

## ЛЕКЦИЯ 5

# ИСТОРИЯ РАДИОЛОКАЦИИ

**РАДИОЛОКАЦИЯ** – обнаружение,  
измерение координат и определение  
свойств объекта с помощью радиоволн

**РАДАР** – **r**adio **d**etecting **a**nd **r**anging (радиообнаружение и  
измерение дальности)

**РЛС** – радиолокационная станция

# ВОЗНИКНОВЕНИЕ РАДИОЛОКАЦИИ

**1897 г.** – А.С.Попов зарегистрировал нарушение связи, когда между передатчиком и приемником проплывал корабль.

Аналогичное нарушение радиосвязи наблюдали Х.Э.Тейлор и Л.К. Юнг (США) в 1922 г.

**1904 г.** – Г.Хюльсмейер(Германия) получил два патента: на способ обнаружения корабля по отраженным волнам и измерения дальности до него.

Первые радиолокаторы появились только в середине 1930-х годов

Причины такой задержки:

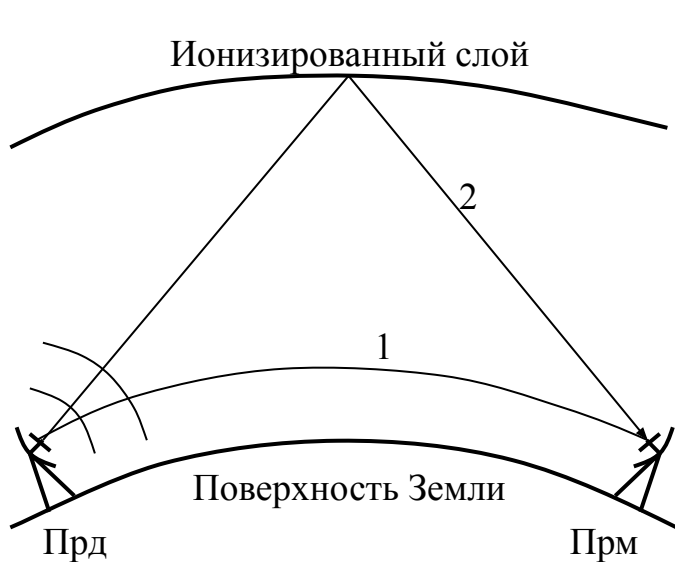
Отсутствие методов измерения дальности.

Недостаточное развитие элементной базы и схемотехники.

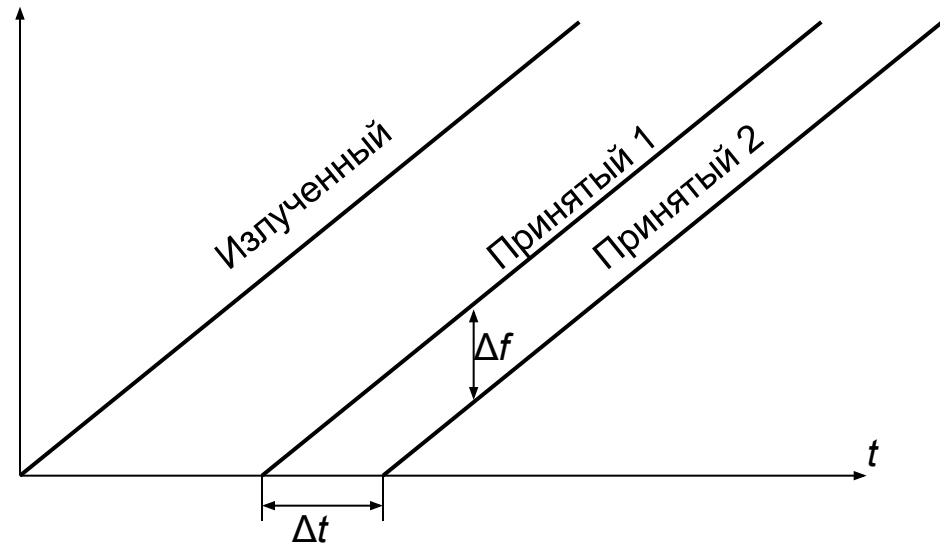
Отсутствие острой необходимости в радиолокации.

# ИЗМЕРЕНИЕ РАССТОЯНИЯ

**1924 г.** – Э.Эплтон и М.Барнетт (Англия) измерили высоту ионизированного слоя, используя непрерывное излучение с изменяющейся частотой.



Частота сигнала



**1926 г.** – Дж.Брайт и М.Тьюв (США) измерили высоту ионизированного слоя, используя импульсный сигнал

**1930 г.** – Н. Мандельштам и Л. Папалекси (СССР) разработали теорию радиоинтерференционного измерения расстояний.

# ОСТРАЯ НЕОБХОДИМОСТЬ В РАДИОЛОКАЦИИ

Самолеты – носители самых разрушительных видов оружия

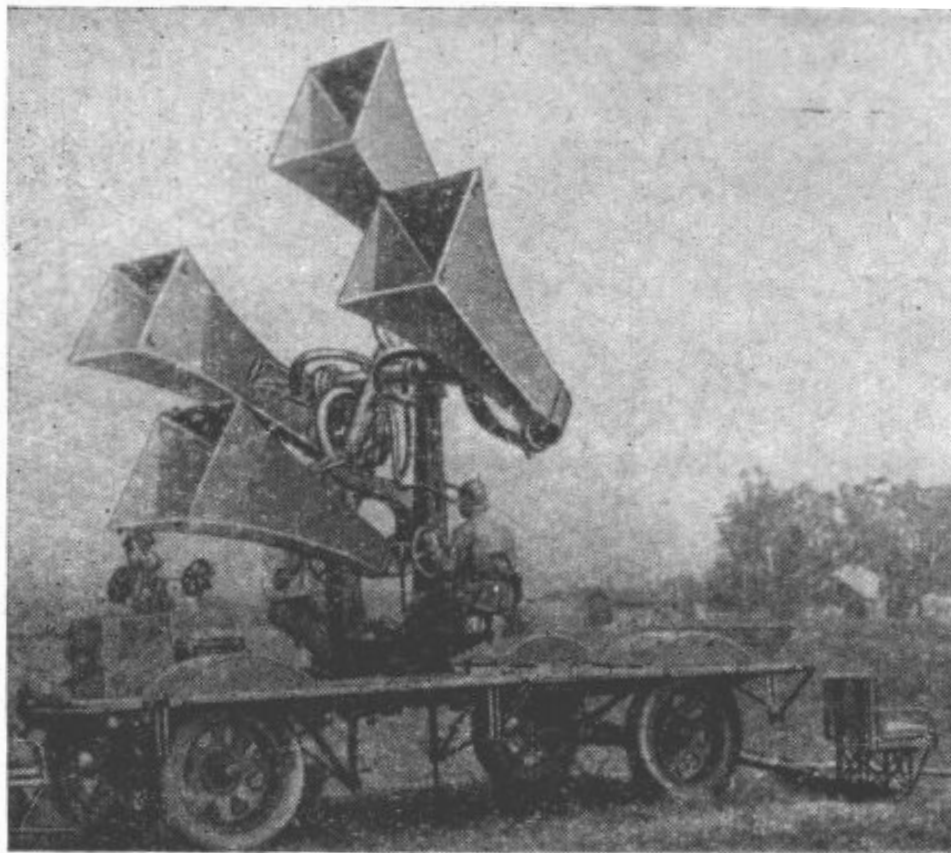
Обнаружение самолетов: оптическое, звуковое, тепловое.

## Звуколокация

Дальность менее 25 км,

Большие динамические  
ошибки

Прожзвук. В 1932 г.  
на вооружение РККА  
была принята система  
«Прожзвук»  
(прожектор-  
звукоулавливатель)

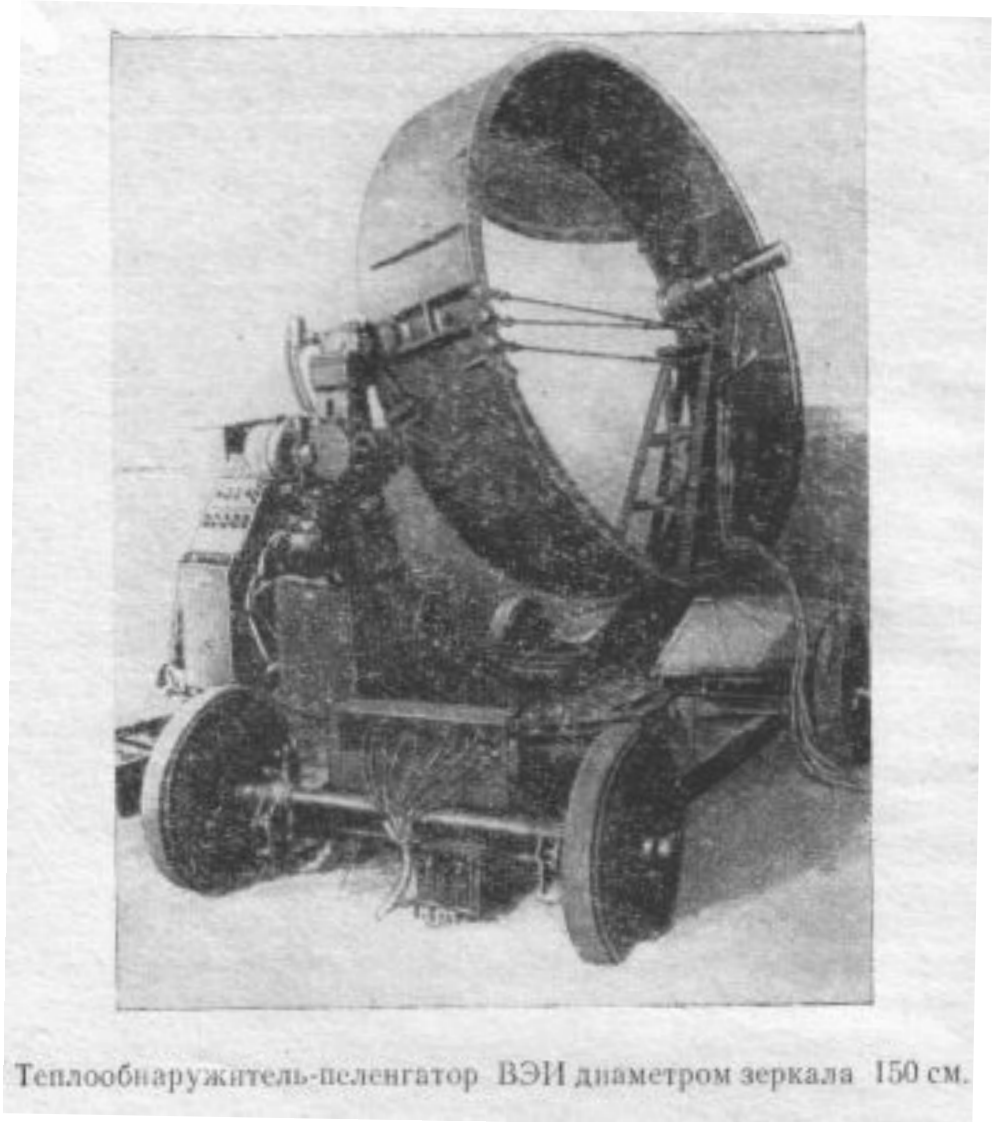


Звукоулавливатель ЗТ-2.

# Теплолокация

Дальность менее 10 км

Зависимость от  
температуры окружения и  
метеоусловий



# НАЧАЛО РАДИОЛОКАЦИИ

**1931 г.** – Исследовательская лаборатория ВМС (США) приступила к работе по "обнаружению вражеских судов и самолетов с помощью радио"

**1933 г.** – Тейлор, Юнг, Хайленд (США) получили патент по радиообнаружению объектов

**1934 г.** – Ю.К.Коровин (СССР) на опытной установке непрерывного излучения обнаружил самолет на расстоянии 600 м

**1935 г.** – Маркони (Италия) продемонстрировал доплеровский радиолокатор обнаружения автомашин и людей

**1935 г.** – на корабле «Нормадия» (Франция) установлена непрерывная РЛС «Детектор препятствий», обнаруживающая объекты по курсу корабля (напр., айсберги).

# РАЗВИТИЕ РАДИОЛОКАЦИИ ДО 1940 г.

1933	Эксперименты по радиообнаружению самолетов			
1934	Первые работы по импульсному методу радиолокации (Тейлор, Янг, Пейдж)	Создание комитета по научному обеспечению ПВО	Создание фирмы "Гема" для разработки корабельных РЛС	Опыты по радиообнаружению самолетов (ЦРЛ, Ю.К. Коровин)
1935		Первые работы по непрерывной и импульсной радиолокации (Р. Уотсон-Уатт)	Демонстрация импульсной корабельной РЛС	Разработка непрерывной системы обнаружения самолетов (ЛЭФИ, Б. К.Шембель)
1936	Разработка импульсной РЛС в Морской исследовательской лаборатории	РЛС CH (Chain Home)	Начало работы над РЛС фирмы "Телефункен"	Разработка импульсной РЛС (ЛФТИ, Ю.Б. Кобзарев)
1937		Система радиолокационной защиты из 20 РЛС CH		Радиолокационная система "Ревень" (НИИС КА, Д.С. Стогов)
1938	РЛС XAF с дальностью действия 80 км Опытный образец SCR-268	Станция орудийной наводки GL-MK-1	РЛС дальнего обнаружения "Фрейя"	Принята на вооружение РУС-1
1939		Самолетная РЛС СВЧ диапазона AI (Aircraft Interception)	РЛС орудийной наводки "Вюрцбург"	Опытные образцы РЛС "Редут" (будущая РУС-2)
1940	Производство РЛС SCR-268			
	<b>США</b>	<b>Англия</b>	<b>Германия</b>	<b>СССР</b>



1. Работы по радиолокации начались одновременно во всех промышленно развитых странах.

2. В западных странах разработкой РЛС занимались крупные фирмы и организации. В **Германии**: фирмы GEMA, LORENZ, TELEFUNKEN. В **США**: радиационная лаборатория МТИ, Национальный исследовательский комитет по вопросам обороны. В **Англии**: комитет по научному обеспечению ПВО, национальная физическая лаборатория.

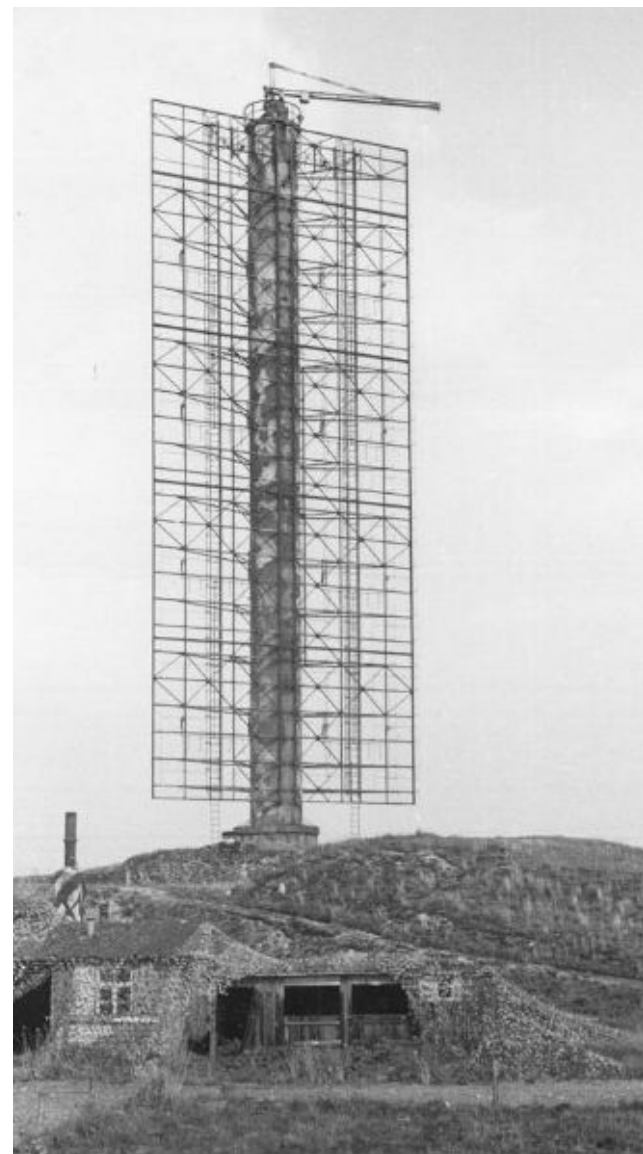
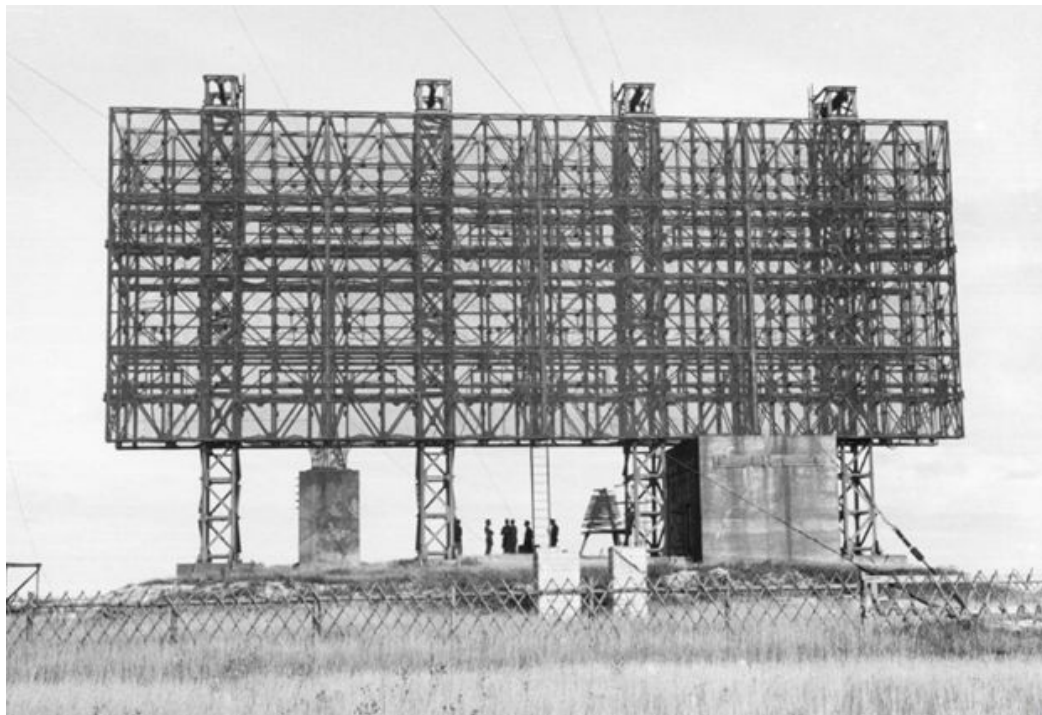
В СССР радиолокацией занимались небольшие исследовательские группы в лабораториях и институтах

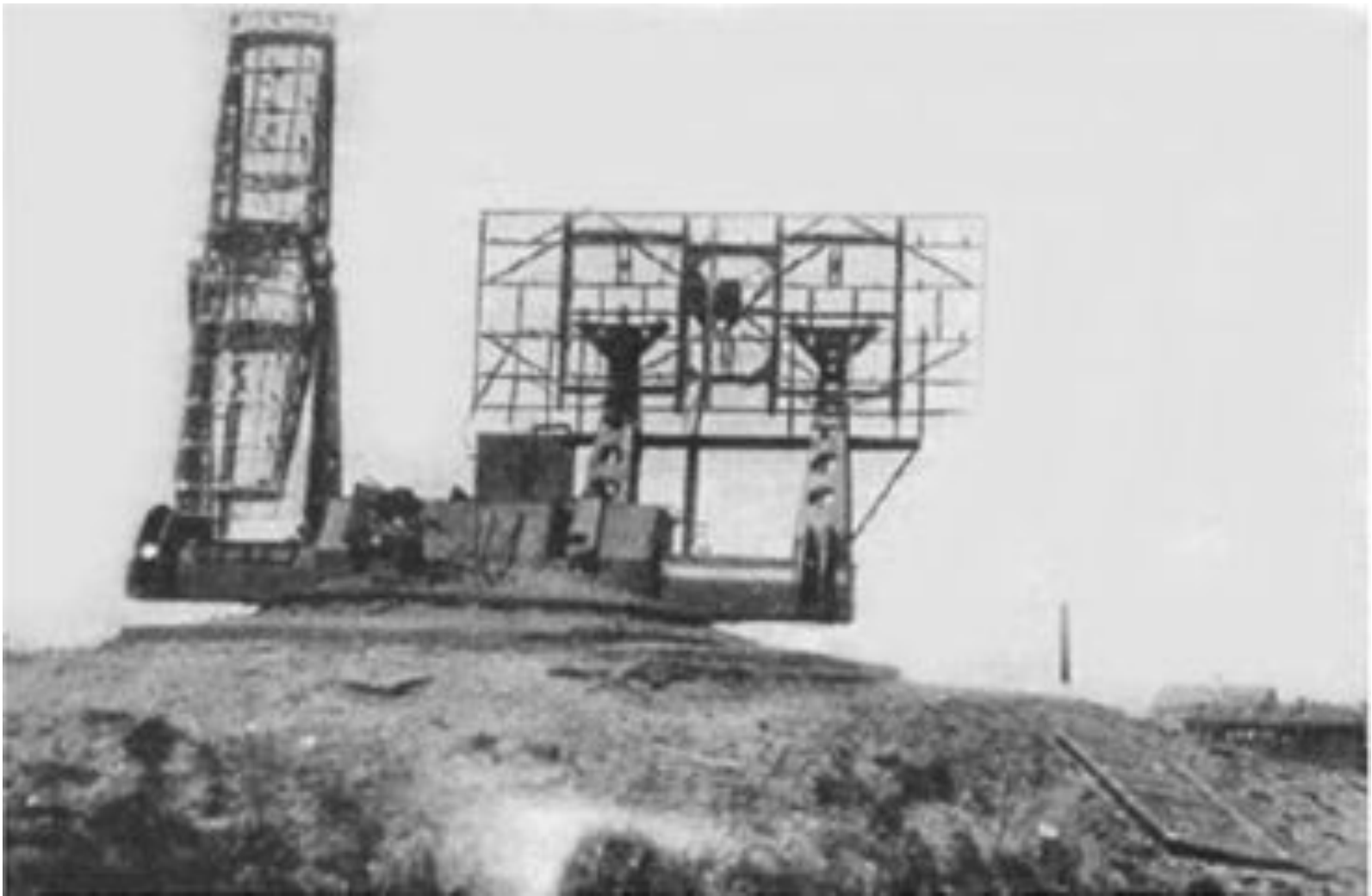
3. Германия, Англия и США быстро оказались от непрерывной радиолокации, сосредоточившись на импульсной, в СССР работы по непрерывной и импульсной радиолокации велись параллельно до 1939 г.

4. Передовые позиции в радиолокации занимала Германия

# РАДИОЛОКАТОРЫ ГЕРМАНИИ

**РЛС - «Фрея».** РЛС дальнего обнаружения (200 – 300 км) установлено более 1000 этих РЛС с задачей раннего предупреждения о воздушном нападении.



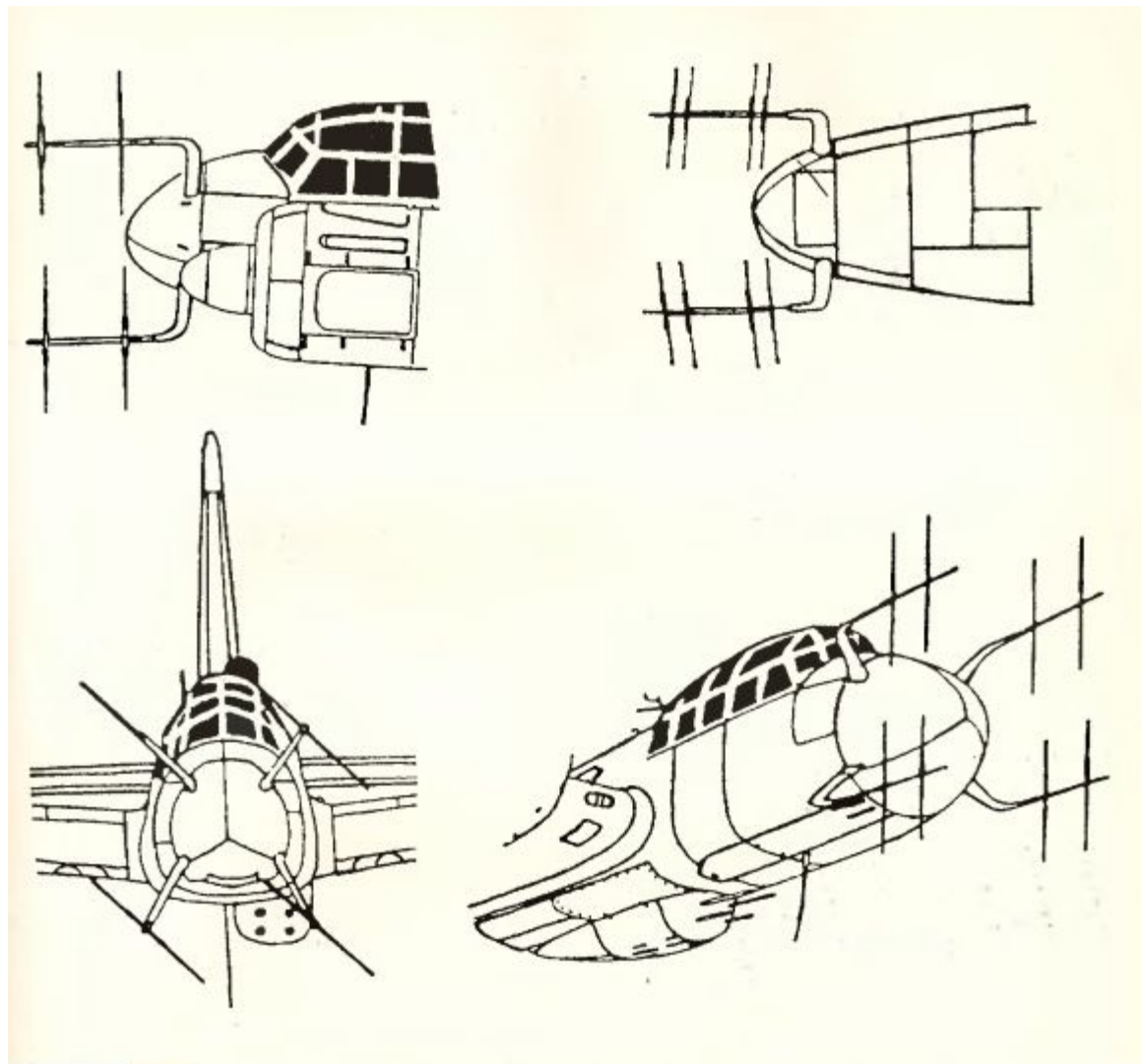


В 1940 году *Freya* стала основой сети ПВО, развернутой на севере Германии, а также вдоль северного побережья в Нидерландах, Бельгии и Франции.

РЛС орудийной  
наводки  
“ВЮРЦБУРГ”



# Варианты антенн самолетных РЛС



*Рис. 156. Антенна радара FuG 220 типа «Оленьи рога»  
(на ночном истребителе Ju 88G-1)*



# РАДИОЛОКАТОРЫ АНГЛИИ

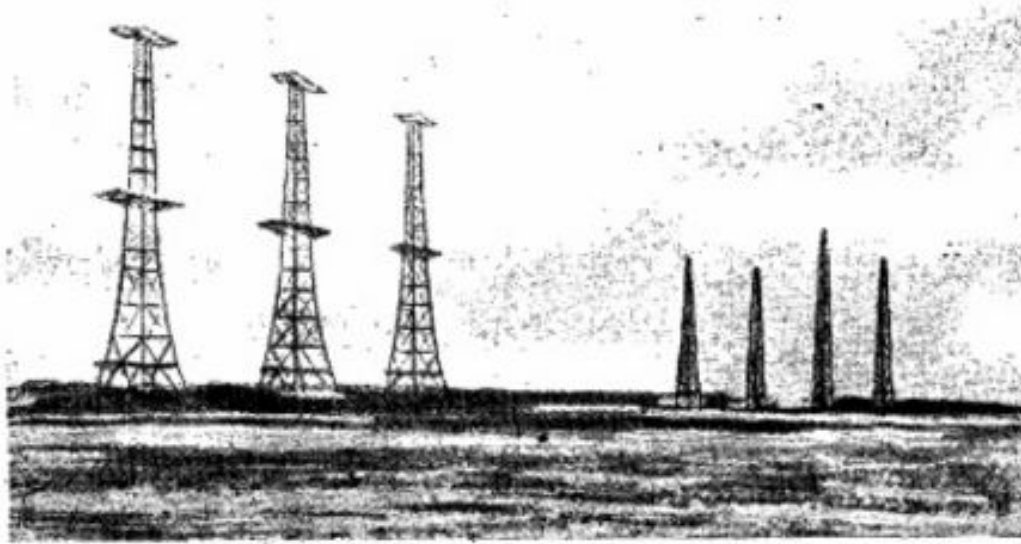
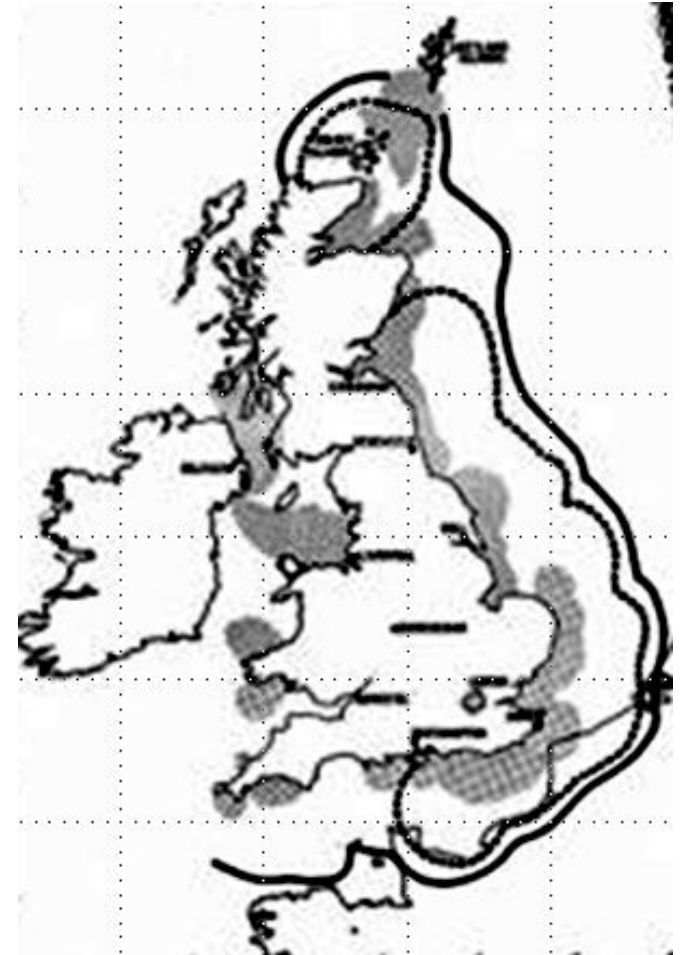


Рис. 1. Наружный вид антенн станций СН:  
слева — передающие антенны; справа — приёмные антенны

. Антенны передатчика были выполнены в виде башен высотой 118 метров, приемные антенны имели высоту 80 м.



**Впервые РЛС в Англии начали работать в декабре 1935г.,** когда на восточном побережье были установлены пять станций СН. (Chain Home). В августе 1937 г сеть станций расширили до двадцати.

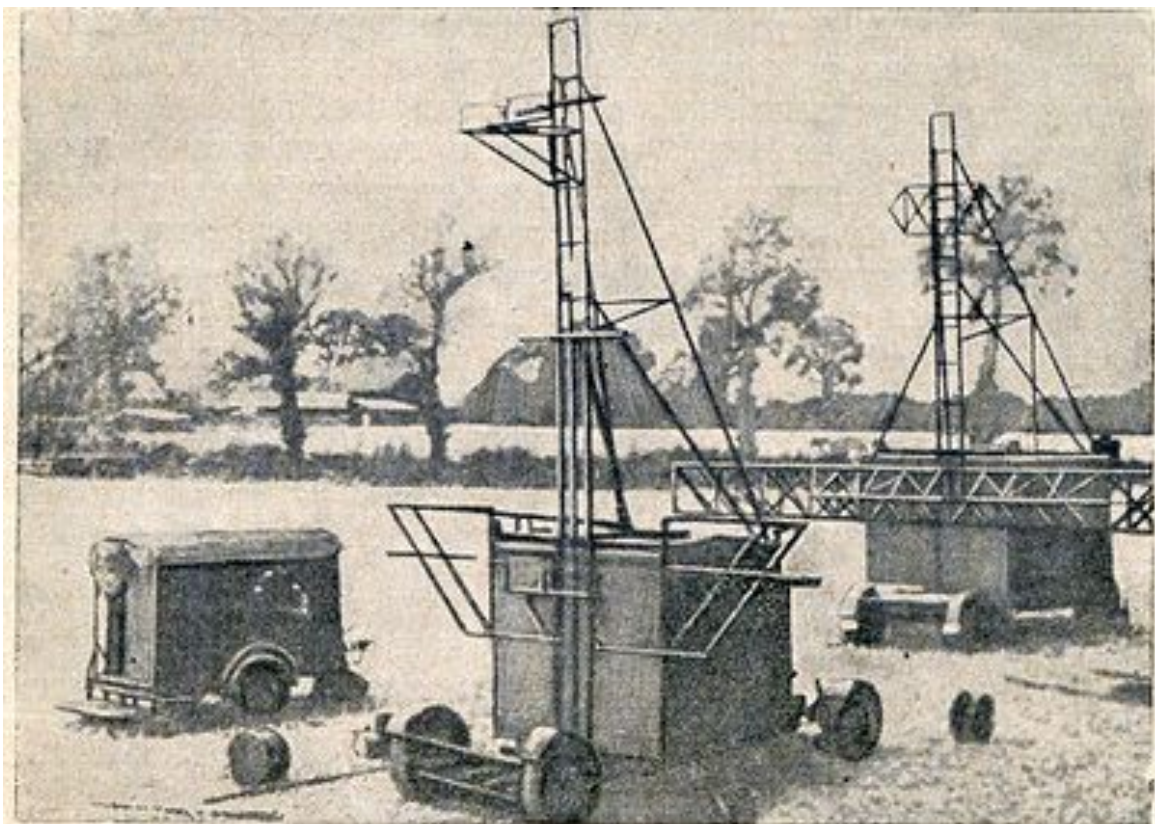
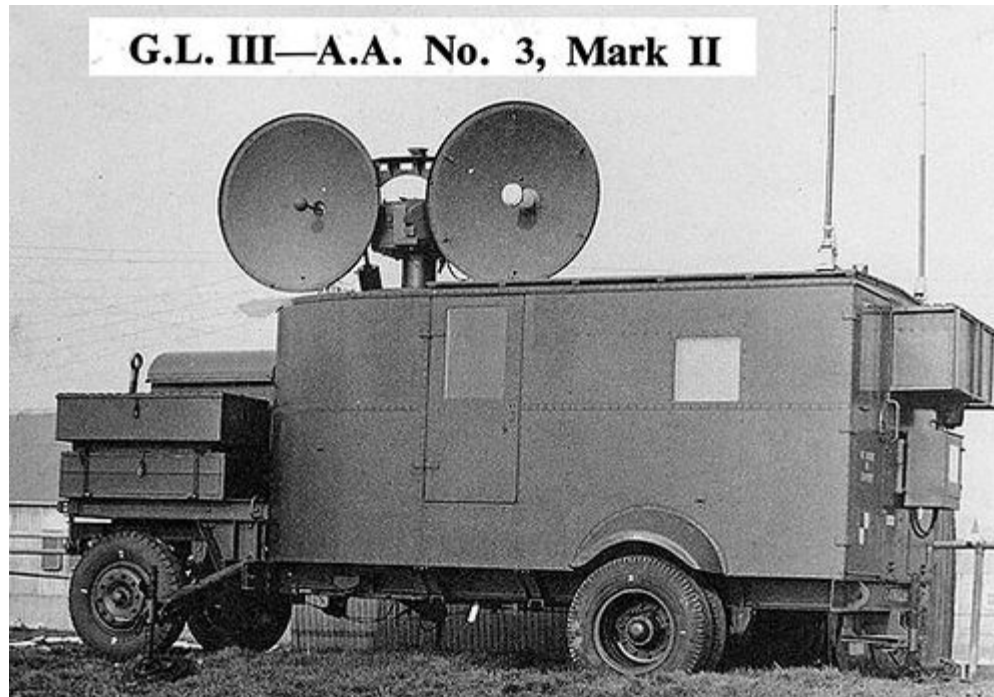


Рис. 18. Общий вид станции орудийной наводки GL-Mk-II:  
на переднем плане — приборная кабина; слева — агрегат питания;  
сзади — передвигающая кабина

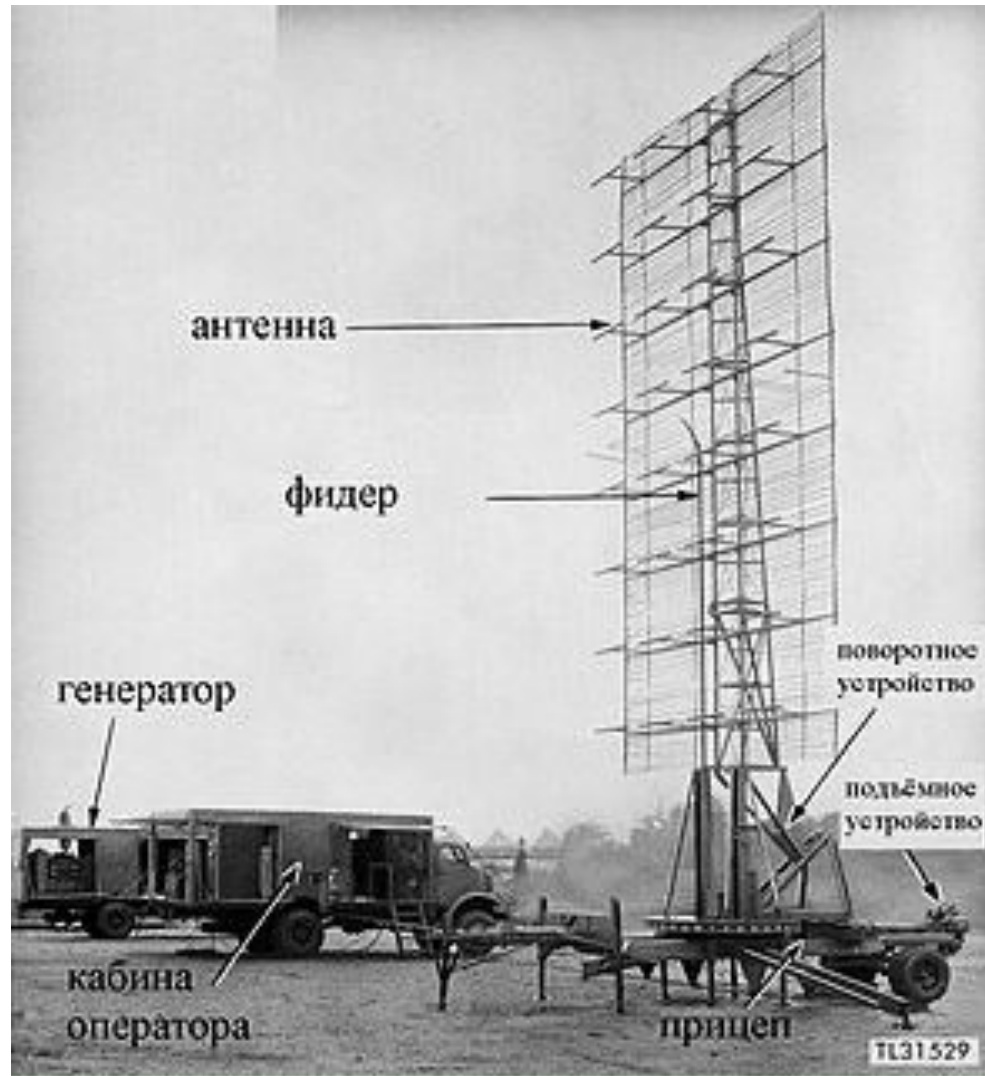
Станция орудийной наводки GL-Mk-II



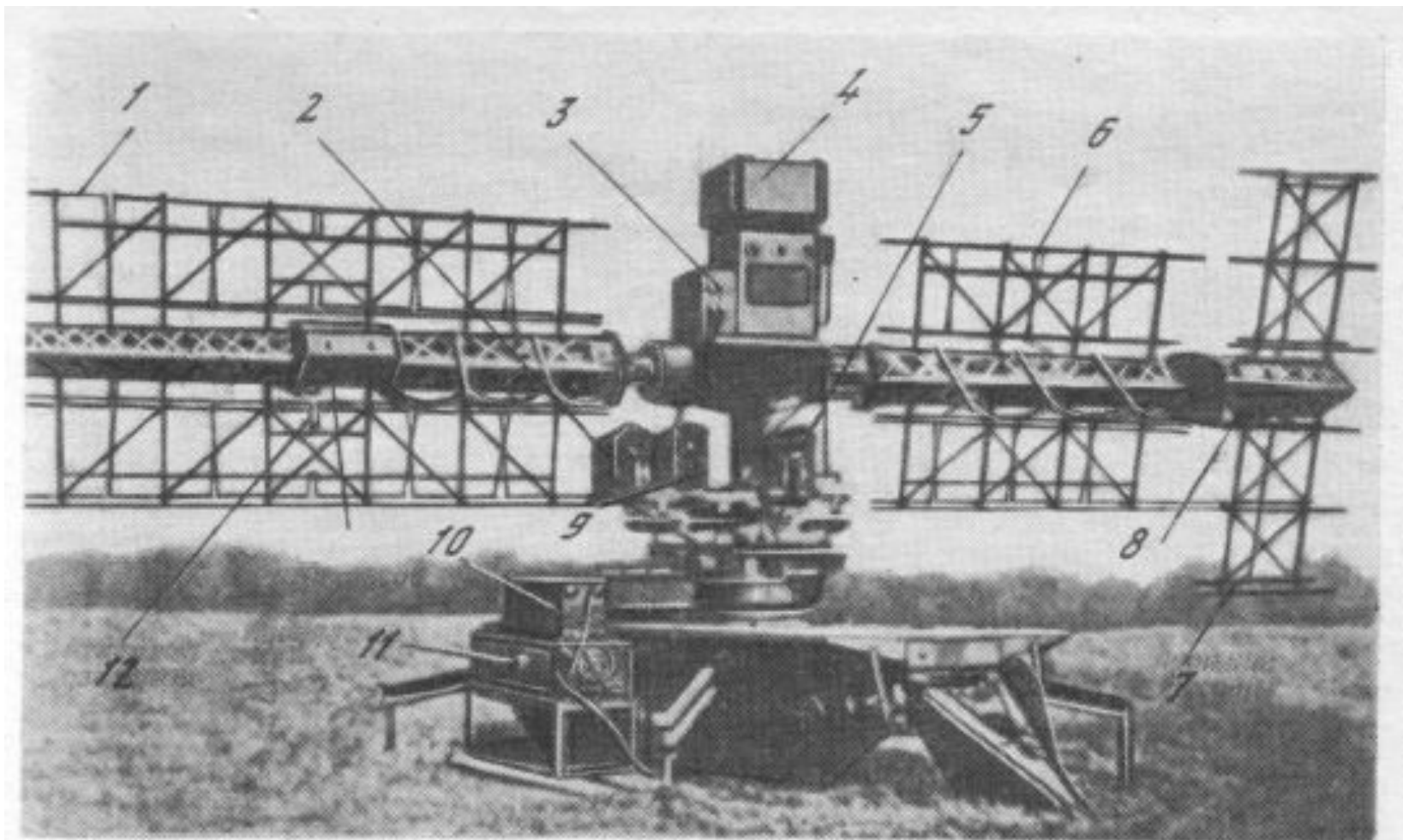


Станция орудийной наводки GL-Mk-III

# РАДИОЛОКАТОРЫ США



РЛС дальнего обнаружения SCR-271



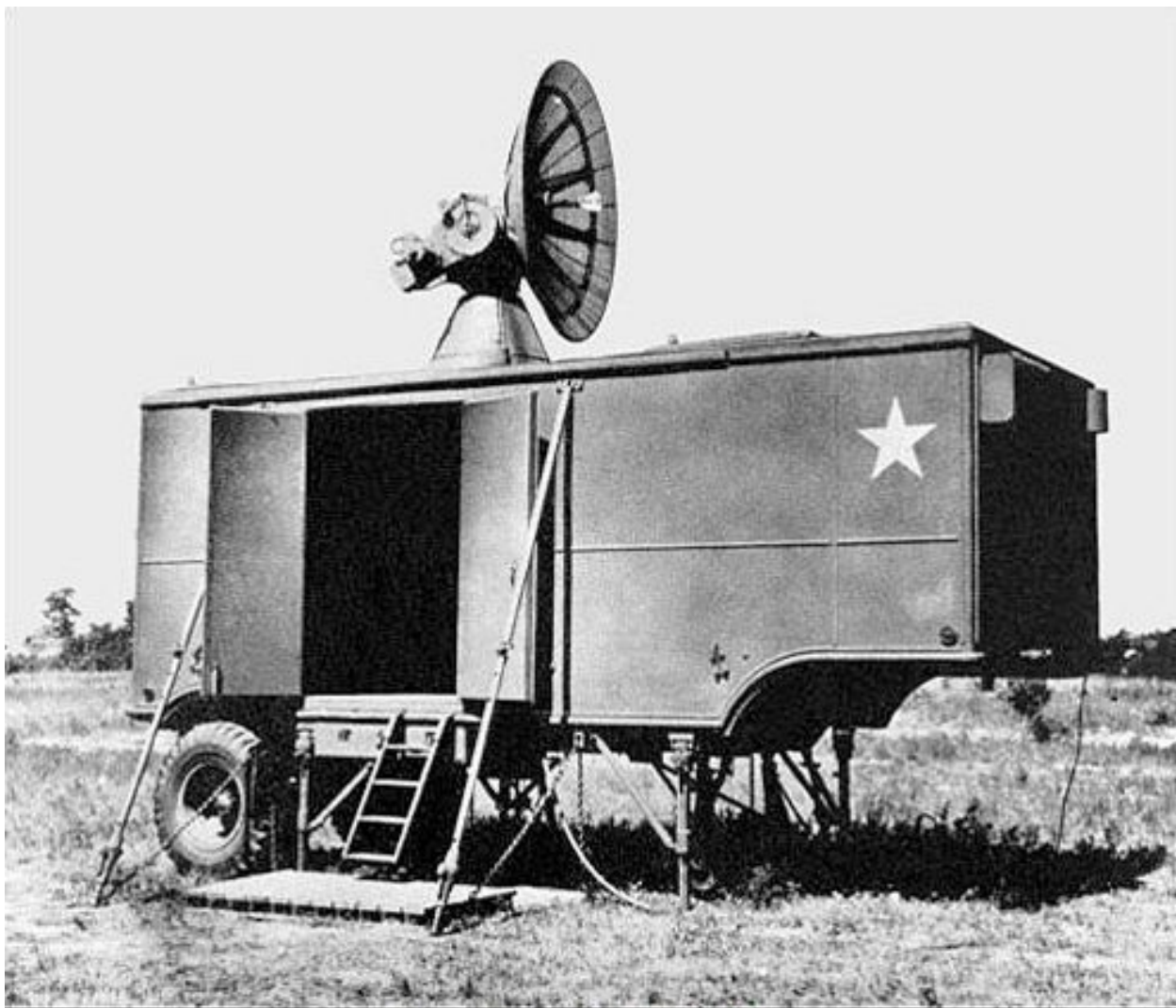
Общий вид радиолокатора SCR-268 (США)

1 — антенна азимута, 2 — индикатор дальности, 3 — трансформатор накала, 4 — передатчик, 5 — индикатор высоты, 6 — передающая антенна, 7 — антенна высоты, 8 — приемник высоты, 9 — индикатор азимута, 10 — генератор импульсов, 11 — модулятор, 12 — приемник азимута

Трехкоординатная РЛС целеуказания SCR-268



SCR-268 \*



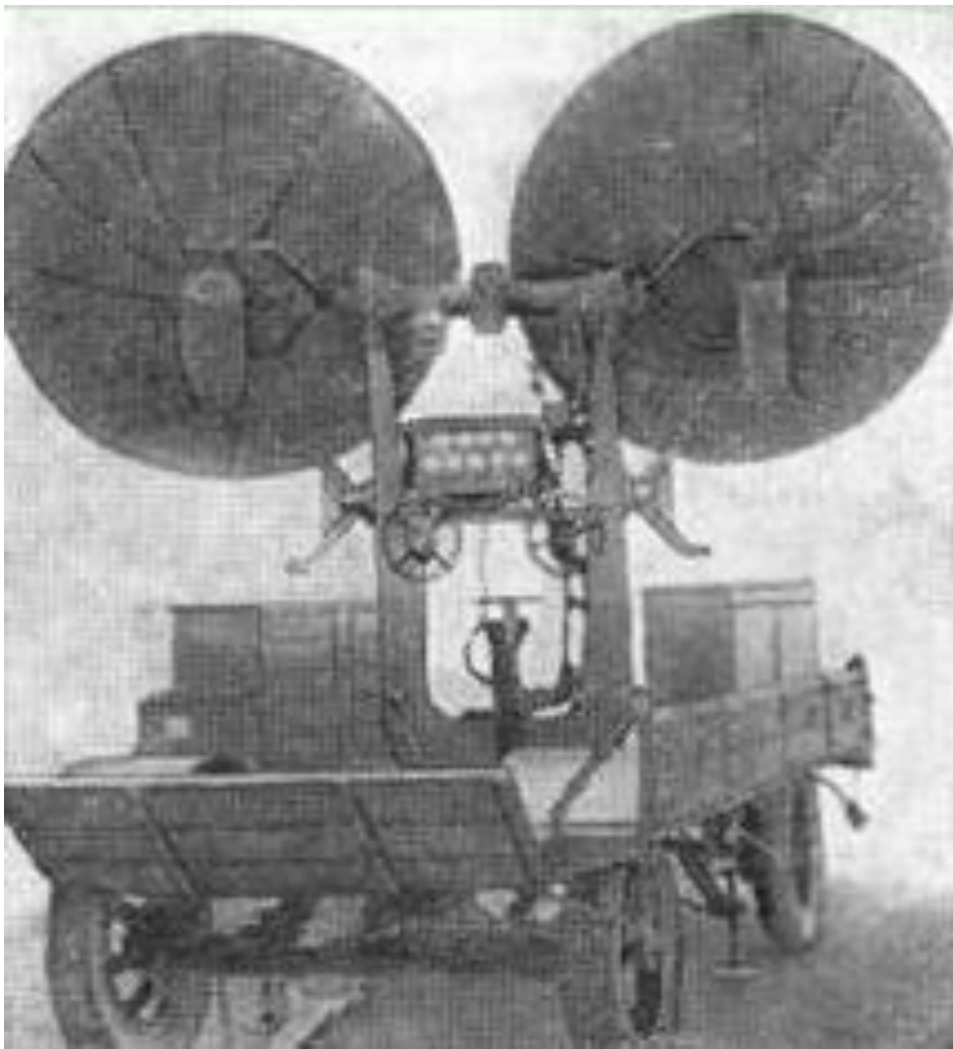
SCR-584 (US ARMY)

Станция орудийной наводки SCR-584  
Боевое применение с января 1944 г

# РАДИОЛОКАЦИЯ В СССР

Работы по радиообнаружению самолетов начались в 1934 г. по инициативе двух управлений наркомата обороны: главного артиллерийского управления (ГАУ, М.М.Лобанов) и управления противовоздушной обороны (УПВО, служба ВНОС, П.К.Ощепков)

ГАУ курировало разработку РЛС для управления зенитной артиллерией. Созданные образцы (Буря, Зенит, Рубин) не обеспечивали необходимой точности, и к началу ВОВ у нас не было РЛС орудийной наводки



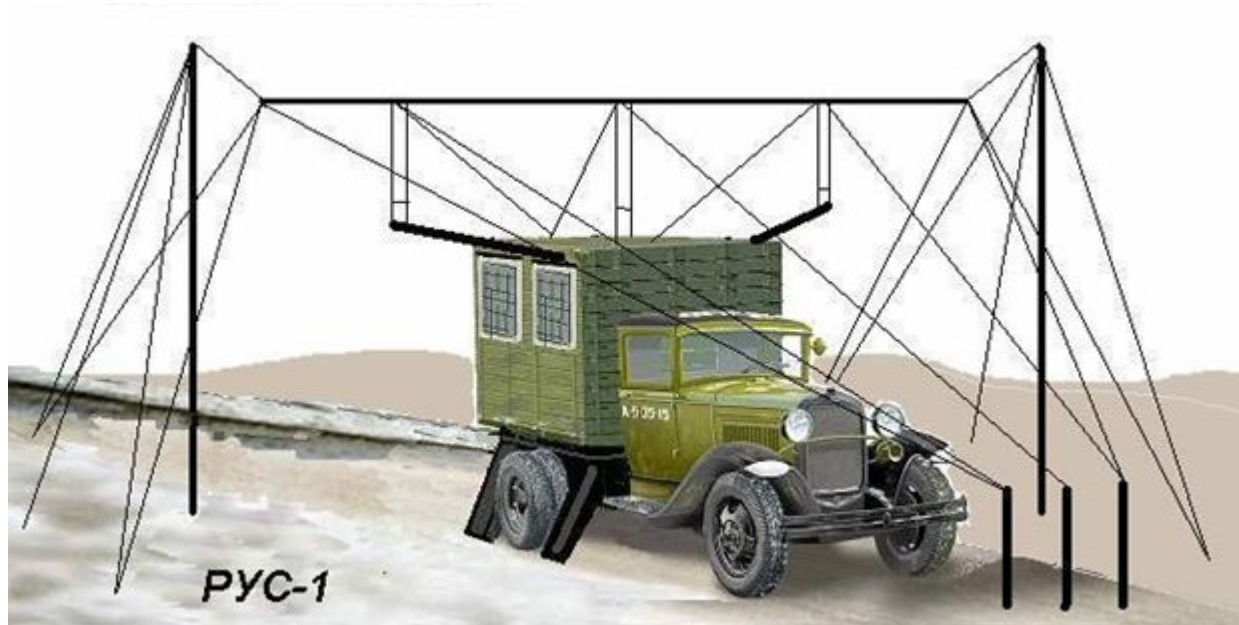
Радиоискатель Бурия (1935 г., НИИ-9,  
Шембель Б.К.) Дальность 10 км.  
Ошибка 3 – 4°



Зенитный радиоискатель Б-3  
(1939 г. НИИ-9)

Для ПВО разрабатывались РЛС обнаружения

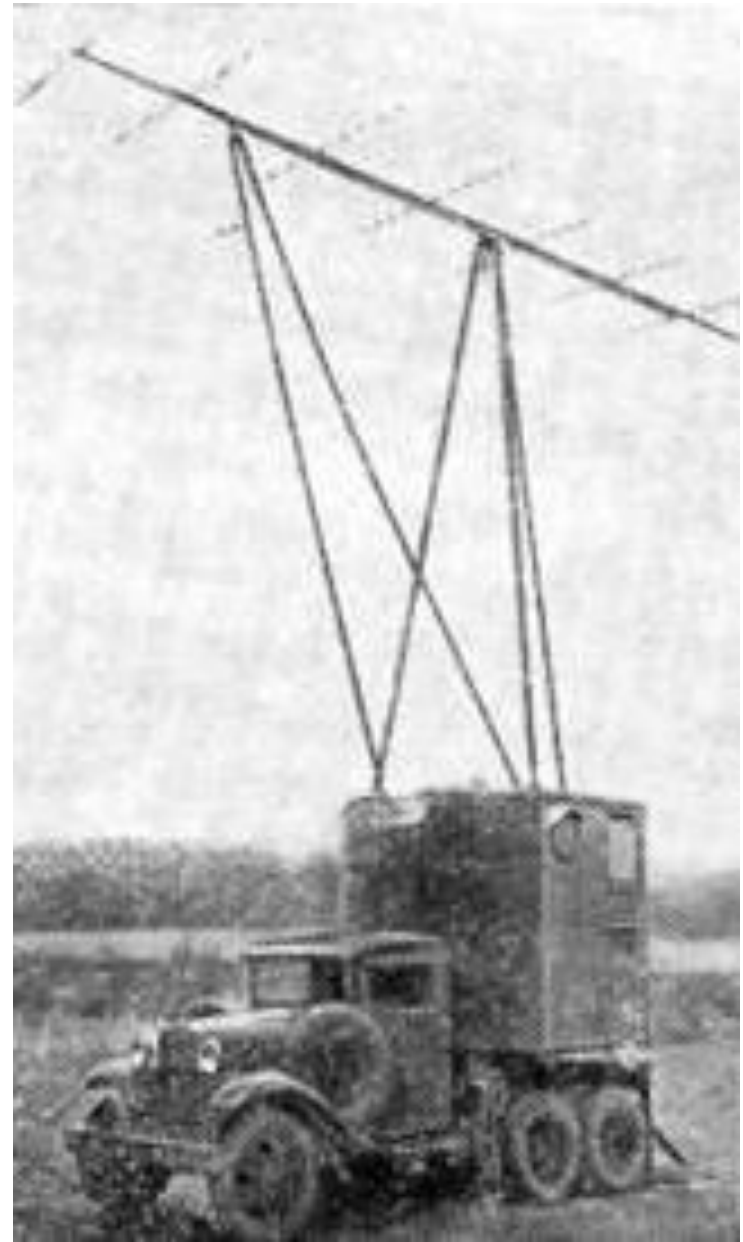
Под руководством Б.К.Шембея в ЛЭФИ разработана непрерывная радиолокационная система «Рapid». На основе нее в НИИИС КА создана РЛС «Ревень» (рук. работ Д.С.Стогов), принятая на вооружение под названием РУС-1.



Зимой 1939–1940 гг. во время войны с белофиннами система РУС-1 использовалась для обороны Ленинграда. Показала неудовлетворительные результаты и была отправлена в Закавказье и на Дальний Восток



В 1935 г. в ЛФТИ под руководством проф. Д.А.Рожанского начались работы по созданию импульсной РЛС. В 1936 г. после скоропостижной смерти Рожанского работу возглавил Ю.Б.Кобзарев. Вместе с дипломниками П.А. Погорелко и Н.Я.Чернецовым в 1937 г. разработали лабораторный образец, который показал неплохие результаты. Разработка промышленного образца затянулась до 1939 г. В 1939 г. РЛС «Редут» была изготовлена в НИИ-20 и в 1940 г. принята на вооружение под названием РУС-2



РУС-2 послужила основой для станций дальнего обнаружения – экспериментальная РЛС под Токсовым (в дальнейшем РЛС серии П), для самолетных РЛС (Гнейс, 1941) и корабельных РЛС (Гюйс, 1944).

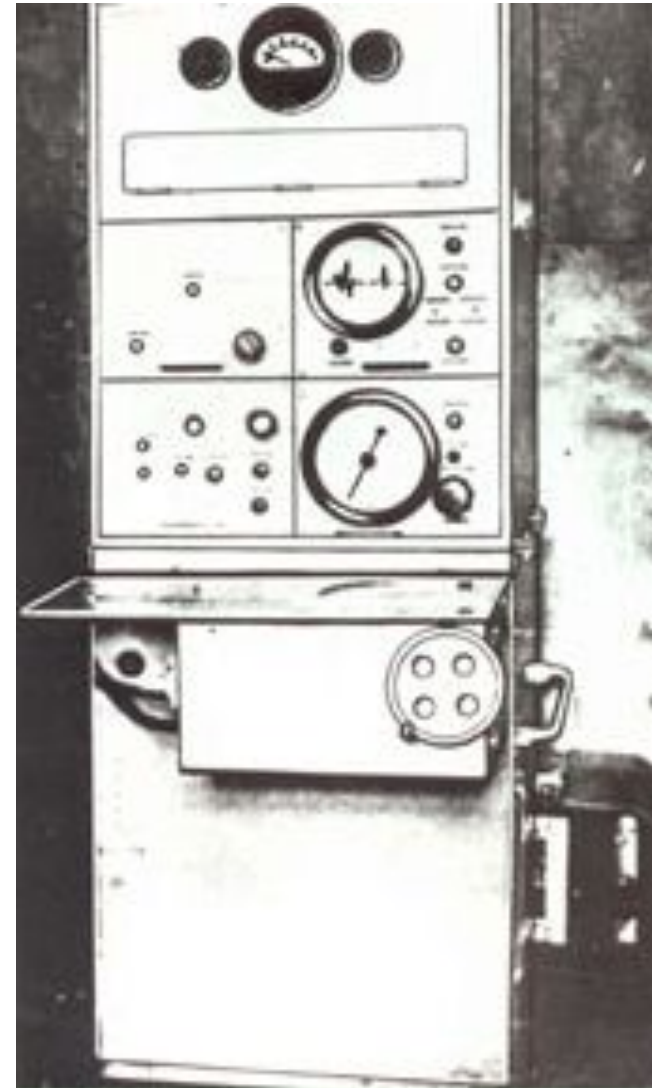


РЛС под Токсовым.  
Дальность действия до  
200 км



Антенная система станции  
дальнего радиолокационного обнаружения П-3  
(принята на вооружение в 1945 г.).

Приемно-  
индикаторный  
пульт станции  
П-3.



За годы Великой Отечественной войны было изготовлено РЛС обнаружения:

двухантенный вариант РУС-2 – 12 шт,

одноантенный вариант РУС-2 – 132 шт,

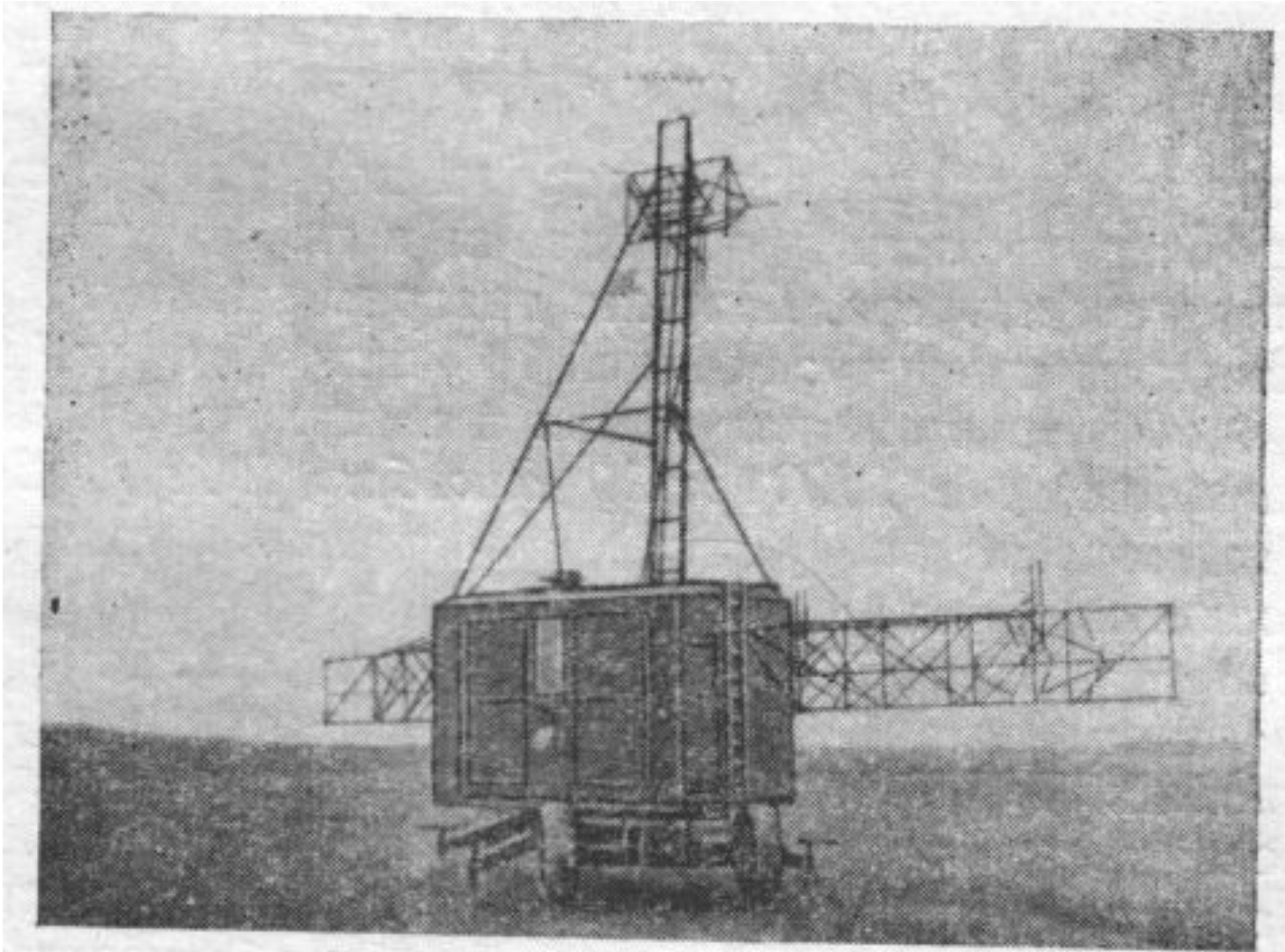
разборный одноантенный вариант РУС-2 – 463 шт,

РЛС дальнего обнаружения П-2м – 100 шт

Отечественные РЛС сопровождения (станции орудийной наводки) так и не были разработаны. По образцу английской GL-Mk-II было налажено производство РЛС СОН-2от (124 шт) После войны мы стали производить СОН-4 – копию американской SCR-584

Для сравнения, в США к концу войны производилось в месяц около 2000 РЛС разных типов.

# РЛС ОРУДИЙНОЙ НАВОДКИ СОН-2а (СССР)



Станция орудийной наводки СОН-2А (излучающая установка).

В 1943 г. был создан Совет по радиолокации.

4 июля 1943 года, за день до начала битвы на Курской дуге, председатель Государственного комитета обороны (ГКО) И.В.Сталин подписал постановление «О мероприятиях по организации производства радиолокационной аппаратуры».

Постановление фактически создавало новую для страны комплексную отрасль промышленности – радиоэлектронику. Заместителем председателя Совета был утвержден Аксель Иванович Берг, который взял на себя руководство всей радиопромышленностью до конца войны.

Громадное значение имела подготовка кадров для радиопромышленности. В ведущих вузах (МВТУ, МЭИ, МАИ) были образованы кафедры радиолокации. В 1947 г. Совет по радиолокации был расформирован, но дело его продолжалось. В 1952 г. были открыты три радиотехнических института: в Минске, Рязани и Таганроге. Переводилась техническая литература, были доступны периодические издания.

# ПОСЛЕВОЕННЫЕ ГОДЫ

Послевоенные 1940-е годы были временем осмысления сделанного. Военных заказов не было, новые РЛС не требовались

Сотрудники МТИ издали серию книг по теории и технике радиолокации. Начла статистической радиолокации были изложены в книге «Пороговые сигналы». Достижения в импульсной схемотехнике в трех книгах «Ламповые схемы измерения времени

Наиболее важным достижением данного этапа является развитие специфического математического аппарата - статистической радиолокации. Потребность в создании теории радиолокации, которая устанавливала бы основные закономерности и критерии качества любых радиолокационных станций, привела к развитию вероятностного подхода к решению ее задач, к разработке на ее основе новых методов обработки и синтеза сигналов. Задача выделения сигнала в шумах является статистической и может быть решена только методами теории вероятностей. Прием сигналов стал рассматриваться как статистическая задача сначала в радиолокации, а затем и в радиотехнике.

# К СОВРЕМЕННОЙ РАДИОЛОКАЦИИ

1950

Моноимпульсные РЛС; РЛС дальнего обнаружения баллистических ракет; РЛС с селекцией движущихся целей; использование фазоманипулированных сигналов; РЛС наведения ракет “воздух-воздух”; метеорологические РЛС; разработка статистической теории РЛС

1960

Бортовые РЛС дальнего обнаружения; Загоризонтные РЛС; РЛС обнаружения и слежения за космическими аппаратами; РЛС с фазированными антенными решетками; РЛС с цифровой обработкой сигналов

1970

РЛС со сложными импульсными сигналами (с внутриимпульсной модуляцией); импульсно-доплеровские бортовые РЛС; РЛС зондирования поверхности земли; РЛС с синтезированной апертурой

1980

1990

Многофункциональные самолетные РЛС; Бортовые РЛС для управления ближним боем; РЛС управления воздушным движением; автомобильные РЛС; РЛС для управления космическими аппаратами

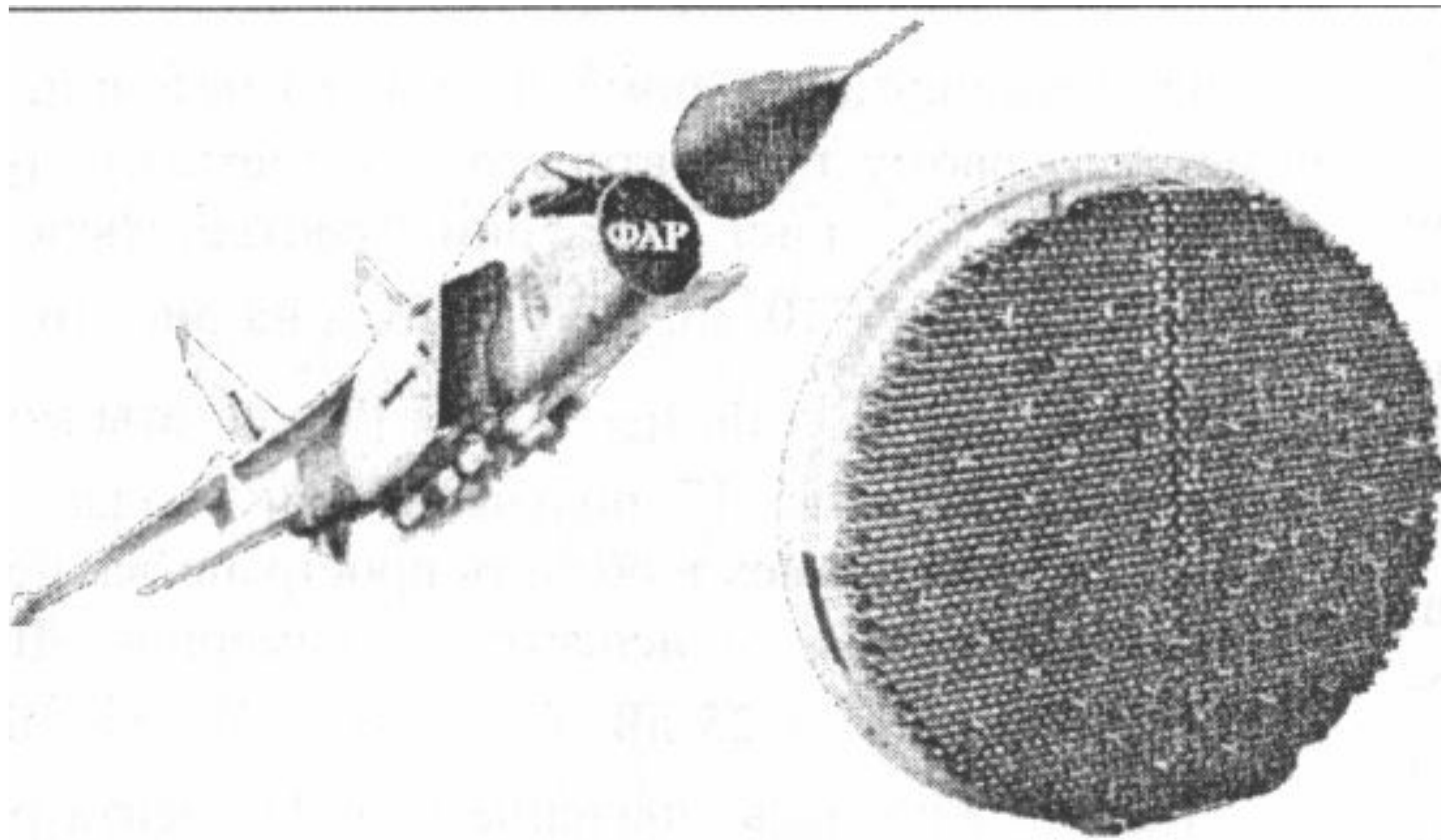


**В пятидесятые годы помимо бортовых радиолокаторов появились радиоприцелы для бомбометания «Кобальт» и «Рубидий», которые позволяли производить прицеливание по индикатору РЛС без необходимости прямой видимости земли.  
Послевоенные истребители оснащались БРЛС «Торий», «Коршун», «Сокол» и «Изумруд»**



**РЛС Коршун**

# САМОЛЕТНАЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНАЯ РЛС





↙  
РЛС 5Н84А «Оборона» очень хорошо зарекомендовала себя как средство ЦУ. Фото: Георгий Данилов



**Загоризонтная РЛС Дуга**

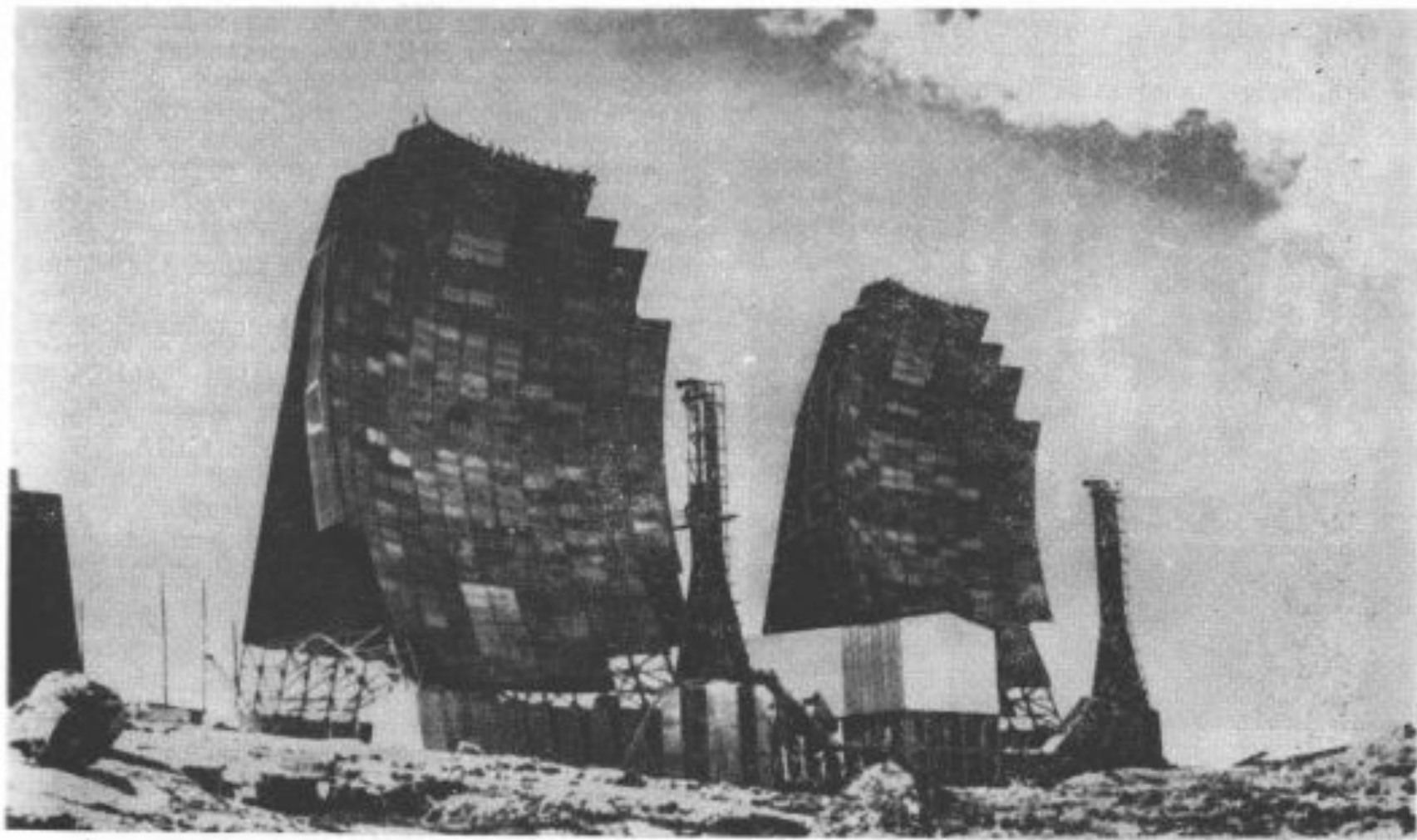


**РЛС Дон-2Н**



**Метеорная РЛС**

# РЛС ДАЛЬНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ РАКЕТ



Эти две антенны были частью системы раннего обнаружения баллистических ракет и построены фирмой Western Electric на полуострове Лабрадор. Данная система могла

обнаруживать ракету на высоте около 1000 км при дальностях 4800 км, давая тем самым опережение около 20 мин.

Производство первых самолетных РЛС было налажено в Англии уже в 1939 году. От нее не отставали и США. «Радиационная лаборатория Массчужетского технологического института, работавшая в этом направлении с 1940 по 1945 гг

И хотя в начале войны германская техника в этой области лидировала, США и Англия к 1942 году догнали немцев прежде всего благодаря массивной финансовой государственной поддержке развития радиолокационной науки и техники. «Одна только Радиационная лаборатория Массчужетского технологического института получила более двух миллиардов долларов в течение пяти военных лет». Лишь затраты на разработку атомной бомбы в течение Второй мировой войны могут приблизительно быть сравнимыми с финансированием радиолокации. 61 Микроволновый комитет Национального исследовательского комитета обороны принял решение о создании специальной лаборатории - Радиационной лаборатории, укомплектовав ее штатом физиков из различных университетов, и передав в административное управление Массчужетскому технологическому институту в ноябре 1940 года. Эта лаборатория сконцентрировала свое внимание на разработке радиолокационных систем.

Электронная промышленность США за военный период превратилась в мощную отрасль. В истории американского Комитета по военному производству приводятся красноречивые цифры: «Если в 1941 году общий объем заводских продаж для основных 55 изготовителей радиоаппаратуры составлял 240 млн. долл., то в 1944 году объем продаж аппаратуры радиосвязи и радиолокации с учетом производства деталей достиг 4,5 млрд. долл., что составило рост в 1875%. Число работающих в отрасли достигло 550 тысяч



4 июля 1943 года, за день до начала битвы на Курской дуге, председатель Государственного комитета обороны (ГОКО) Иосиф Сталин подписал постановление «О мероприятиях по организации производства радиолокационной аппаратуры», в соответствии с которым был образован Совет по радиолокации при ГОКО «Постановление фактически создавало новую для страны комплексную отрасль промышленности – радиоэлектронику. Речь шла именно о создании новой отрасли как единой структуры – отдельные НИИ, КБ, заводы существовали и ранее.

Заместителем председателя Совета был утвержден Аксель Иванович Берг<sup>74</sup> (см. фото<sup>75</sup> на рис. 21), который и осуществлял каждодневное научное и организационное руководство. До октября 1944 года Аксель Иванович, оставаясь в должности замнаркома, осуществлял и руководство всей радиопромышленностью, которая входила в Наркомат электропромышленности.

Наиболее важным достижением данного этапа является развитие специфического математического аппарата - статистической радиолокации. Потребность в создании теории радиолокации, которая устанавливала бы основные закономерности и критерии качества любых радиолокационных станций, привела к развитию вероятностного подхода к решению ее задач, к разработке на ее основе новых методов обработки и синтеза сигналов. Задача выделения сигнала в шумах является статистической и может быть решена только методами теории вероятностей. Прием сигналов стал рассматриваться как статистическая задача сначала в радиолокации, а затем и в радиотехнике.

Прежде всего в 1950-е годы наблюдается стремительный рост литературы по радиолокации: выходит в свет целый ряд учебников и монографий, в которых развиваются ее теоретические основы. Налаживается планомерная и систематическая подготовка специалистов - разработчиков и исследователей - в данной области. В то же время уже организованы не только специальные курсы по радиолокации, но и специальные кафедры в технических вузах.

Радиолокация формируется как новая научно-техническая дисциплина, тесно связанная с нуждами и запросами инженерной практики и промышленного производства. На этом этапе происходит расширение сферы применения радиолокации не только в военной технике, но в радионавигации, радиоастрономии, для решения геодезических задач и т.д. В самой же радиолокации все более четко выделяются отдельные области исследования: активная и пассивная локация, анализ радиолокационных сигналов и разработка систем автоматического управления РЛС и другие.

мы с большим вниманием следили за научно-исследовательскими и конструкторскими работами, которые проводились в США и Англии. Особую роль в наших разработках впоследствии сыграли труды Массачусетского технологического института (США) в области радиолокации. Наибольшую известность среди советских специалистов получила радиолокационная станция орудийной наводки SCR -584, которая выпускалась фирмами “Дженерал Электрик” и “Вестингаузен”. В ней использовалось коническое сканирование диаграммы направленности антенны при ширине луча  $4^\circ$ . Это позволило осуществлять пеленг цели равносигнальным методом и автоматическое сопровождение обнаруженного самолета противника. Станция работала на длине волны примерно 10 см с параболической антенной диаметром 1,8 м. Эта РЛС на вооружение армии США начала поступать в 1944 г. В конце этого года РЛС SCR -584 прибыла в Советский Союз, на радиолокационный полигон Западного фронта ПВО

# РАДИОЛОКАЦИЯ В ВОЕННЫЕ ГОДЫ

1945	Принятие на вооружение РЛС П-3	К концу войны производилось в месяц около 2000 РЛС разных типов
1944	Самолетная РЛС “Гнейс-2” Корабельные РЛС обнаружения “Гюйс” и сопровождения “Марс” и “Юпитер”	Радиолокационный бомбоприцел Eagle (AN/APQ-7) В 1944 г. заказано производство 1160 шт.
1943	Эвакуация из Москвы НИИ-20 Первая партия РЛС РУС-2с (изготовлено за годы войны 463 шт) РЛС П-2м (изготовлено 100 шт) Образован п/я 465 для копирования английской станции орудийной наводки GLM k2. Выпуск СОН-2от (изготовлено 124 шт) Создан Совет по радиолокации (Зам. председателя А.И.Берг)	Самолетные РЛС с индикатором кругового обзора “азимут-дальность” Самолетная РЛС ASB (>26000 шт) РЛС орудийной наводки SCR-584. Боевое применение с янв. 1944 (Изгот. 2000 шт) Самолетная РЛС прицельного бомбометания H2X Самолетная РЛС перехвата SCR-720. (К июню 1944 изготовлено несколько тыс.)
1942	Принята на вооружение РЛС РУС-2 (изготовлено за годы войны 12+132 шт)	Создание Радиационной лаборатории при Массачусетском технол. инст-те (За годы войны разработано около 150 образцов РЛ техники в СВЧ диапазоне) РЛС обнаружения SCR-268
1941		

СССР

США