме», опубликованном в 1873 г.

В 1888 г. Генрих Герц (1857-1994) подтвердил правильность подобных взглядов классическими опытами.

После этих открытий правомерно было ожидать появление идей, направленных к их практическому использованию. Так оно и оказалось.

Видный русский физик О. Д. Хвольсон в работе «Опыты Герца и их значение» написал: «Опыты Герца пока кабинетные: но, что из них разовьется дальше и не представляют ли они зародыш новых отделов электротехники, этого решить в настоящее время невозможно».

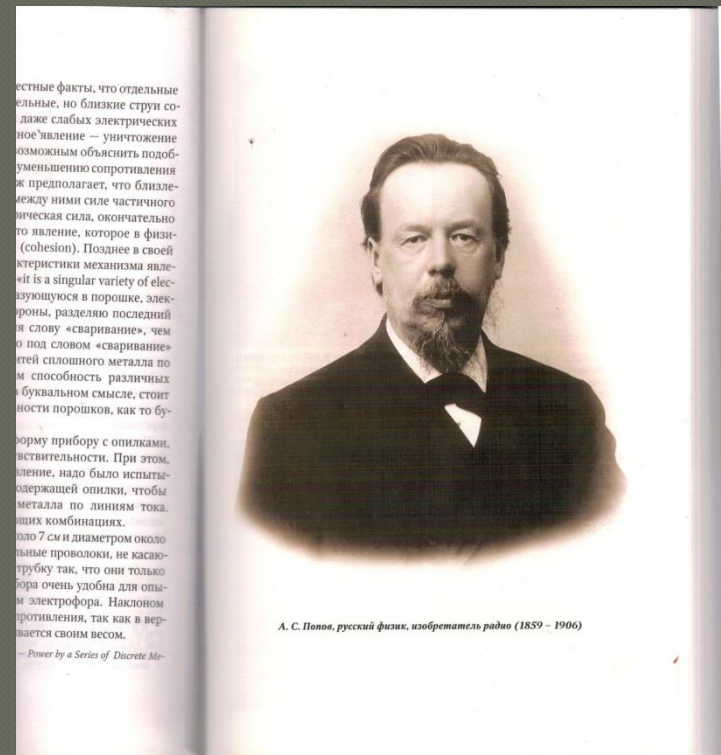
Английский ученый В. Крукс (1832-1919) в 1892 г., говоря о работах Лоджа в Англии и Герца в Германии, отмечал: «Здесь раскрывается поразительная возможность телеграфирования без проводов, телеграфных столбов, кабелей и всяких других дорогостоящих современных приспособлениях».

Известный исследователь Никола Тесла (1856-1943) в докладе, прочитанном в 1893 г. в Национальной ассоциации электрического света в Сен-Луи, отметил по поводу возможности радиотелеграфирования: «Я хочу сказать о передаче осмысленных сигналов, а может быть, даже и энергии, на любое расстояние совсем без помощи проводов. С каждым днем я все более убеждаюсь в практической осуществимости этого процесса, хотя я прекрасно знаю, что большинство ученых не верит в то, что подобные практические результаты могут быть быстро достигнуты: тем не менее все считают, что работы последних лет могут стимулировать опыты в этом направлении. Мое убеждение установилось так прочно, что я рассматриваю этот проект передачи сигналов или энергии уже не просто как теоретическую возможность, а как серьезную задачу, которая ставится перед инженером-электриком и должна быть решена со дня на день».

# Изобретение радиосвязи

Первым, кто в определенной форме высказал и претворил в жизнь идею телеграфирования без проводов, был преподаватель минного офицерского класса в Кронштадте Александр Степанович Попов.

А. С. Попов, после многих опытов, проведенных вместе со своим помощником П. Н. Рыбкиным, добился того, что его приемник начал принимать с большого расстояния электромагнитные волны. С его помощью А. С. Попов сначала смог обнаружить эти волны на расстоянии нескольких метров, а затем и километров. Приемник регистрировал волны, образуемые грозowymi разрядами, и был назван грозоотметчиком.



А. С. Попов, русский физик, изобретатель радио (1859 – 1906)

...стные факты, что отдельные  
...ельные, но близкие струи со-  
...дуже слабых электрических  
...ное явление — уничтожение  
...возможным объяснить подоб-  
...уменьшению сопротивления  
...ж предполагает, что близле-  
...жду ними силе частичного  
...ическая сила, окончательно  
...то явление, которое в физик-  
... (cohesion). Позднее в своей  
...теристики механизма являе-  
...«It is a singular variety of elec-  
...зующуюся в порошке, элект-  
...роны, разделяю последний  
...я слову «сваривание», чем  
...о под словом «сваривание»  
...тей сплошного металла по  
...м способность различных  
...буквальном смысле, стоит  
...ности порошков, как то бу-

...орму прибору с опилками,  
...ствительности. При этом,  
...вление, надо было испыты-  
...одержавшей опилки, чтобы  
...металла по линиям тока  
...щих комбинациях.  
...оло 7 см и диаметром около  
...льные проволоки, не касаю-  
...трубку так, что они только  
...ора очень удобна для опы-  
...м электрофора. Наклоном  
...ротивления, так как в вер-  
...вается своим весом.

— Power by a Series of Discrete Me-

Во время опытов А. С. Попов обнаружил, что дальность действия его приемника возрастает при присоединении к нему свободного провода. Первый радиоприемник он соединил с первой антенной.

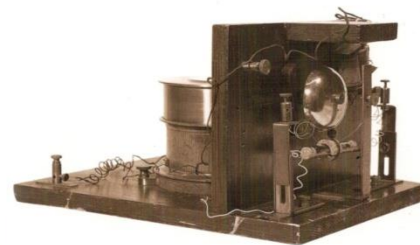
27 апреля (7 мая) 1895 г. Александр Степанович Попов публично продемонстрировал свой прибор на заседании Русского физико-химического общества (РФХО) и прочитал доклад «Об отношении металлических порошков к электрическим колебаниям». Содержание сделанного Поповым доклада было опубликовано в январе 1896 г. в журнале РФХО под названием «Прибор для обнаружения и регистрирования электрических колебаний».



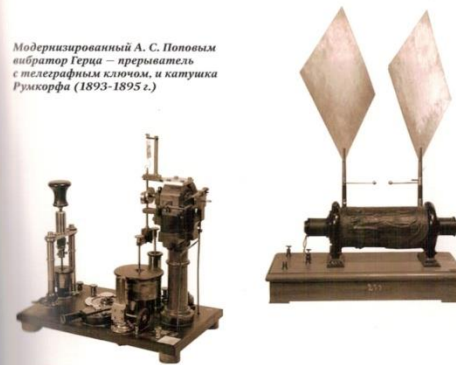
Титульный лист ЖРФХО и страница со схемой из статьи А.С. Попова «Прибор для обнаружения и регистрирования электрических колебаний» (1896 г.)



Грозоуловитель, разработанный А. С. Поповым с участием П. И. Рыбникова (июль 1895 г.)



Первый когерентный приемник (май 1895)



Модернизированный А. С. Поповым индуктор Герца — прерыватель с телеграфным ключом, и катушка Рункерфа (1893-1895 г.)

# 24 марта 1896 г. на заседании физического отделения РФХО А. С. Попов при помощи своих приборов наглядно продемонстрировал передачу сигналов на расстоянии 250 м, передав первую в мире радиограмму, состоящую из двух слов – «Генрих Герц».

Но наибольший интерес для Попова в это время представляет задача создания системы передачи сигналов без проводов для флота. Источником высокочастотных затухающих электромагнитных колебаний — передатчиком — в опытах Попова служил модернизированный им вибратор Герца с искровым разрядником, питаемый от катушки Румкорфа (высокочастотного трансформатора). Специальное устройство — прерыватель — обеспечивало подачу на катушку последовательности импульсов тока с частотой, необходимой для генерирования серий высокочастотных затухающих колебаний. Над проблемой создания прибора, способного выявлять наличие высокочастотного электромагнитного излучения, работали многие ученые мира, в том числе и А. С. Попов.



О. Лодж (1851-1940)

Английский физик О. Лодж усовершенствовал прибор Бранли (1894), подослав к нему механическое устройство для периодического встряхивания опилок, назвав его «когерер» (от слова «сцеплять»).



Ключ и грубый прерыватель



Спираль Румкорфа с разрядником



Э. Бранли (1844-1940)

В 1890 г. французский ученый Э. Бранли создал «радиоиндуктор» — прибор, представляющий собой трубочку с металлическими опилками, сопротивление которых изменялось под воздействием высокочастотных колебаний. Недостатком этого прибора являлась потеря чувствительности после одностороннего облучения.



Приемник А. С. Попова (май 1895)  
ЦМС имени А. С. Попова

Однако эти встряхивания производились вне какой-либо связи с посылками электромагнитных излучений, поэтому такое решение не обеспечивало возможности достоверного приема последовательности сигналов, передаваемых с помощью электромагнитных волн.

Попов изобрел новую схему автоматического восстановления чувствительности когерера. В цепь с когерером было включено реле, обеспечивавшее подключение исполнительного устройства — электрического звонка, молоточек которого бил по трубочке, встряхивая опилки и восстанавливая сопротивление когерера после приема каждой посылки затухающих электромагнитных колебаний. В зависимости от замыкания телеграфного ключа прерывателя посылка могла быть короткой или продолжительной. Задача обеспечения беспроводной связи была принципиально решена.

Весной 1895 г. А. С. Попов и его ассистент П. Н. Рыбкин проводили опыты по передаче и приему сигналов на расстоянии 30 сажен (64 метра) в саду МОК. В качестве антенны приемника использовалась проволока, поднятая воздушными шарами на высоту 2,5 метра.

7 мая 1895 г. на заседании Физического отделения РФХО Попов выступил с докладом «Об отношении металлических порошков к электрическим колебаниям», в котором изложил результаты проведенных им исследований и продемонстрировал способность изобретенного им прибора принимать последовательность «коротких и продолжительных сигналов», то есть, по существу, производить передачу элементов азбуки Морзе.

Фактически система, созданная и опробованная в действии А. С. Поповым, содержала все существенные элементы и их связи, которые присущи современному понятию «радиолиния передачи сигналов».

Информация о докладе была напечатана в газете «Кронштадтский вестник» 12 мая 1895 г. с указанием конечной цели работы:

*«Уважаемый преподаватель А. С. Попов ... комбинировал особым переносным прибор, отвечающий на электрические колебания обыкновенным электрическим звонком и чувствительный к герцеевым волнам на открытом воздухе на расстоянии до 30 сажен... Об этих опытах А. С. Поповым в прошлом было доложено в Физическом отделении Русского физико-химического общества, что было встречено с большим интересом и сочувствием. Поводом ко всем этим опытам служил теоретическая возможность сигнализации на расстоянии без проводов, наподобие оптического телеграфа, но при помощи электрических лучей».*

Устройство приемника с подробностями, достаточными для его воспроизведения, изложено в протоколе заседания РФХО, опубликованном в августовском номере «Журнала РФХО» (1895 г., т. 27, вып. 8, с. 259-260).

В ходе первых испытаний приемника была замечена его восприимчивость к атмосферным разрядам. А. С. Попов сконструировал специальный прибор, названный позже грозоотметчиком, для круглосуточного приема электромагнитных колебаний естественного происхождения с автоматической записью их на бумажную ленту самопишущего прибора. С июля 1895 г. грозоотметчик применялся практически: для метеорологических наблюдений — в Лесном институте и для изучения атмосферных помех радиоприему — в лаборатории МОК.

Таким образом, весной 1895 г. А. С. Попов реализовал почти одновременно два способа использования электромагнитных волн для радиосвязи, которые успешно развивались от человека к человеку и от природного объекта к человеку.



Грозоотметчик А. С. Попова (июль 1896)

Изобретатель радио А.С. Попов, как известно, свое открытие не запатентовал, но сделал его (путем широкой огласки) достоянием всего человечества.

Итальянский физик, инженер и предприниматель Г. Маркони (1874-1937), под влиянием работ Г. Герца и А. Риги по электромагнитным волнам также начал проводить опыты в этой области и разрабатывать приборы беспроволочного телеграфа.

В июне 1896 г. в Англии, т. е. почти через полгода после опубликования А. С. Поповым вышеупомянутой статьи, Маркони сделал и продемонстрировал свою аппаратуру, передав импульсный сигнал с крыши лондонского почтамта в другое здание на расстояние 400 м.

Изобретение Маркони заинтересовало главного инженера телеграфа в британском почтовом ведомстве В. Г. Приса. При содействии Приса Маркони продолжил работы и 2 июня 1896 подал заявку на получение патента. В июне 1897 г. Г. Маркони опубликовал первые сведения о своих опытах и приборах. Хотя эта публикация и показывала, что схема приемника Маркони ничем по существу не отличалась от приемника, изобретенным Поповым, тем не менее была сделана попытка приписать честь этого открытия Маркони. Столь необоснованные притязания заставили А. С. Попова выступить в отечественной и зарубежной печати в защиту своих прав.

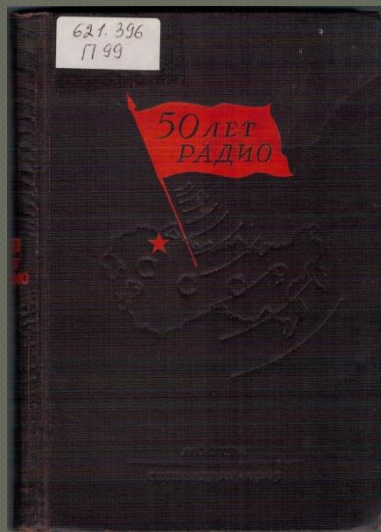


Объективные фактические данные не оставляли никакого сомнения относительно приоритета Попова, что и было официально засвидетельствовано в 1900 г. на Всемирной электротехнической выставке в Париже присуждением ему почетного диплома и золотой медали.

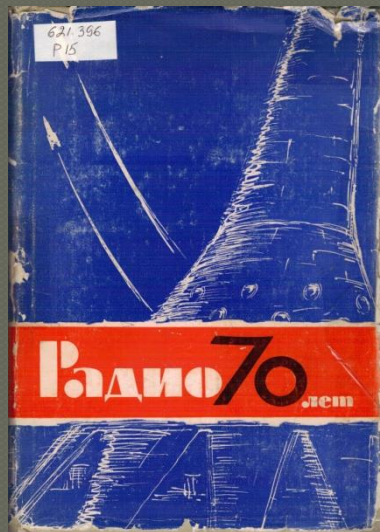
В СССР в 1945 г. для увековечивания памяти Попова Президиум Академии наук учредил золотую медаль А. С. Попова за выдающиеся достижения в области радиофизики. День 7 мая стал Днем Радио.



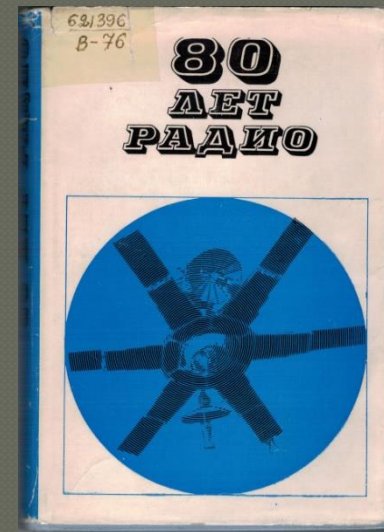
# Список изданий из фонда истории ЭТУ:



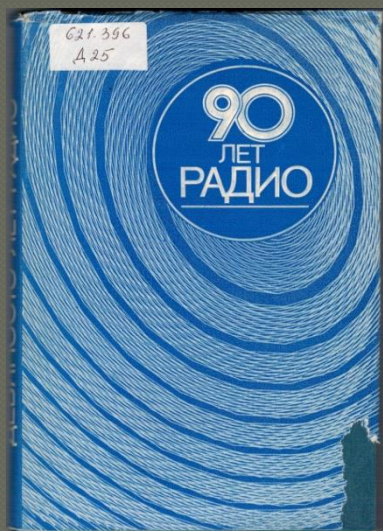
50 лет радио: науч.-  
техн. сб. /под  
ред.А.Д. Фортушенко.  
– Москва,1945. - 382  
с.



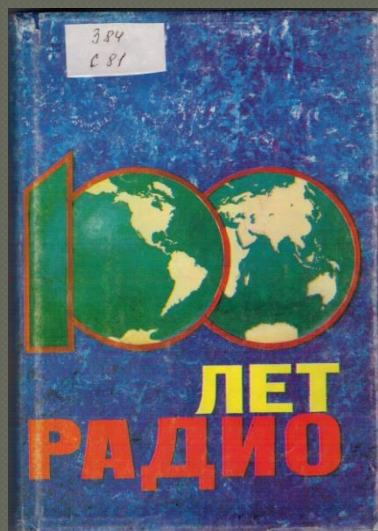
70 лет радио: науч.-  
техн. сб. /под ред. А.Д.  
Фортушенко.- Москва,  
1965. – 331 с.



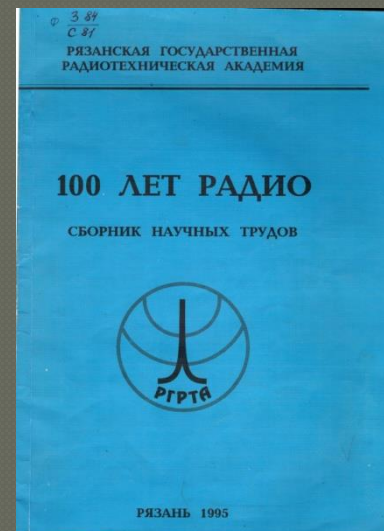
80 лет радио: науч.-техн.  
сб./ под ред. А.Д.  
Фортушенко. – Москва,  
1975. – 327 с.



90 лет радио: науч.-техн.  
сб./ под ред. А.Д.  
Фортушенко, В.Л.  
Быкова. - Москва, 1985.  
– 235 с.



100 лет радио / под  
ред.А.В. Гороховского.  
– Москва, 1995. – 381 с



Алексеев О.В. Развитие  
наследия А.С. Попова в  
Электротехническом  
университете // 100  
лет радио: сб. науч. тр.  
– Рязань, 1995. – С. 13 –  
16.



Бренев И.В. Начало радиотехники в России. – Москва, 1970. – 256 с

УДК 621(091)

О. Г. Вендик

### ВКЛАД ПРОФЕССОРА АЛЕКСАНДРА СТЕПАНОВИЧА ПОПОВА В РАЗВИТИЕ БЕСПРОВОЛОЧНОЙ СВЯЗИ\*

*Рассматривается вклад А. С. Попова в развитие радиосвязи, оценки его работы современниками.*

А. С. Попов, Марков, Риги, П. Н. Рыбкин, С. Я. Лившиц, Е. Муромцев, радиосвязь.

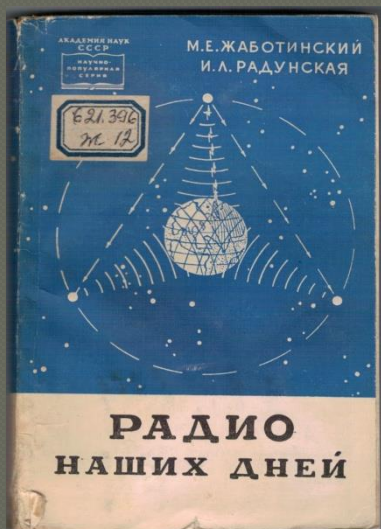
**Первые демонстрации.** Одно из величайших достижений XX века – беспроводная связь, или радио, – основано на физической теории, открытой и развитой Джеймсом Клерком Максвеллом. Многие выдающиеся ученые и инженеры внесли свой вклад в развитие и усовершенствование беспроводной связи. Краеугольные камни в физические основы беспроводной связи были заложены Генрихом Герцем (1857–1894) и Александром Степановичем Поповым. В то время как Генрих Герц предложил источник электромагнитных волн, называвшихся "волнами Герца", А. С. Попов разработал надежный приемник электромагнитных волн. Ученый, близким качеством аппарата Попова является применение приводимого в действие электричеством молоточка электрического звонка, производящего самовосстановление первоначального сопротивления когерера, и использование для приема волн вертикального проводника, названного позже антенной. Комбинация самовосстанавливающегося когерера и антенны дала возможность принимать электромагнитные волны, возбуждаемые вибратором Герца, так же, как и волны, излучаемые естественными атмосферными разрядами" (рис. 1).

"Новым качеством аппарата Попова является применение приводимого в действие электричеством молоточка электрического звонка, производящего самовосстановление первоначального сопротивления когерера, и использование для приема волн вертикального проводника, названного позже антенной. Комбинация самовосстанавливающегося когерера и антенны дала возможность принимать электромагнитные волны, возбуждаемые вибратором Герца, так же, как и волны, излучаемые естественными атмосферными разрядами" (рис. 1).

Впервые приемник волн Герца был продемонстрирован на заседании Русского физико-химического общества в Санкт-Петербурге 7 мая 1895 г. [2], [3]. В июне 1895 г. пролоотметчик был установлен в Метеорологической обсерватории Лесотехнической академии в Санкт-Петербурге [4]. В своей статье А. С. Попов высказал мнение о том, что его аппарат может быть использован для приема сигналов от искусственных созданных человеком источников волн Герца. А. С. Попов продемонстрировал передачу сигналов, несущих информацию, перед научной аудиторией Русского физико-химического общества в марте 1896 г. [4]–[7]. В это время он преподавал в Минном офицерском классе в Кронштадте [5]. Военно-морское министерство ограничило публикацию в открытой печати сведений о передаче сигналов. В настоящее время информация об этой демонстрации имеется только в воспоминаниях членов Русского физико-химического общества [6], [7].

\* Пер. с англ. докл. О. Г. Вендик, прочитанного на Исторической секции 25-й Междунар. конф. по технике СВЧ в Болонье, 4–7 сентября 1995 г. Vendik O. G. Contribution of Prof. Alexander S. Popov to the development of wireless communications // 25-th Europ. Microwave Conf. Proc. Vol. 2. UK: NEXUS, 1995. P. 895–902.

Вендик О. Г. Вклад профессора Александра Степановича Попова в развитие беспроводной связи / О. Г. Вендик // Известия СПбГЭТУ "ЛЭТИ". Сер. "История науки, образования и техники". - 2005. - Вып. 1. - С. 9-15.



Жаботинский М.Е.,  
Радунская И.Л. Радио  
наших дней. – Москва,  
1959. – 262 с.



Из истории изобретения и  
начального периода  
развития радиосвязи: сб.  
д-тов и материалов / под  
ред. В.Н. Ушакова. – СПб.,  
2008 – 271 с.



Коваленко Ю.Я., Стрелов  
А.Б. У истоков радиосвязи.  
– СПб., 1997. - 158 с.

Ф 42  
ИЗУ

**НАУКА И ТЕХНИКА:  
ВОПРОСЫ ИСТОРИИ И ТЕОРИИ**

Санкт-Петербург  
1996

аспирантом кафедры, являлся одним из основных исполнителей этой работы, научным руководителем которой являлся доцент П. Н. Раману и профессор Б. Н. Ахатов.

В процессе работы Октябрьская межвузовская школа выдала нам locomotives и вагоны для аппаратуры. Выход стационарной радиостанции диктатора типа ЖР-1 соединился с проводом, который подвешивался среди проволочной линии связи, параллельной железнодорожному пути. На locomotives также монтировались антенны и радиостанция.

Успешные опыты связи подтверждены "Извещением о регистрации Госкомитета по внедрению передовой техники" от 7 августа 1950 г., а также являлись основой для защиты кандидатской диссертации автора.

Впоследствии аналогичные эксперименты были осуществлены на линиях Московского метрополитена. При этом в туннелях использовались подвешенные на изоляторах провода, которые можно увидеть на всех станциях метро поезда мармариновой или палочковой окраски стен. Кроме того, для снижения помех пришлось осуществлять специальную, так называемую, металламацию подвижного состава. Основное преимущество использования индуктивной связи в метро остались неизменными, но в настоящее время используются значительно более совершенные радиостанции.

Марченко В. К.

**ЗАРОЖДЕНИЕ РАДИОСВЯЗИ НА РОССИЙСКОМ ФЛОТЕ**

Среди замечательных изобретений, родившихся в недрах Российского флота, одним из самых значительных является радиосвязь. Начало этому исключительно техническому направлению в конце прошлого века выдвинул русский ученый и изобретатель А. С. Попов (1859-1905 гг.). Большая часть научной и преподавательской деятельности которого проводилась в военно-морских учебных заведениях Кронштадта. А. С. Попову принадлежат безусловные приоритеты в создании первых систем радиосвязи и сооружении военно-морских радиомаяков. В начале века по его инициативе на флоте было организовано первое в стране радиотехническое предприятие — Кронштадтская радиомастерская, полномочная начало отечественной радиоромашности; начата регулярная подготовка радиоспециалистов. Являясь членом Морского технического комитета и заведующим установкой радиотелеграфной аппаратуры на судах, А. С. Попов непосредственно участвовал в радиосвязи Балтийской, Черноморской и Тихоокеанской эскадр. Без преувеличения можно сказать, что все сделанное в области радиосвязи на Российском флоте до 1905 года является заслугой А. С. Попова.

В докладе, на основе архивных документов и воспоминаний современников ученого, дается подробный технико-исторический обзор деятельности А. С. Попова, связанный со становлением радиосвязи на Российском флоте.

Мезенов А. В.

**СТАНОВЛЕНИЕ И РАЗВИТИЕ РАБОТ ПО ИНФРАКРАСНОЙ ТЕХНИКЕ В АЭТИ**

Проведение первых в нашей стране исследований по применению инфракрасных лучей для связи и телеграфации в интересах ВМФ связано с деятельностью профессоров института С. И. Погорельца и Б. П. Козырева. В 1924-27 гг. ими была разработана аппаратура для телеграфирования в ИК-лучах и проведены опыты по связи с кораблем в авиатории Финского залива. В 1927-28 гг. с использованием созданных Б. П. Козыревым тепловых приемников лучения были выполнены

эксперименты по обнаружению объектов по их собственному тепловому излучению, в частности, по пеленгации труб крейсера "Аврора".

В 1930 г. Б. П. Козырев начал читать курс лекций по применимым оптическому излучению, а в 1936 г. в АЭТИ под его руководством была организована лаборатория инфракрасной техники, на базе которой в 1938 г. была открыта кафедра оптических линий связи. В специализированных дисциплинах студенты изучали телефонию и блуждающую оптику в ИК-лучах, телеоптику и приборы ночного видения. В лабораторных кафедрах разрабатывались различные типы приемников, фильтров, модуляторов ИК излучения и методы кодирования сигналов. Выпускники кафедры Е. П. Семенов во время войны с Германией в полку специальной назначения, осуществляли минирование и разминирование полей в ночное время с применением приборов ночного видения. Последствиями их деятельности были награды разработкой электронно-оптических преобразователей в ГОИ.

Подготовка специалистов по ИК-технике продолжалась в АЭТИ после войны в рамках специальности "Электронные приборы". В 1957 г. под руководством Б. П. Козырева была организована проблемная лаборатория оптической электроники, в которой проводились исследования и разработка телевизионной аппаратуры и актиметрических приборов. На базе проблемной лаборатории с 1961 г. ведется подготовка инженеров и научных кадров по оптической электронике, инфракрасной и лазерной технике.

Морозов И. Д.

**РОССИЙСКИЕ И ЗАРУБЕЖНЫЕ УЧЕНЫЕ  
О ПРИОРИТЕТЕ А. С. ПОПОВА**

В основе системы безпроволочной связи, изобретенной А. С. Поповым весной 1895 г., как известно, лежал генератор электромагнитных колебаний Г. Герца (шрифт Гучи) и индуктор эти колебаний О. Лада. Сам О. Лада писал: "Я всегда был высокого мнения о работе профессора Попова... Попов первым заставил сам сигнал автоматически воздействовать на котлер... Я считаю, что в этом состоит новизна, которая мне обязана Попову... Видно, он весьма рано использовал метод прерывистой корабельной сигнализации без проводов".

О приоритете А. С. Попова столь же безоговорочно высказались американские (Ар-Горин), французские (Э. Бранли) и немецкие (А. Сабби, Ф. Браун) ученые и инженеры — современники А. С. Попова.

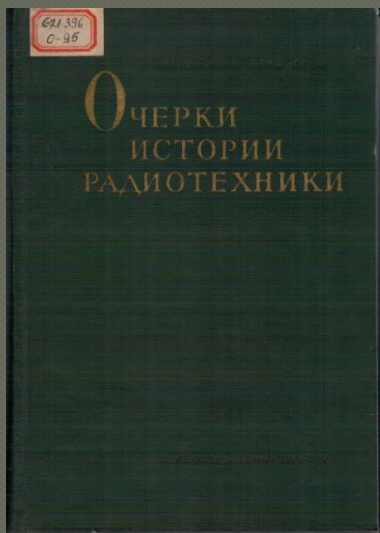
Надо сказать, что при жизни изобретателя радиосвязи его приоритет в России был признан как в научных кругах (известные высказывания Д. И. Менделеева, В. П. Волгина, А. А. Петровского и др.), так и на официальном уровне, о чем свидетельствуют многочисленные государственные награды: ордена, медали, премии.

После 1917 г. приоритет А. С. Попова поддерживался наведением статей и книг, в том числе сборников документальных материалов. В год 50-летия изобретения радио академик А. И. Берг отмечал заслуги Г. Марconi, но "не в изобретении радио, а в практической реализации его с исключительной энергией".

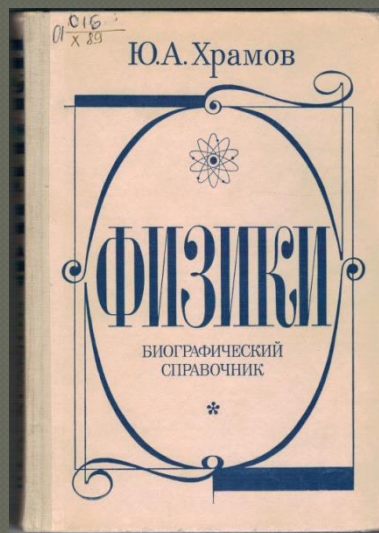
Было принято правительственное решение об установке памятника А. С. Попову в ряде городов, мемориальных досок на зданиях, в которых жил и работал ученый, установкам премии его имени и Золотой медали, вручаемых по решению Академии наук за выдающиеся достижения в области радиотехники как отечественным, так и зарубежным ученым. Этой медалью были удостоены А. И. Берг, В. П. Волгин, А. А. Минц, С. А. Везинович и другие наши ученые — академики и члены-корреспонденты Академии наук. Последним в 1995 г. этой награды удостоен академик Ю. В. Гуляев.

Марченко В.К. Зарождение радиосвязи на Российском флоте // Наука и техника: вопросы истории и теории: материалы к XVII конф. Санкт-Петербургского отделения Национального комитета по истории и философии науки и техники (19-21 нояб. 1996 г.). Вып. 12. — СПб., 1996. — С. 112.

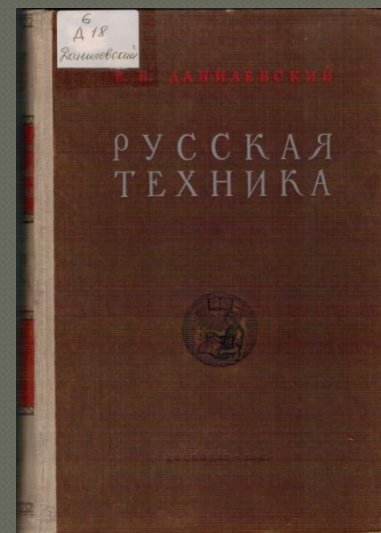
Морозов И.Д. Российские и зарубежные ученые о приоритете А.С. Попова // Наука и техника: вопросы истории и теории: материалы к XVII конф. Санкт-Петербургского отделения Национального комитета по истории и философии науки и техники (19-21 нояб. 1996 г.). Вып. 12. — СПб., 1996. — С. 113-114.



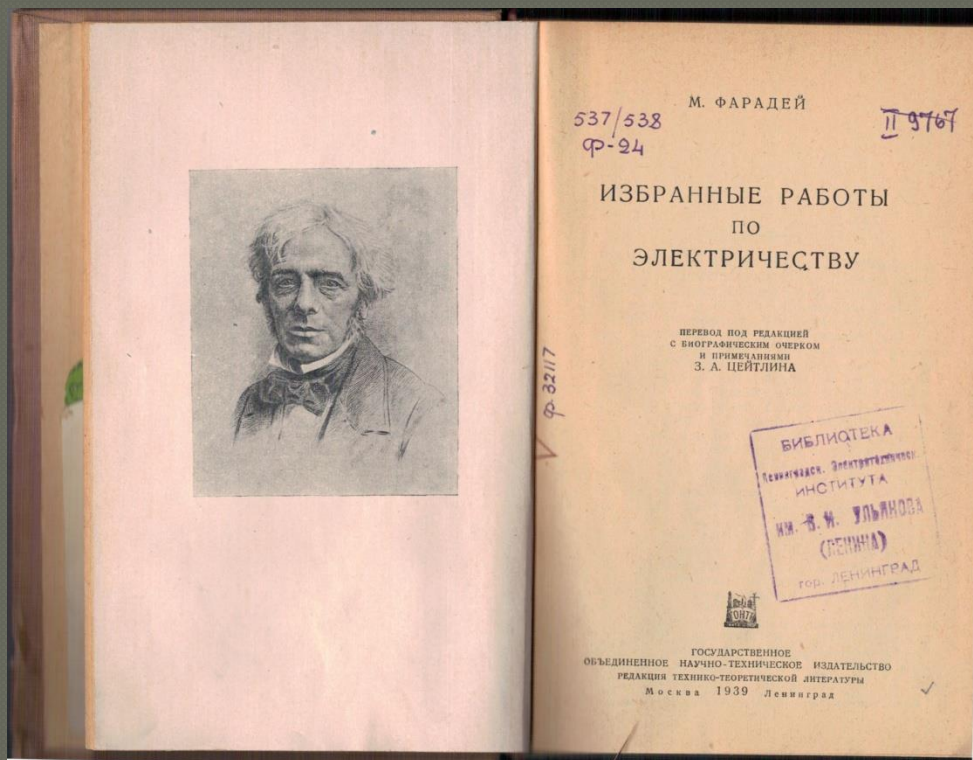
Очерки истории радиотехники. – Москва, 1960. - С. 9-12.



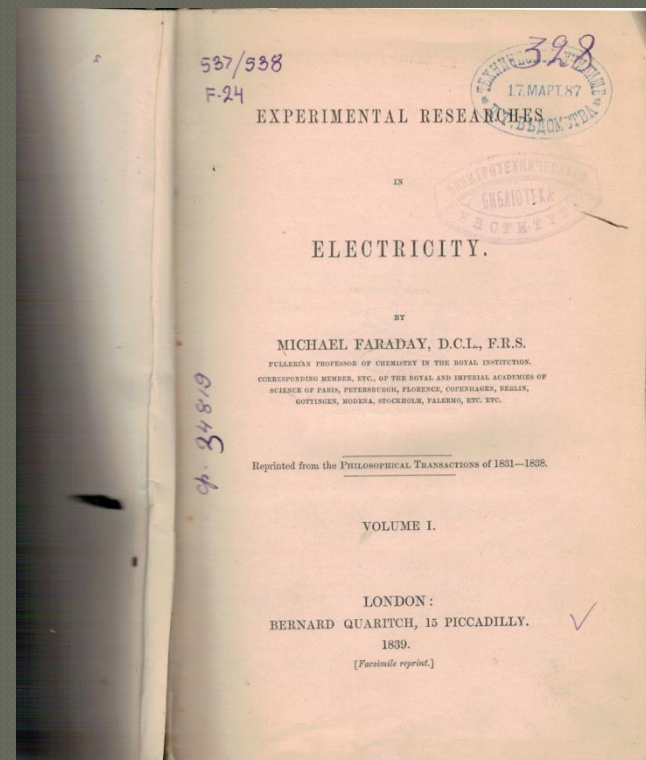
Храмов Ю.А.  
Биографический справочник /под ред. А.И. Ахиезера. – Москва, 1983.-398 с.



Данилевский В.В.  
Создание радио // Русская техника. – Л.: Ленингр. изд-во, 1948.- С.386-390.

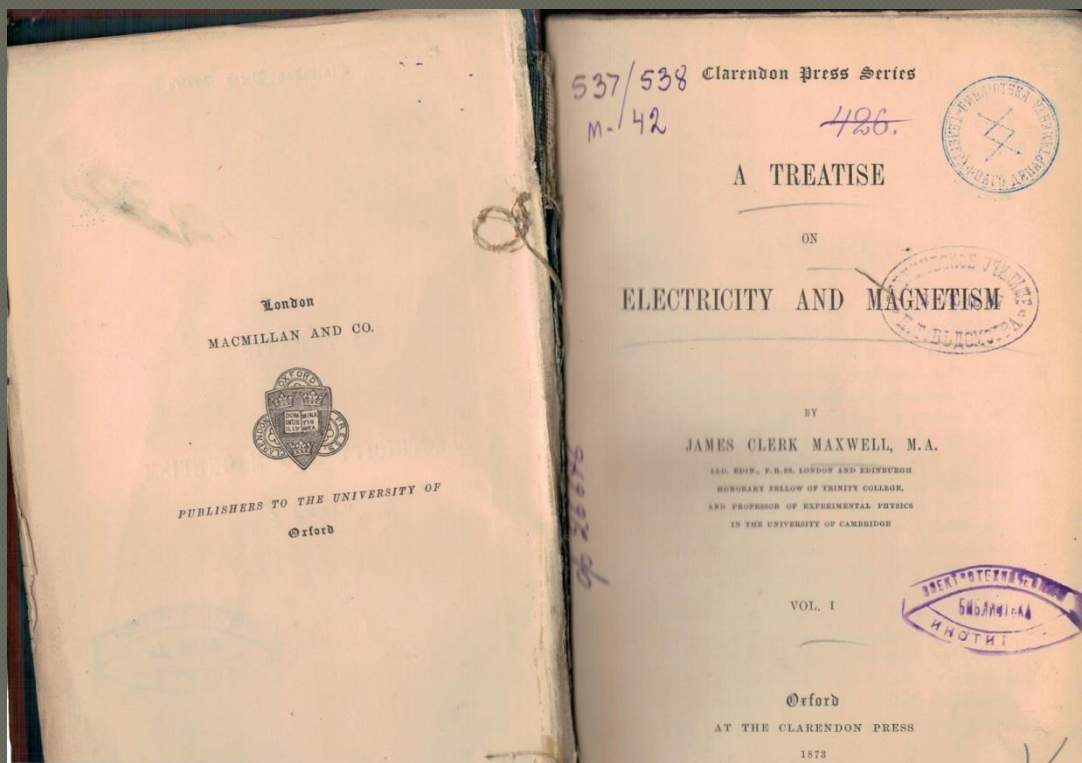


Фарадей М. Избранные работы по электричеству. — М.-Л., 1939. — 304 с.

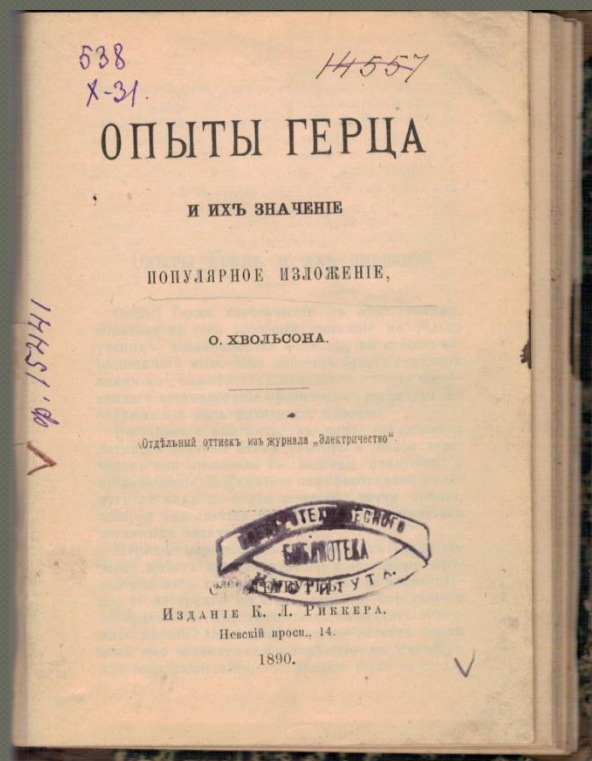


Faraday M. Experimental Researches in Electricity: 3 vol. — London, 1839-1855 (vol.1 -1839; vol.2 – 1844; vol.3 - 1855).





Maxwell J.C. A Treatise on Electricity and Magnetism: 2 vol. – Oxford, 1873.



Хвольсон О. Опыты Герца и их значение. – СПб., 1890. – 82 с.



Смирнова, Н. А. Александр Степанович Попов.  
Читано на заседании Ф. О. Р. Ф. – X. 24 янв. 1906/  
Н. А. Смирнова // Журнал Русского физико-  
химического общества при Императорском С. –  
Петербургском Университете, Физический отдел.  
– 1907. – Т. XXXVIII. – С. 1-30.