



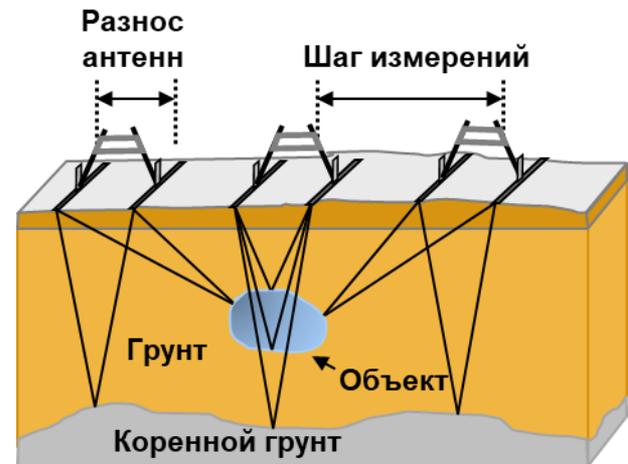
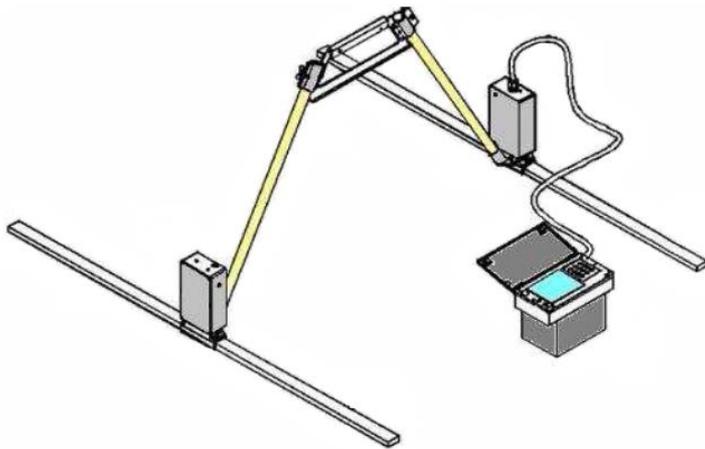
# Георадиолокационное обследование фортификационных сооружений на о.Матуа

И. Прокопович, Д. Едемский, Ф. Едемский

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

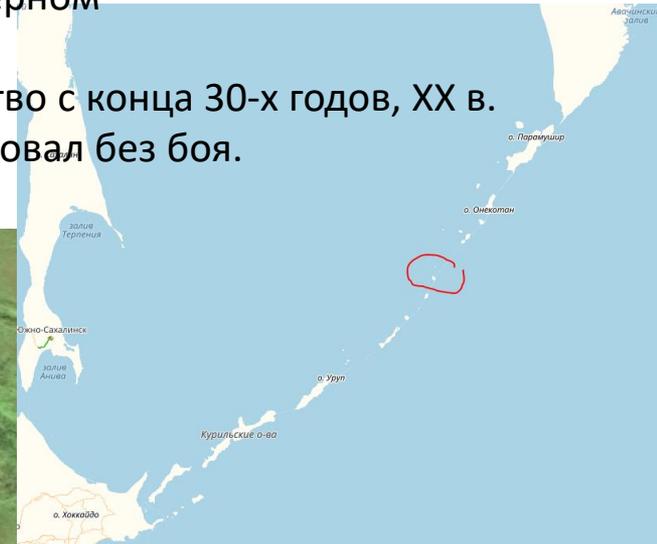
# План доклада

- Историческая справка
- Краткая характеристика исследуемых сред и объектов
- Результаты профилирования
- Моделирование
- Выводы



# Историческая справка

- Остров Матуа, расположенный в центральной части Курильских островов, сформирован вулканом Пик Сарычева, одним из самых активных в этом регионе.
- Последнее мощное извержение вулкана Пик Сарычева произошло 12 июня 2009 г. с выбросом пепловых туч на высоту до 16 км.
- Коренными жителями острова были охотники и собиратели айны, но в конце XIX в. выселены с острова японцами.
- Длина острова 11 км, ширина - 6,4 км. Половина площади острова занимает вулкан.
- Пик Сарычева (действующий вулкан) – высота 1446 м.
- 1711г. - первое упоминание об о. Матуа у казака Ивана Козыревского
- 1813г. - картографическая съемка островов И. Крузенштерном
- Японцы появились на острове в XIX века.
- Освоение острова Японией с 1923г. Военное строительство с конца 30-х годов, XX в.
- 25 августа 1945г. Гарнизон (3811 чел.) острова капитулировал без боя.



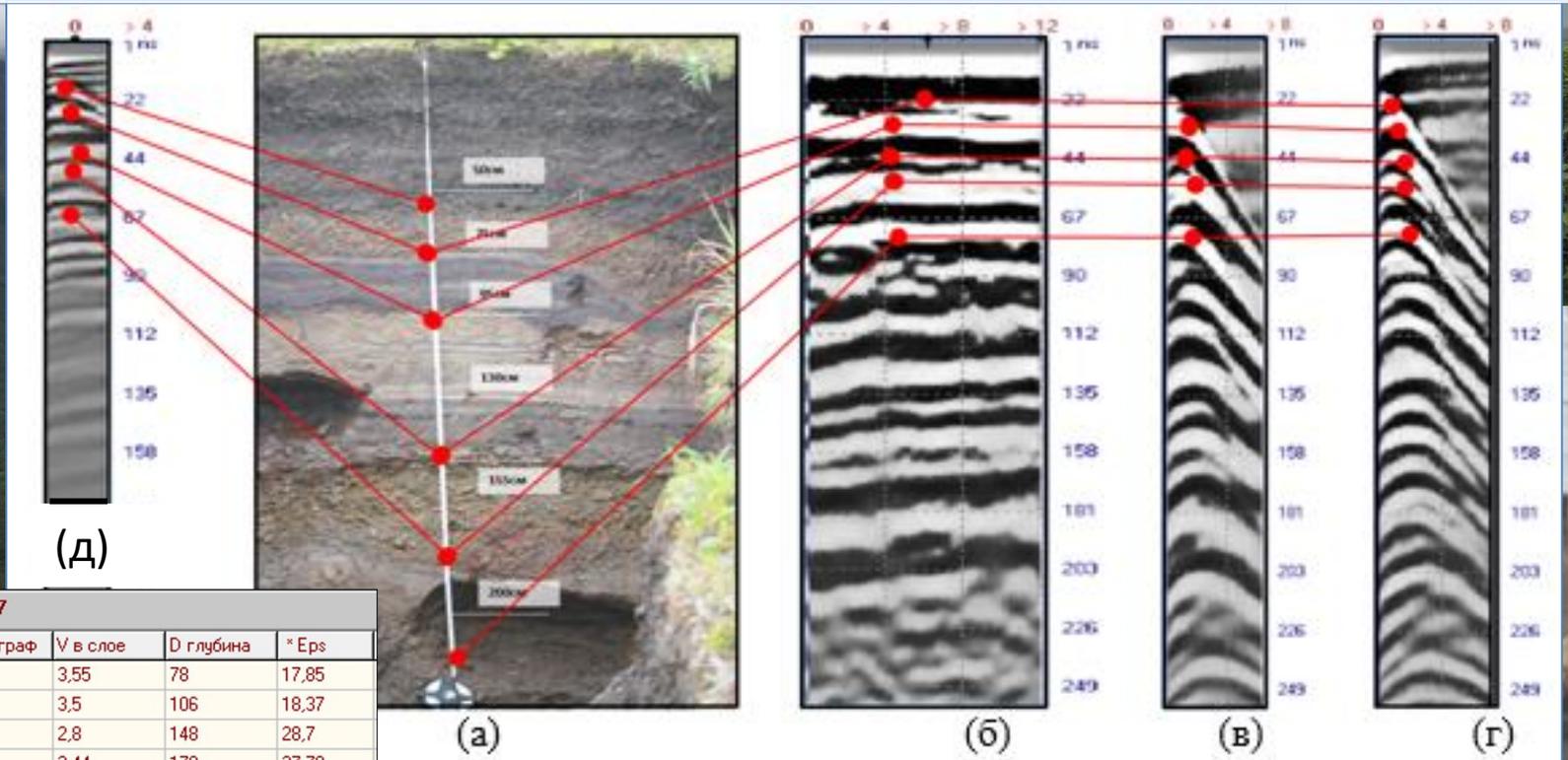
В настоящее время остров необитаем.

# Краткая характеристика исследуемых объектов

- Июль-август 2017 г. Второй этап комплексной экспедиции МО РФ и Всероссийской общественной организации «Русское географическое общество» на о. Матуа (Средние Курилы).
- В работе экспедиции приняли участие вулканологи, почвоведы, гидрогеологи, ландшафтоведы, гидробиологи, подводники, геофизики, поисковики и археологи из Москвы, Владивостока, Камчатки и Сахалина.
- Проведены геофизические исследования территории острова, работы по поиску объектов военно-технической истории и фортификации, паспортизация обнаруженных объектов. Выполнено комплексное обследование прибрежного дна радиотехническими средствами, управляемыми подводными аппаратами и водолазами.
- Выполнен большой объем обследования инженерных сооружений периода Второй мировой войны на о. Матуа, в том числе проведены работы по радиолокационному профилированию, проведенные на 9-ти площадках. Общий объем обследования составил 3515 метров георадарного профиля.
- Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-02-00185.

# Краткая характеристика исследуемых сред и объектов

- Чрезвычайная насыщенность объектами военной инженерии, полевой фортификации и инфраструктуры.
- В геологическом разрезе (~10м), бухта Двойная, зафиксирована полная голоценовая летопись активности вулкана Пик Сарычева, содержащая свыше 50 горизонтов тефры.
- Характерное чередование слоев разной мощности и разного состава, от погребенных почв и тонкого пепла, до вулканического гравия и лапилли. Мощность слоев от 5 см до 1.5-5 метров, неравномерно по острову и возрастает с юга на север.
- С точки зрения электродинамики сплошных сред, данный разрез сформирован из материалов с различной диэлектрической проницаемостью и разной проводимостью, что создает хорошие условия для формирования четких границ раздела сред (осей синфазности) на георадиолокационном профиле.

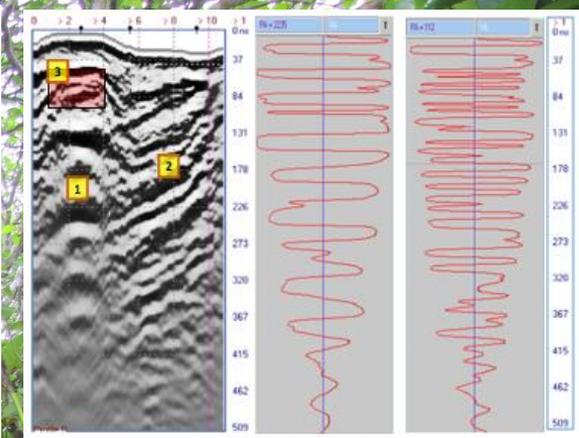
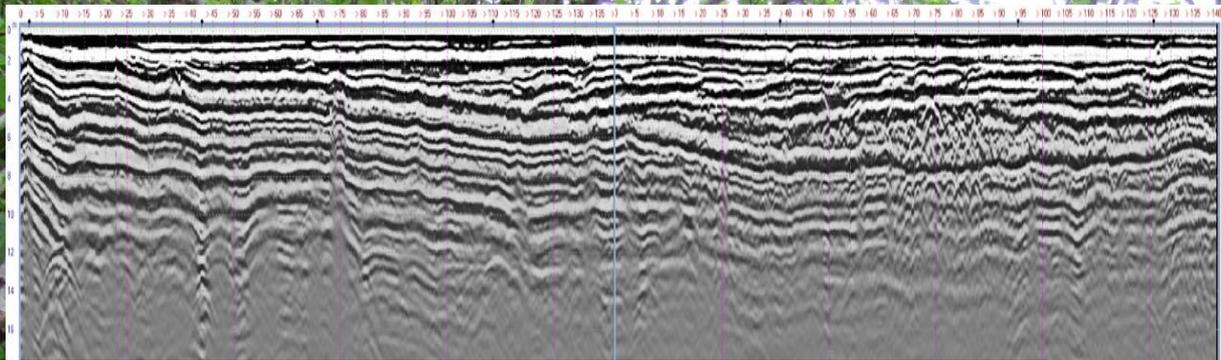


**ГОДОГРАФ - 7**

Годограф	V годограф	V в слое	D глубина	* Eps
1 Слой	3,55	3,55	78	17,85
2 Слой	3,55	3,5	106	18,37
3 Слой	3,29	2,8	148	28,7
4 Слой	3,14	2,44	170	37,79
5 Слой	3	2,58	219	33,8
6 Слой	3,82	7,8	336	3,7
7 Слой	3,89	3,95	770	14,42
8 Слой	0	0	0	0

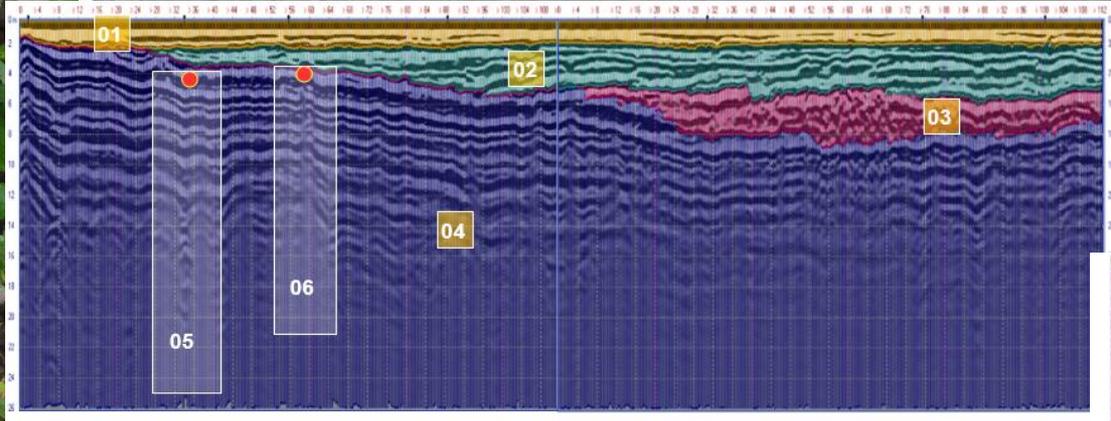
Сопоставление георадарного разреза с геологическим: (а) – шурф; (б) – элемент профиля; (в) – годограф, 100 МГц; (г) – годограф, 150 МГц; (д) – годограф, 350 МГц.

# Результаты профилирования

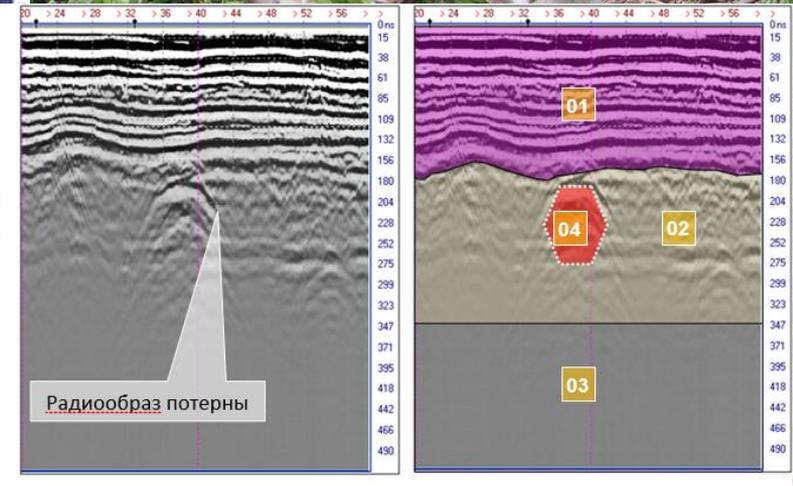


(а) (б) (в)

**Артиллерийский ДОТ:** а) – профиль, антенны 50 МГц; б) – А-скан, над ДОТом (1); в) – А-скан, вне ДОТа (2); (1) – зона с НЧ сигналом; (2) – зона с регулярным сигналом; (3) – ДОТ



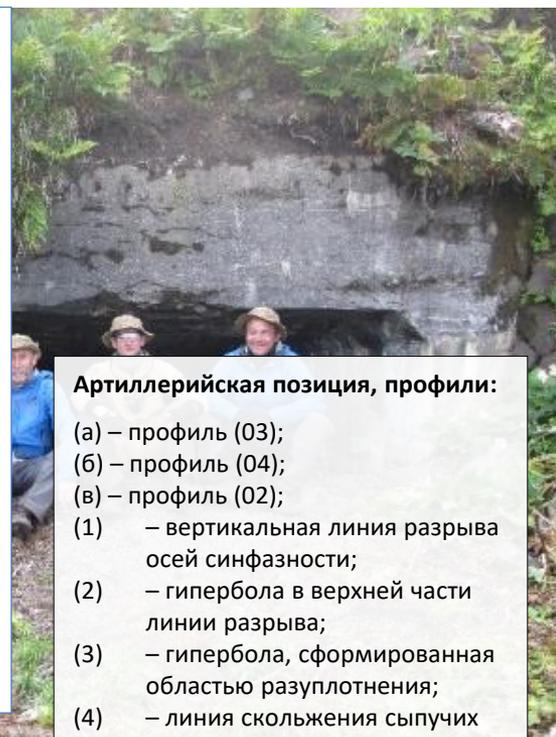
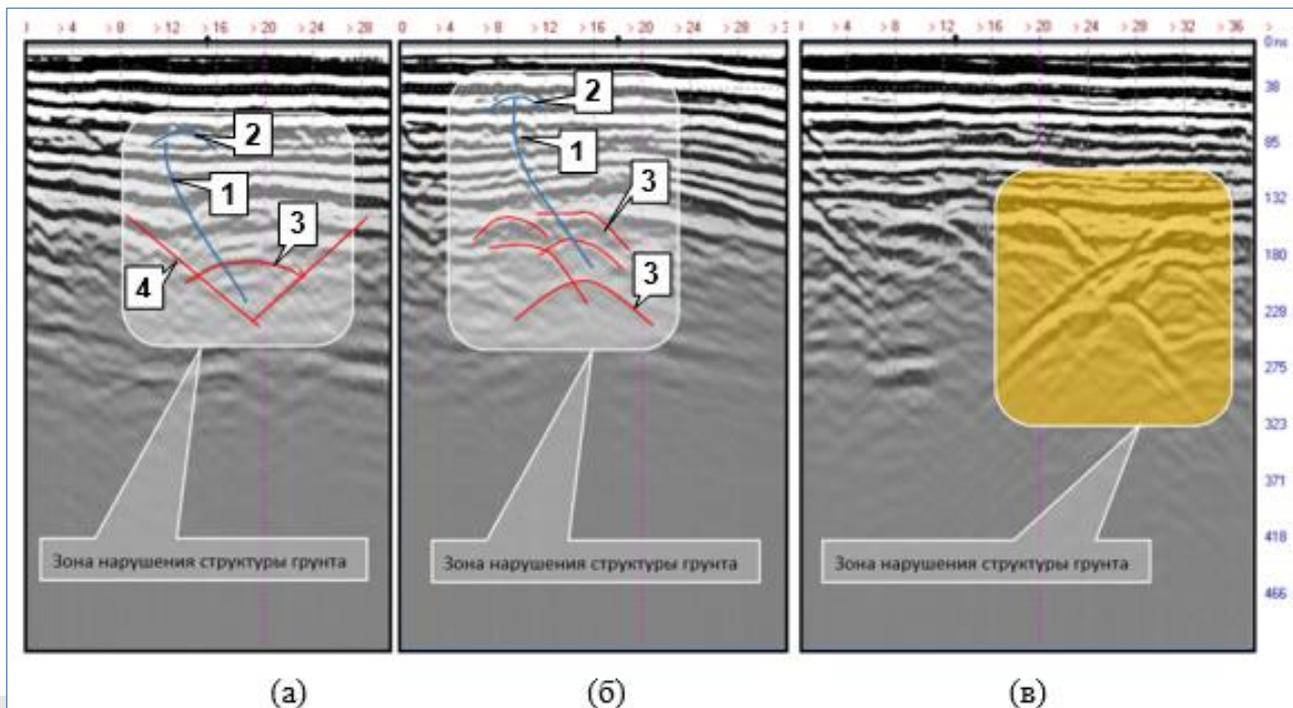
**Взлетно-посадочная полоса.** Георадарный профиль вдоль аэродромного полотна, антенны 100 МГц: (а) – исходный профиль; (б) – профиль с выделением георадарных комплексов: (01) – комплекс аэродромное покрытие; (02) – комплекс насыпной грунт; (03) – комплекс, состоящий из грубообломочных вулканических шлаков, обломков пород; (04) – комплекс регулярной горизонтально слоистой структуры; (05), (06) – локальные объекты.



Радиообраз потерны

**Потерна:** (а) – исходный профиль; (б) – профиль с выделением георадарных комплексов; (01) – комплекс, субгоризонтальных осей синфазности; (02) – комплекс с характерной волновой картиной сигнала; (03) – зона с низким уровнем сигнала; (04) – потерна.

# Результаты профилирования

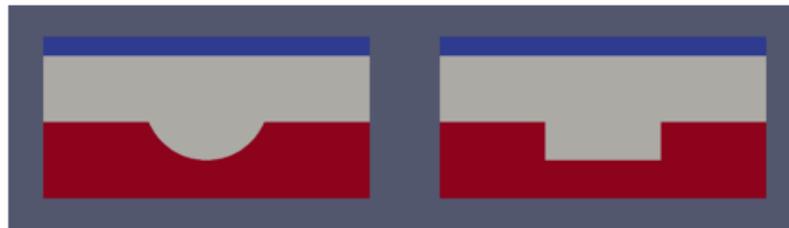


- Подтверждением наличия возможных нарушений структуры грунта, разрывов и разломов являются чисто радиофизические признаки – особенности формы сигнала, разрывы осей синфазности, многочисленные сдвиги по фазе сигнала и наличие кратных переотражений сигнала.
- Выявлены следы разуплотнения грунтов, предположительно связанных с разрушением потерн, подземных помещений. Георадарные «следы» процессов разрушения можно наблюдать практически во всем георадарном разрезе.
- В верхней части разреза, сформированного из протяженных субгоризонтальных осей синфазности (до 170-180нс), происходит нарушения в виде разрывов и резких изменений в осях синфазности.
- В нижней части разреза разрушения проявляются в изменение рисунка осей синфазности в виде плавных изгибов и в виде гипербол.



# Моделирование

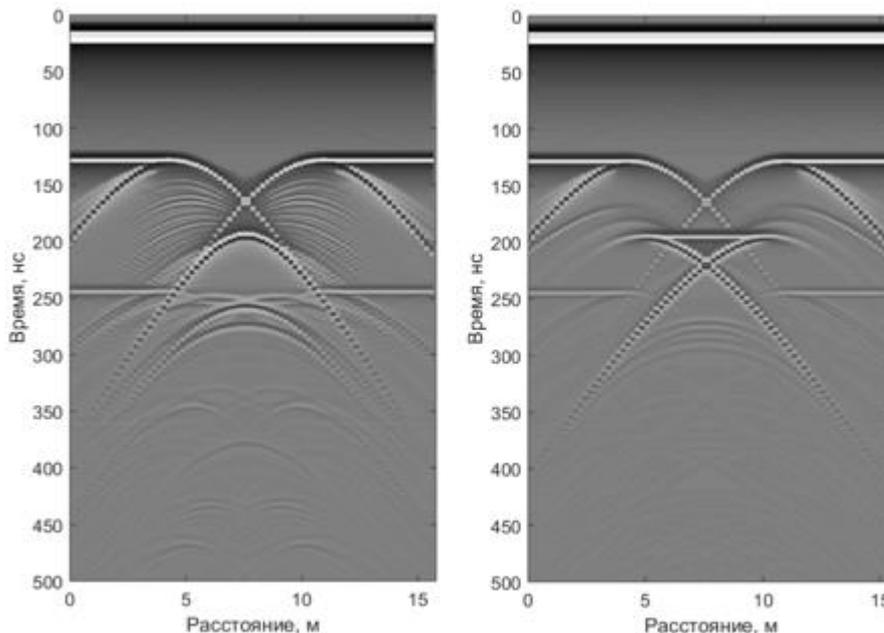
- Выполнено двумерное моделирование посредством программы grgMax
- В качестве зондирующего импульса взята модель «gaussiandot» – первая производная функции Гаусса с центральной частотой 100 МГц.  $I(t) = -4\pi^2 f^2 (t - 1/f) \exp(t - 1/f)^2$ ,
- Предполагаемая геометрия исследуемой области изображена представляет собой провал цилиндрической (а) или прямоугольной (б) формы.



(а)

(б)

Геометрия исследуемого провала.



(в)

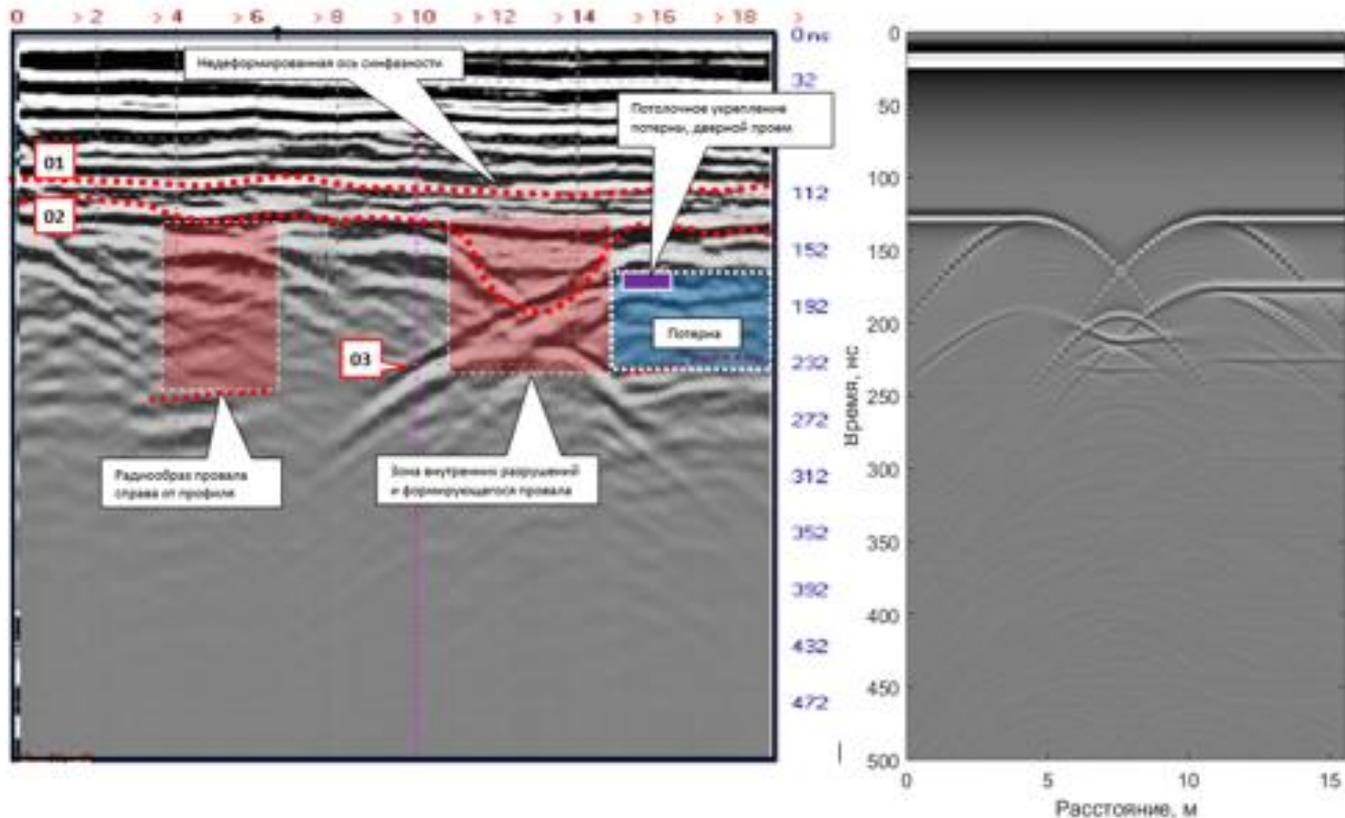
(г)

Результаты моделирования Б-скана для различной разных конфигурации конфигураций провала.

- Рис. (в). Провал создает на Б-скане характерную структуру «ласточкина хвоста»: верхние края провала дают гиперболы, а его основание соответствует центру «хвоста».
- Рис. (г). На Б-скане выделяются четыре гиперболы, соответствующие углам прямоугольного провала, дно провала между нижними гиперболами четко прорисовано.
- Вывод: структура провала имеет форму близкую к изображенной на Рис. (а).

# Моделирование

- Детальная интерпретация радарограммы слайд 7, рис. (а).
- В качестве основы взята модель слайд 8, рис.(а), провал цилиндрической формы.
- Дополнительно в модель, слайд 8, рис.(а), введена справа от провала необрушенная потеря, ось которой проходит параллельно трассе профилирования.



# Выводы

- Как показали выше приведенные результаты, георадиолокация является достаточно эффективным методом обследования почвенно-пирокластического чехла о. Матуа, а также исследования военно-инженерных объектов, поиска возможных мест размещения\хранения военной техники и оборудования периода Второй мировой войны.
- Применение георадаров повышенной мощности с резистивно-нагруженными антеннами (50-350 МГц) для обнаружения объектов на глубинах до 50 метров и в настолько сложных для обследования грунтах, позволяют решать задачи, с которыми плохо справляются традиционные георадары могут плохо справиться.
- Показано, что использование программных пакетов для создания модельных радарограмм является полезным инструментом для проверки предположений о структуре подповерхностной среды и наличии скрытых объектов.

**Спасибо за внимание!**