



# Георадар воздушного базирования

Д.Е. Едемский, В.А. Гарбацевич, И.В. Прокопович

*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн  
им. Н. В. Пушкина РАН, г.Москва, г.Троицк*

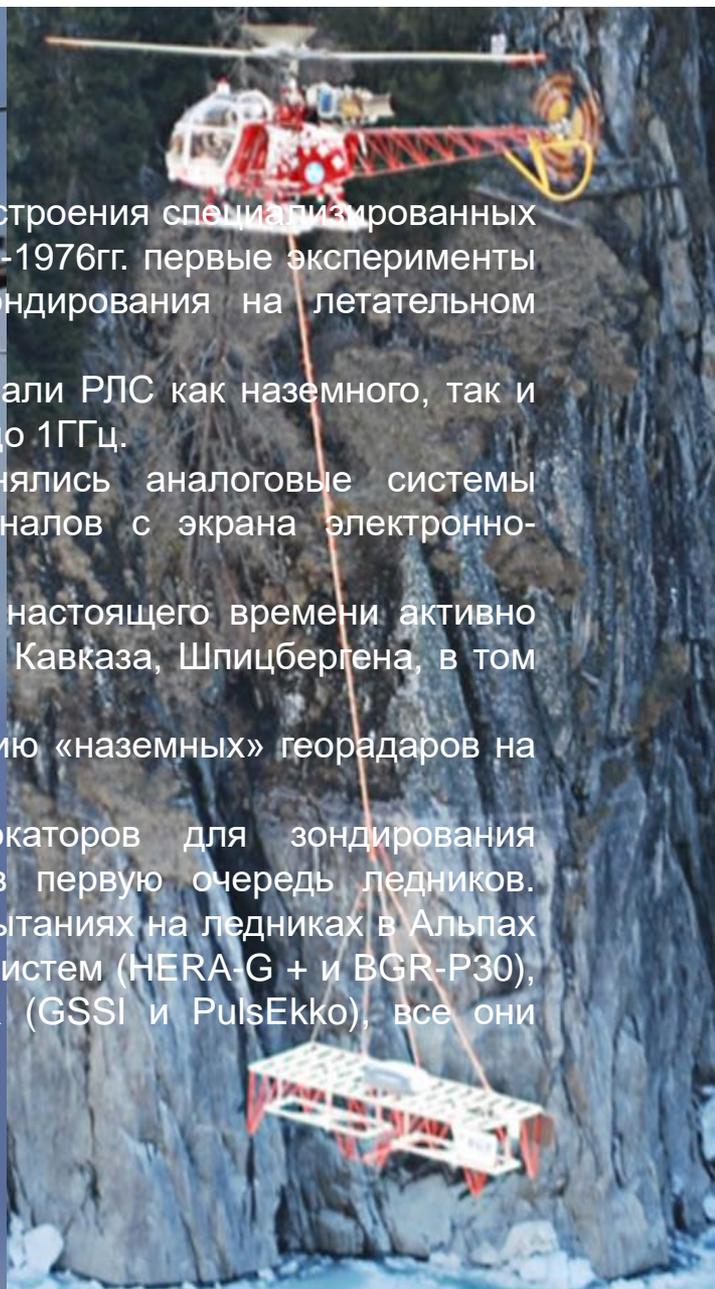
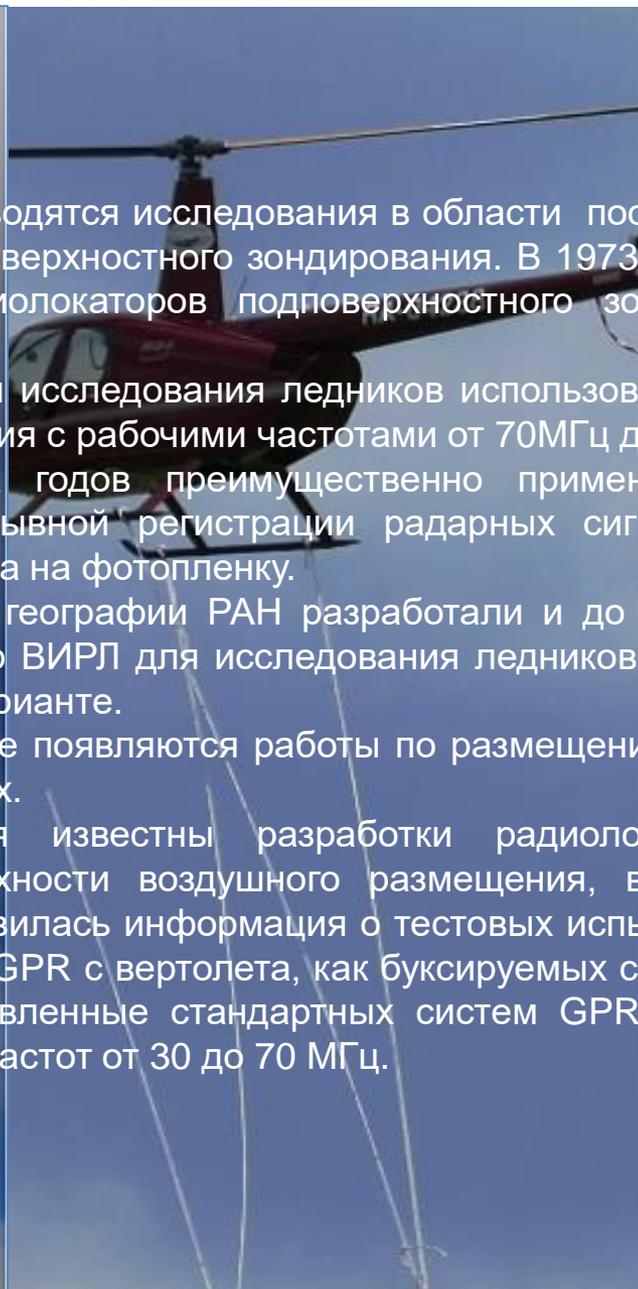
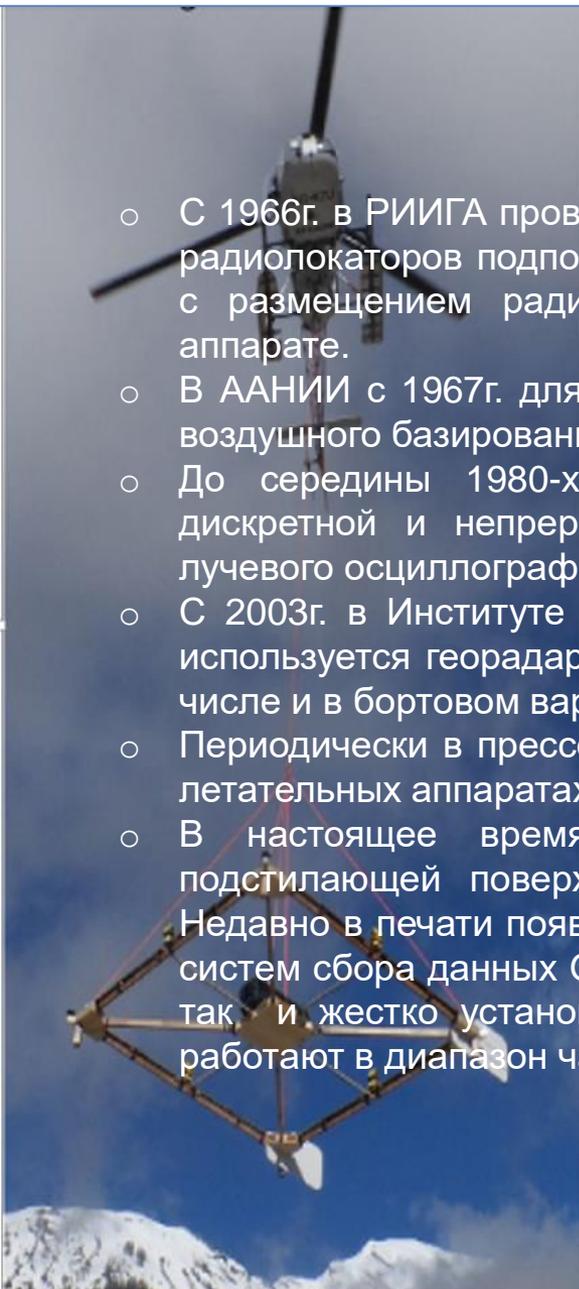
# План доклада

1. Историческая справка
2. Антенна. Аппаратура
3. Моделирование
4. Эксперименты. Результаты
5. Выводы

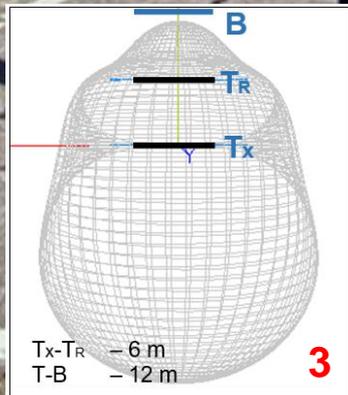
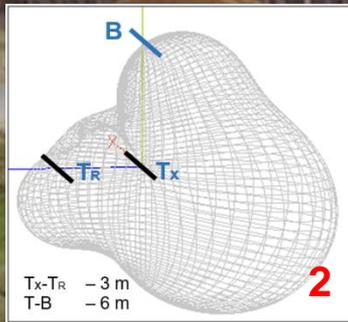
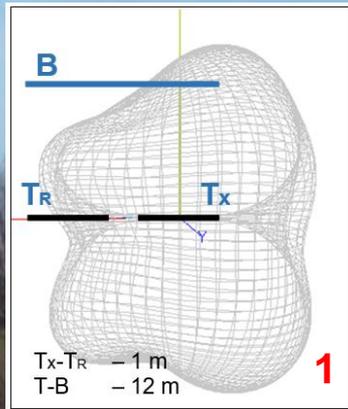


# Историческая справка

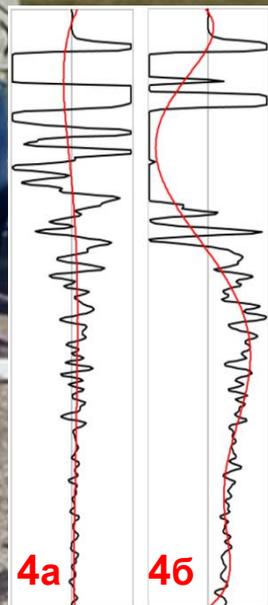
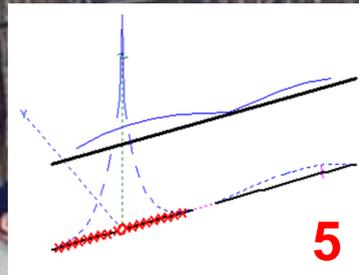
- С 1966г. в РИИГА проводятся исследования в области построения специализированных радиолокаторов подповерхностного зондирования. В 1973-1976гг. первые эксперименты с размещением радиолокаторов подповерхностного зондирования на летательном аппарате.
- В АНИИ с 1967г. для исследования ледников использовали РЛС как наземного, так и воздушного базирования с рабочими частотами от 70МГц до 1ГГц.
- До середины 1980-х годов преимущественно применялись аналоговые системы дискретной и непрерывной регистрации радарных сигналов с экрана электронно-лучевого осциллографа на фотопленку.
- С 2003г. в Институте географии РАН разработали и до настоящего времени активно используется георадар ВИРЛ для исследования ледников Кавказа, Шпицбергена, в том числе и в бортовом варианте.
- Периодически в прессе появляются работы по размещению «наземных» георадаров на летательных аппаратах.
- В настоящее время известны разработки радиолокаторов для зондирования подстилающей поверхности воздушного размещения, в первую очередь ледников. Недавно в печати появилась информация о тестовых испытаниях на ледниках в Альпах систем сбора данных GPR с вертолета, как буксируемых систем (HERA-G + и BGR-P30), так и жестко установленные стандартных систем GPR (GSSI и PulsEkko), все они работают в диапазон частот от 30 до 70 МГц.



# Моделирование антенны, аппаратура

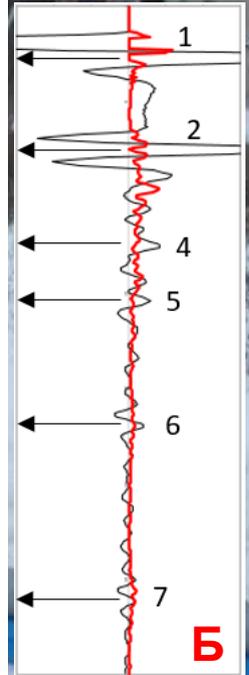
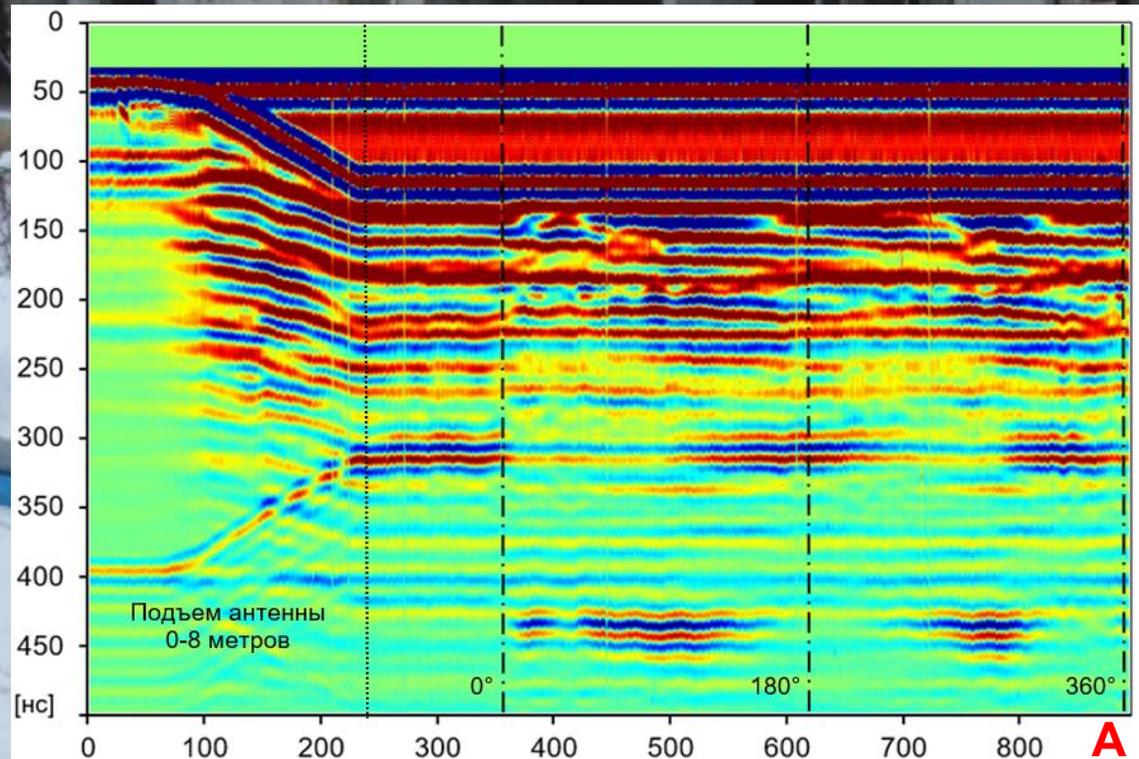


- Рис. (1) – (3). Антенные системы разной конфигурации и их ДН, 50МГц.
- Рис. 4 (а, б). Влияние расстояния между антеннами на форму сигнала:
  - Рис. 4а. Расстояние между антеннами  $\sim \lambda$ ;
  - Рис. 4б. Расстояние между антеннами  $= \lambda/2$ .
- Рис. (5) . График распределение тока в антенне.



- При анализе рассматривались три варианта размещения антенн: 1) Антенны в одну линию параллельно земле; 2) Антенны параллельно друг-другу в одной плоскости, параллельно поверхности земли; 3) Антенны параллельно друг-другу, перпендикулярно к поверхности земли.
- Разработка и анализ проводился с применением MMANA-GAL-PRO – программного комплекса для создания, редактирования, анализа и расчета антенн.
- Анализ параметров нагруженного диполя проводился на основе распределения токов в полотно плеч диполя.
- Установлено, что оптимальным для импульсного сигнала является его полное затухание к концу плеча нагруженного диполя.
- Диаграмма направленности антенной системы зависит от соотношения длины волны к размеру антенны и взаимному расположению антенн и вертолета.
- Антенна – резистивно-нагруженный диполь, состоящий из десяти элементов.
- Передатчик - амплитуда зондирующего импульса 10кВ, частота повторения -1КГц.
- Приемник – измерительный тракт Лоза-В, 50-300МГц.

# Результаты измерений



- Проверка работоспособности георадара в условиях строительной площадки. Подъем антенны 0-20 метров; профилирование вдоль стены дома на разных высотах; поворот антенны на 360°.
- Рис. А. Антенна 50МГц. Ориентация антенны - минимум ДН в сторону здания (0°). Подъем антенны 0 - 8м.
- Рис. Б: черный цвет – усредненный А-скан по профилю; красный цвет – среднее абсолютное значение отклонений отдельных точек от среднего.
- Рис. Б: 1 - зонд; 2 - сигнал от поверхности земли; 4, 5 – максимум сигнала при минимуме среднего отклонения значений; 6 – сигнал от стрелы крана; 7 – сигнал от башни крана.

# Моделирование

- Выполнено двумерное моделирование с использованием ПО grgMax
- В качестве зондирующего импульса взята модель «gaussdot» – первая производная функции Гаусса с центральной частотой 50 МГц.
- Цель - анализ полученных данных в результате эксперимента и подтверждение нашей интерпретации результатов

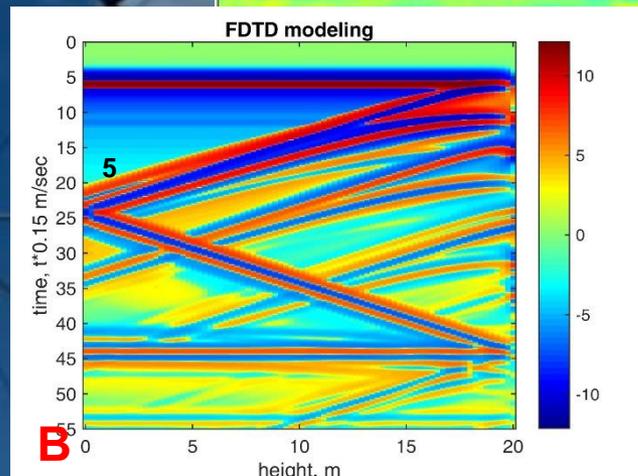
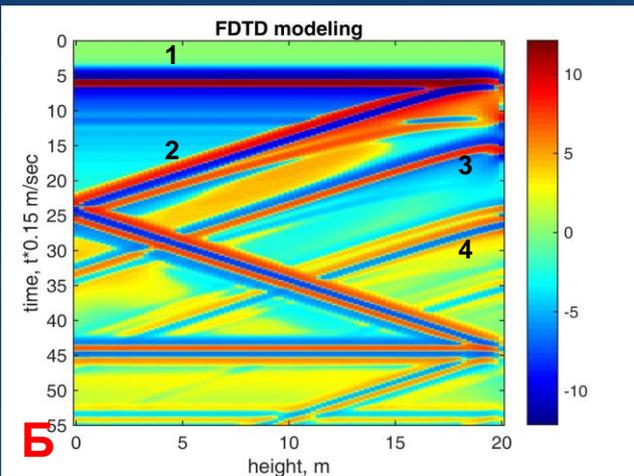
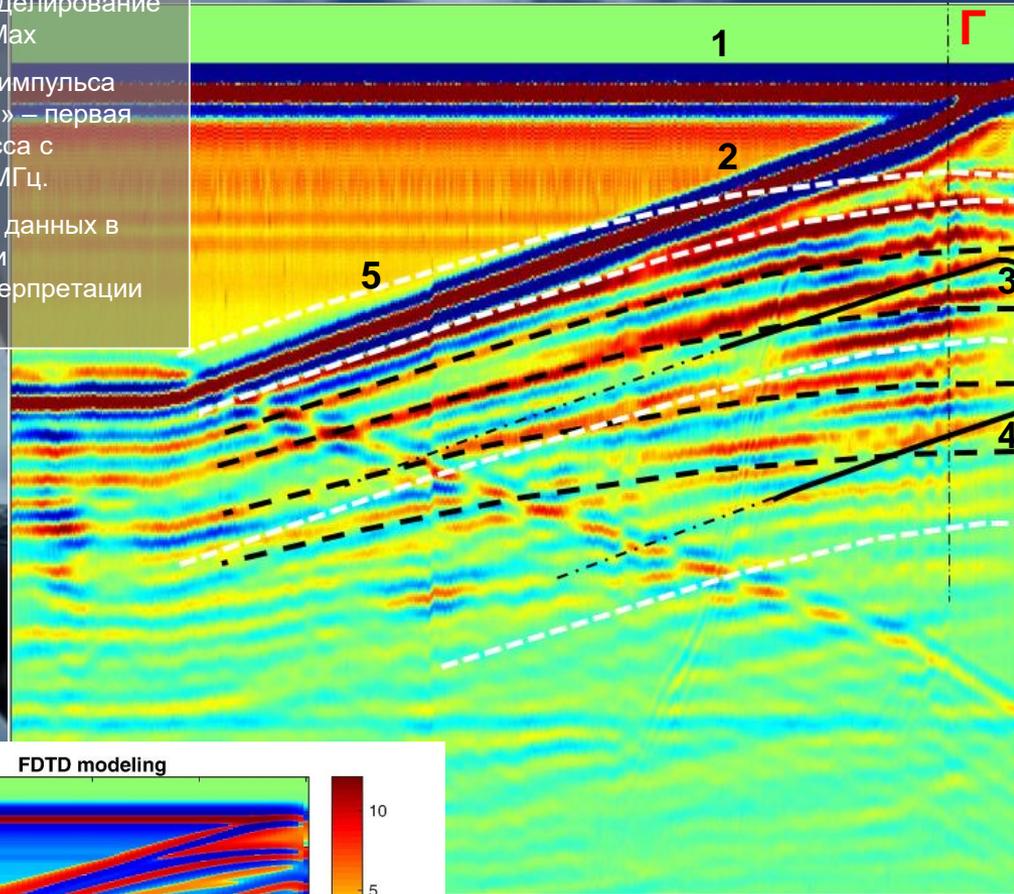
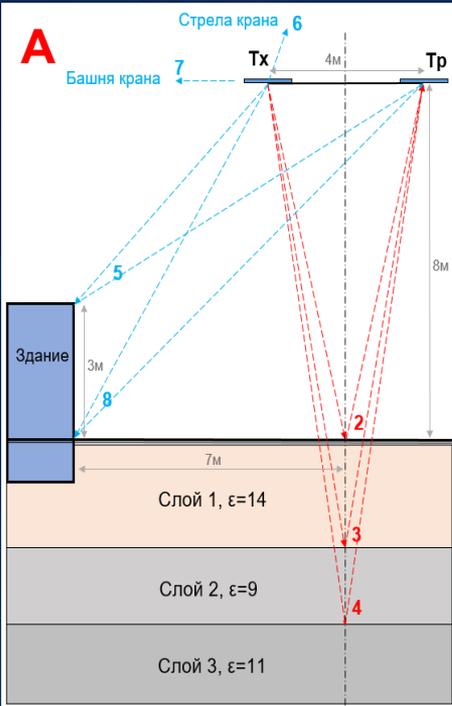
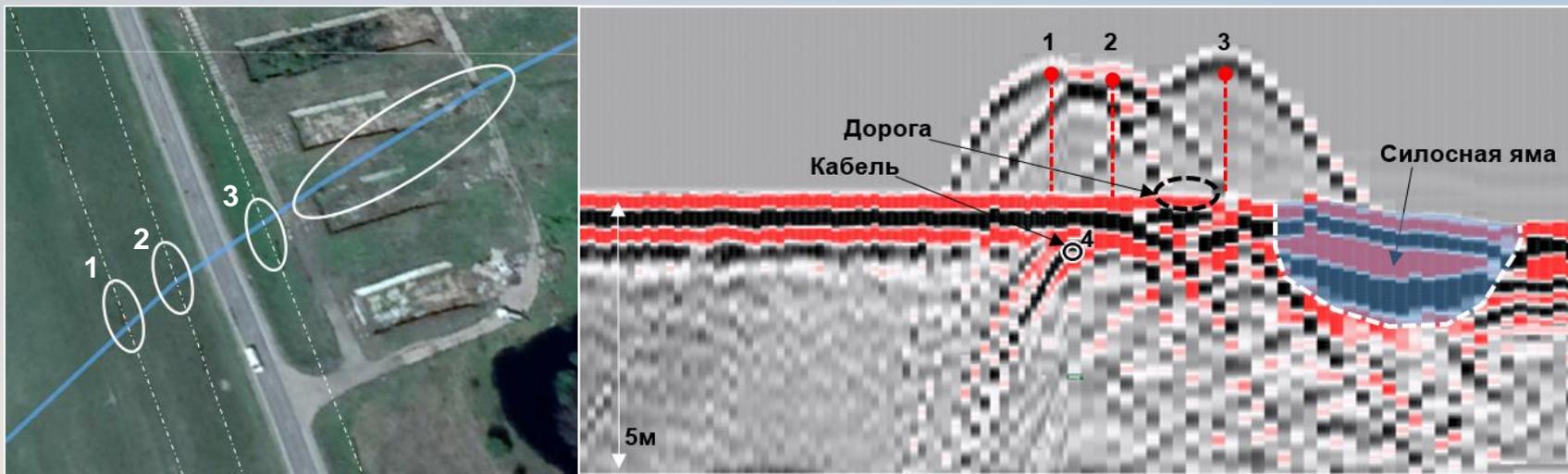
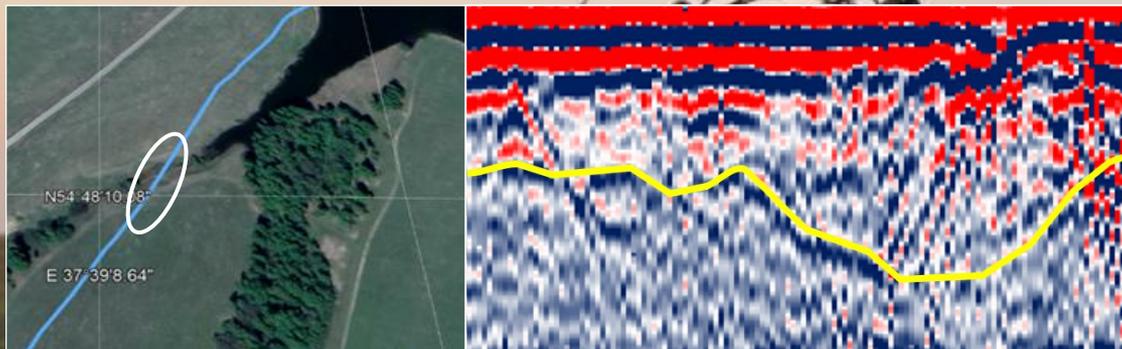


Рис. А – Геометрия постановки эксперимента  
 Рис. Б – Моделирование эксперимента – два слоя, глубина залегания 2,5 и 4м.  
 Рис. В – Моделирование эксперимента. Два слоя и здание.  
 Рис. Г – Результаты измерений, подъем радара 0-20 метров.

# Результаты профилирования

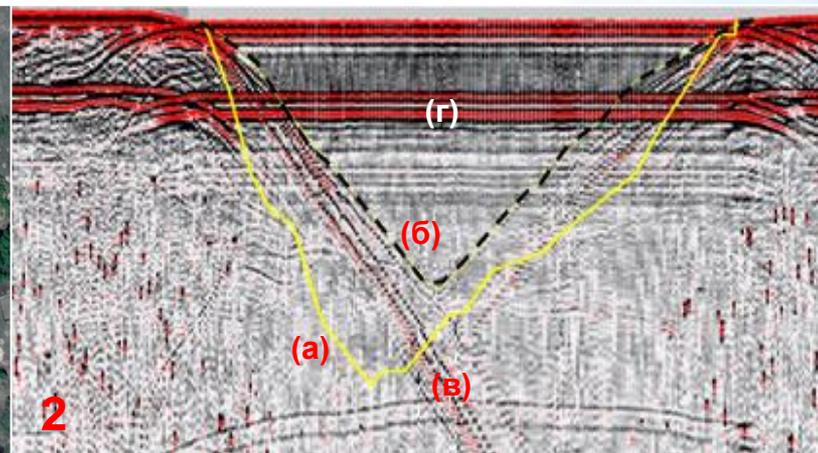
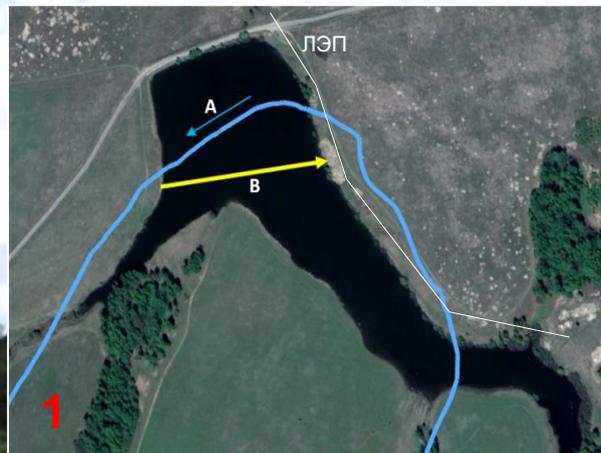


- Подстилающая поверхность - суглинок ( $\epsilon = 14$ ,  $\rho = 0,01-0,1$  См/м).
- Три гиперболы (1, 2, 3) - отражения от ЛЭП ( $h=6$ м) вдоль дороги.
- Силосная яма (35\*10м). Подошва объекта располагается на глубине порядка 2м.
- Дорога прорисована недостаточно хорошо из-за большого шага измерений (2,5м).
- Кабель (4) вдоль дороги на глубине 70-80см.

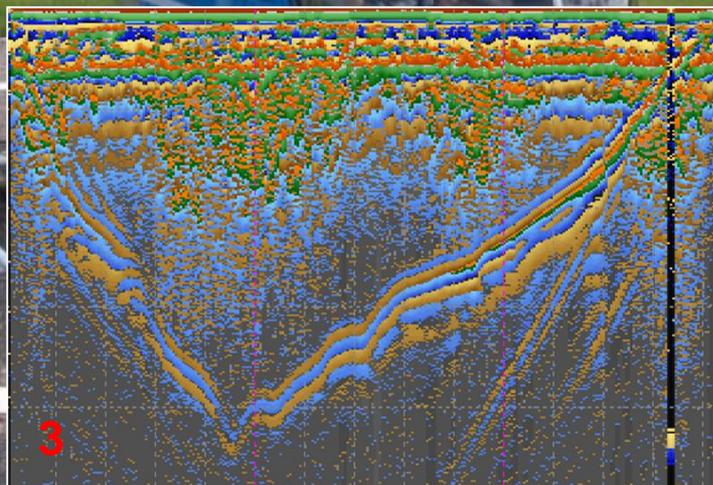


- Желтой линией выделены граница раздела слоев.
- На аэрофотоснимке можно наблюдать следы «заплывших» оврагов
- Наблюдается динамика изменения оврага со временем в виде слоистой структуры

# Результаты профилирования



- Рис. 1. Космоснимок места проведения измерений: (А) – трасса пролета вертолета с радаром; (В) - трасса наземных измерений.
- Рис. (2). Георадарная съемка с вертолета. (а) – профиль пруда по льду, трасса (В); (б) – профиль пруда с вертолета, трасса (А); (в) – отражение от ЛЭП 3 кВ, проходящая вдоль пруда; (г) – помехи от вертолета.
- Рис. 3. Наземные измерения по льду пруда. Георадар Лоза-В, антенны 50МГц.



- Высота подвески над поверхностью озера во время полета – 22м.
- Аппаратура: Лоза-В, антенны 50МГц.
- Максимальная глубина пруда по трассе наземных измерений - 8,5м.
- По результатам наземных измерений на дне озера выявлен слой ила толщиной 1,5-2 метра.

# Выводы

- Проведенные эксперименты и представленные результаты зондирования четко выявили объекты в подповерхностной среде, что доказывает возможность применения воздушной георадарной съемки для обнаружения подземных объектов.
- Разработанные широкополосные резистивно-нагруженные антенны и применение бортовых георадаров повышенной мощности обеспечивают обнаружения объектов на глубинах не менее 5 метров в сложных для обследования грунтах Подмосковья.
- Показано, что использование программных пакетов для создания модельных радарограмм является полезным инструментом для проверки результатов интерпретации по георадарным данным структуры подповерхностной среды и наличия скрытых объектов.
- Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-02-00185.

A silhouette of a helicopter is shown in flight against a sunset sky. The helicopter is positioned in the upper left quadrant of the frame. Two cables hang from the helicopter, leading to a rectangular basket or platform suspended in the air. The sky transitions from a pale blue at the top to a warm orange and red near the horizon. The sun is visible as a bright orange orb on the right side of the horizon, partially obscured by a dark silhouette of a tree. The foreground shows a dark silhouette of a field or forest, and the front corner of a white car is visible in the bottom right corner.

**Спасибо за внимание!**