НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ «ТЕРРАЗОНД»

ГЕОРАДИОТОМОГРАФ ГРТ-XX













Москва 2026

Оглавление

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ....4
СОКРАЩЕНИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЯ....5
ВЕДЕНИЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ....6
ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ГЕОРАДИОТОМОГРАФИИ СЕРИИ ГРТ....6
1.1. Метод георадиолокации....6
1.2. Принцип работы комплекса ГРТ.....7
1.3. Одноканальные и многоканальные системы. Георадиотомография....9
1.4. Области применения....10
2. ОБЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ ПО АППАРАТУРЕ....12
2.1 Состав комплекса....12
2.2 Варианты исполнения комплекса....12
2.3 Варианты антенных решёток....12
2.4 Варианты установки комплекса на носители....13
2.5 Условия эксплуатации....13
3. СБОРКА И ВКЛЮЧЕНИЕ АППАРАТУРЫ....14
3.1 Общие требования к сборке....14
3.2 Подключение основного блока георадиотомографа....14
3.3 Подключение средств позиционирования и одометрии....14
3.4 Установка антенной решётки....15
3.5 Проверка электрических соединений....15
3.7 Контроль готовности к работе....15
3.8 Выключение аппаратуры....15
4. ЗАПУСК ПРИБОРА И ПЕРВИЧНЫЕ АППАРАТНЫЕ НАСТРОЙКИ....16
4.1 Назначение веб-интерфейса....16
4.2 Меры предосторожности перед включением....16
4.3 Включение прибора и контроль индикации готовности....16
4.4 Настройка сетевого соединения с управляющим ПК....17
4.5 Доступ к веб-интерфейсу....17
4.6 Структура веб-интерфейса и контроль состояния....18
4.7 Выбор профиля антенной решётки....19
4.8 Выбор источника тактирования (Clock source)....19
4.9 Загрузка и обновление калибровочных коэффициентов....20
4.10 Список всех элементов меню «Параметры работы антенной решётки»....20
4.11 Завершение первичных настроек....22
5. РАБОТА С ПРОГРАММНЫМ ОБЕСПЕЧЕНИЕМ GEOLOCATOR....23
5.1 Назначение программного обеспечения GeoLocator....23
5.2 Условия начала работы с GeoLocator....23
5.3 Запуск GeoLocator и подключение к прибору....23
5.4 Параметры устройства....24
5.5 Управление отображением, навигацией и масштабированием....25
5.6 Название файлов накопления данных....26
5.7 Порядок действий при первом запуске....26
5.8 Особенности визуального контроля при высокой скорости съёмки....26
5.9 Формирование калибровочных коэффициентов....27
5.10 Завершение сеанса сбора данных....27
6. РАБОТА С ПРОГРАММНЫМ ОБЕСПЕЧЕНИЕМ GEOVIEWER....28
6.1 Назначение и область применения....28
6.2 Порядок работы с GeoViewer (пользовательский режим)....28
ШАГ 1. Запуск программы GeoViewer....28
ШАГ 2. Использование встроенного мастера обучения (опционально)....28

ШАГ 3. Создание нового проекта 29
ШАГ 4. Добавление исходных файлов данных 29
ШАГ 5. Опциональное преобразование комплексных (частотных) данных 30
ШАГ 6. Парсинг данных и проверка структуры проекта 30
ШАГ 7. Задание параметров проекта 31
ШАГ 8. Просмотр и анализ треков позиционирования 31
ШАГ 9. Интерполяция и выравнивание треков 32
ШАГ 10. Перезапись среднего шага (при необходимости) 33
ШАГ 11. Подключение внешнего GNSS-трека и синхронизация (при необходимости) 33
ШАГ 12. Базовая обработка данных и первичный визуальный анализ 34
ШАГ 13. Просмотр результата обработки и базовая навигация 35
ШАГ 14. Экспорт данных 36
ШАГ 15. Работа с общими амплитудными картами 36
Шаг 15.1 Навигация по глубине и синхронизация карт 36
Шаг 15.2 Локализация аномалий по щелчку 37
Шаг 15.3 Коррекция шкалы глубин (сдвиг нуля) 37
Шаг 15.4 Влияние диэлектрической проницаемости на глубины 38
Шаг 15.5 Усиление и контраст амплитудной карты 38
Шаг 15.6 Построение динамической томографии 39
Шаг 15.7 Выбор картографической подложки 39
Шаг 15.8 Автоматическое расположение проездов на карте 40
Шаг 15.9 Редактирование расположения и размера проездов вручную 42
Шаг 15.10 Управление навигационным центром и поворот проездов 42
Шаг 15.11 Выравнивание кривых проездов 42
Шаг 15.12 Сохранение и управление состояниями 43
Шаг 15.13 Настройка цветового диапазона и сумма срезов 43

7. ДЕТАЛЬНАЯ ОБРАБОТКА В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ GEOREADER 44

7.1. Типовой рабочий процесс 45
7.2. Роль AI-интерпретации 45
7.3 Выгрузка результатов и интеграция в CAD/BIM 46

8. РЕКОМЕНДУЕМЫЕ УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ 47

8.1 Общие положения 47
8.2 Типы носителей и эксплуатационные ограничения 47
8.3 Режимы согласования антенных решёток 48
8.4 Рельеф поверхности 49
8.5 Влажность и состояние среды 49
8.6 Скоростной режим 49
8.7 Электромагнитная обстановка 50
8.8 Общие инженерные рекомендации 50

9 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ 51

9.1 Назначение раздела и общие принципы 51
9.2 Обязательный комплекс представлений данных 51
9.3 Рекомендуемый порядок интерпретации 51
9.4 Типовые признаки объектов и неоднородностей 52
9.5 Учет влияния среды и полевых факторов 52
9.6 Повышение глубинности и выбор диапазона 53
9.7 Требования к оформлению интерпретации и выдаче результатов 53
9.8 Ключевые рекомендации (обязательные к применению) 53
9.9 Типовые ошибки интерпретации и способы исключения ложных аномалий 53
9.10 Чек-лист интерпретации (контроль перед выпуском отчёта) 55

Термины и определения

Георадиотомография
Метод зондирования среды с использованием многоканальной антенной решётки, обеспечивающий получение пространственно согласованных данных в объёме исследуемой среды.

Георадиотомографический комплекс
Совокупность аппаратных и программных средств, включающая антенные решётки, электронные блоки, средства синхронизации и позиционирования, а также программное обеспечение для сбора и обработки данных.

Антенная решётка
Совокупность приёмных и (или) передающих антенн, размещённых с фиксированным шагом и используемых для многоканального зондирования.

Радарограмма (вертикальный разрез)
Графическое представление распределения отражённого сигнала в координатах «дистанция — время задержки» или «дистанция — глубина».

Горизонтальный срез (амплитудная карта)
Двумерное представление распределения амплитуд отражённого сигнала на фиксированной временной задержке или глубине.

Суммированный горизонтальный срез
Горизонтальный срез, полученный путём интегрирования амплитуд отражённого сигнала в заданном временном или глубинном интервале.

Огибающая сигнала
Амплитудная характеристика сигнала, полученная вычислением модуля аналитического сигнала и используемая для оценки энергетики отражений.

Динамическая томография
Последовательность горизонтальных срезов, отображаемых в виде анимации по глубине или времени задержки.

Интерполяция
Математическое восстановление значений параметров между измеренными точками, не являющееся прямым измерением.

Калибровочные коэффициенты
Набор коэффициентов коррекции амплитуды и временного смещения каналов антенной решётки, используемых для выравнивания характеристик измерительной системы.

Сокращения и обозначения

Сокращение	Расшифровка
ГРТ	Георадиотомография
ЛЧМ	Линейная частотная модуляция
ПО	Программное обеспечение
GNSS	Global Navigation Satellite System — глобальная навигационная спутниковая система
ПК	Персональный компьютер
ВЧ	Высокочастотный
IP	Internet Protocol
IPv4	Internet Protocol version 4
DNS	Domain Name System
Ethernet	Проводная технология передачи данных по локальной сети
UDP	User Datagram Protocol — транспортный протокол передачи георадарных данных
libpcap	Библиотека захвата и обработки сетевых пакетов
npcap	Реализация библиотеки libpcap для операционных систем Windows
Clock source	Источник тактирования
Encoder	Режим тактирования от внешнего энкодера
Internal	Режим тактирования от встроенного источника
RAW	Исходные (необработанные) данные
TRZ	Открытый формат данных, используемый для аппаратуры серии ГРТ
RDR	Бинарный формат георадарных данных программного пакета GeoReader
ASCII	Текстовый формат представления данных
CSV	Текстовый табличный формат данных
ε	Диэлектрическая проницаемость среды
нс	Наносекунда

ВЕДЕНИЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

Программно-аппаратный комплекс георадиотомографии серии ГРТ

Настоящее руководство предназначено для операторов и инженеров камеральной обработки программно-аппаратного комплекса георадиотомографии серии ГРТ и описывает:

- физические основы метода георадиолокации и георадиотомографии;
- состав и принципы работы комплекса;
- порядок подготовки оборудования к работам;
- сбор данных с использованием программного модуля **GeoLocator**;
- первичную обработку, визуализацию и экспорт данных в **GeoViewer**;
- детальную обработку в программном комплексе **GeoReader**;
- требования к качеству данных, отчетности и безопасности.

1.1. Метод георадиолокации

Георадиолокация (GPR) — это геофизический метод неразрушающего контроля, основанный на излучении электромагнитного сигнала в зондируемую среду и регистрации отражённых сигналов от границ раздела сред с различными электрофизическими свойствами.

Основным параметром, определяющим возможность обнаружения объекта или границы, является **контраст диэлектрической проницаемости** между объектом и вмещающей средой. Чем выше контраст, тем выше амплитуда отражённого сигнала и тем надёжнее интерпретация.

Метод позволяет выявлять:

- границы литологических слоёв;
- уровень грунтовых вод;
- зоны переувлажнения и разуплотнения;
- подземные инженерные коммуникации;
- пустоты, каверны, трещины;
- элементы строительных конструкций

Георадиолокация относится к методам оперативного обследования и позволяет получать информацию без вскрытия конструкций и нарушения целостности среды. Общий принцип работы метода представлен на рисунке 1.

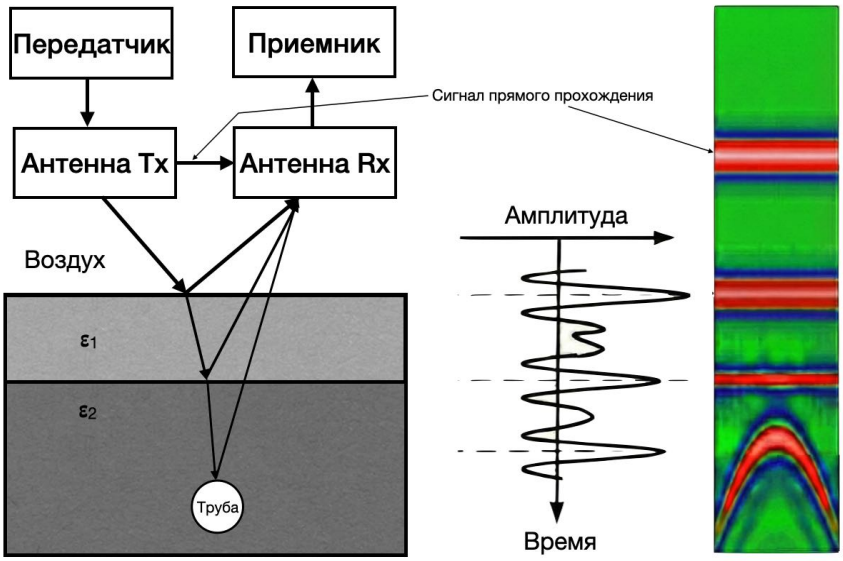


Рис. 1. Схематичный пример работы метода георадиолокации с демонстрацией распространения зондирующего сигнала и отражения от границ слоёв и объекта

1.2. Принцип работы комплекса ГРТ.

Для сканирования сплошных сред используется антенная решетка, которая осуществляет зондирование среды пространственно разнесенными приемными и передающими антеннами в тактированном режиме. Т.е. в каждый момент времени работает одна пара антенн. В процессе сбора данных, три высокоскоростных аналого-цифровых преобразователя (АЦП) с частотой дискретизации 107 выборок в секунду осуществляют аналого-цифровое преобразование входного сигнала с дискретизацией 14 бит. Полученные входные данные поступают в программируемую логическую интегральную схему (ПЛИС), где производится первичная обработка данных в режиме реального времени, заключающаяся в быстром преобразовании Фурье (FFT) над каждыми 1024 выборками по каждому каналу. Полученные на выходе ПЛИС данные передаются по PCIe интерфейсу в процессор, который сопоставляет принятым данным GPS/ГЛОНАСС метку. Сформированный пакет трасс (радарограмма) передается на компьютер посредством высокоскоростного протокола Gigabit Ethernet.

Технология многоканальной коммутации позволяет использовать метод общей средней точки для расчета электрофизических параметров, таких как толщина и диэлектрическая проницаемость верхнего контрастного слоя среды, например асфальтобетона.

В состав георадара входят СШП антенный блок приемных и передающих антенн, работающие в широком диапазоне частот; чувствительный высокоскоростной ЛЧМ генератор, обеспечивающий работу георадара в частотных диапазонах от 0,1 до 1,2 ГГц и от 0,5 до 3.2 ГГц с возможностью непрерывного зондирования на скорости движения до 130 км/ч (при плотности записи георадарных трасс – каждые 10 см); высокоскоростное электронное реле; программируемая логическая интегральная схема (ПЛИС) для приема, обработки и хранения геоданных, а также энкодер и GNSS модуль.

Устройство представляет собой модульный комплекс, состоящий из блока формирования и приема ВЧ импульсов на основе ЛЧМ генератора и модуля антенной решетки. Кроме блока ЛЧМ генератора ВЧ импульсов и антенных модулей в состав аппаратуры также входит навигационный блок и управляющий компьютер.

Параметры подключаемых антенных систем:

- стандартное исполнение / облегченное;
- согласованные на грунт/воздух;
- антенная пара (количество антенных элементов - 2) / антенная решетка (количество элементов – 4, 8, 16, 24, 32) / фазированная антенная решетка (количество элементов 4 или 8) / активная фазированная антенная решетка (количество элементов от 8 до 32).

Комплекс георадиотомографии имеет возможность подключения большинство инкрементальных оптических энкодеров с напряжением питания от 5В, доступных на рынке, а также внешних GNSS систем, обеспечивающих вывод глобальных координат по протоколу UART в формате NMEA.

На рисунке 2 представлена общая структурная схема работы комплекса георадиотомографии.



Рис. 2 Общая структурная схема многоракурсного георадара (георадиотомографа)

На рисунке 3 приведена блок-схема устройства, содержащая основные части системы. Назначение частей и электронных блоков системы представлено в таблице 1.

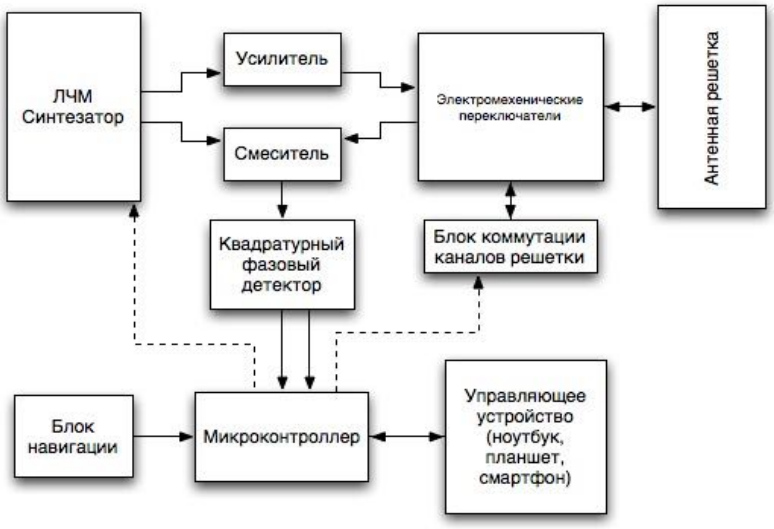


Рис. 3. Блок схема устройства

Блок схема генератора ЛЧМ представлена на рис. 4. ЛЧМ генератор содержит:

- задающий генератор (ГУН); опорные генераторы; блок-усилители гетеродинных частот;
- схему фазовой привязки опорных генераторов; смесители сдвига;
- схему формирования частотных меток с диэлектрическим резонатором;
- блок-усилители сигналов для передачи и приема;
- усилитель мощности;
- приемный смеситель диапазона;
- квадратурный фазовый детектор.

Таблица 1 – Функции и их назначения

№	Название	Назначение
1	ЛЧМ генератор	Обеспечивает сигнал с перестройкой 0,5-3.2 ГГц (0.1-1 ГГц) в режиме линейно-частотной модуляции. Частота перестройки до 10 кГц
2	Усилитель	Обеспечивает усиление ЛЧМ сигнала на выходе до 100 мВт
3	Смеситель	Обеспечивает выделение принятого сигнала на промежуточной частоте (ПЧ) для регистрации низкочастотными АЦП
4	Электронные переключатели	Обеспечивают коммутацию приемных и передающих элементов антенной решетки. Время переключения около 50 мкс
5	Антенная решетка	Один антенной модуль содержит 4/8 приемных и 4/8 передающих антенн с линейной поляризацией.
6	Квадратурный приемник	Обеспечивает прием C и S компонент сигнала, по которым рассчитывается амплитуда и фаза сигнала.
7	Блок коммутации каналов решетки	Обеспечивает переключение приемных и передающих антенн в режиме тактирования. В результате реализуется эквивалентная решетка той же апертуры, состоящая из N приемо-передающих антенн.
8	Микроконтроллер	Выдает синхроимпульсы для генерации ЛЧМ, переключения каналов по заданной программе, оцифровку принятого сигнала, первичную обработку ЛЧМ сигнала (БПФ).
9	Управляющий ПК	Обеспечивает постобработку сигналов, формирует трехмерную томограмму исследуемого пространства.
10	Блок навигации	Обеспечивает позиционирование данных по траектории пройденного пути.

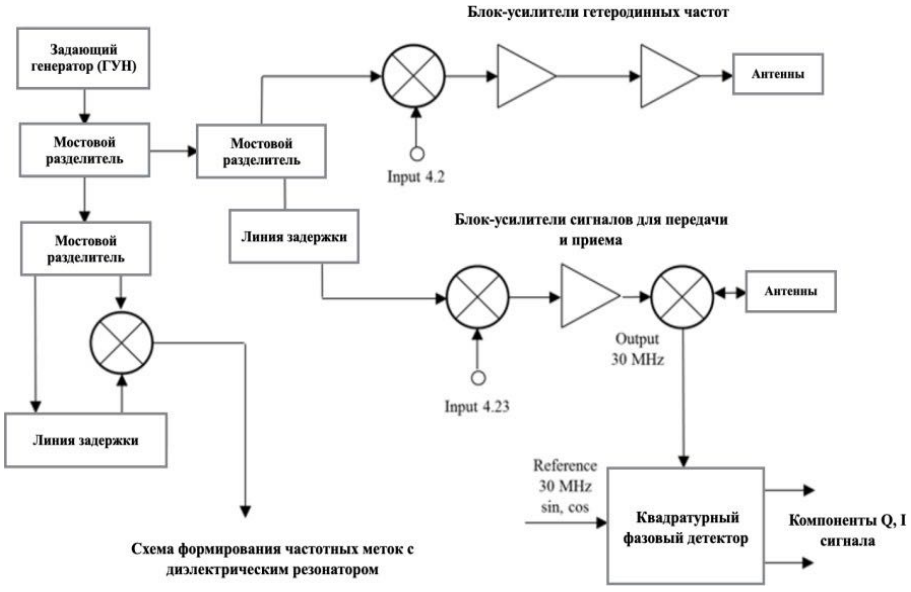


Рис.4. Блок схема генератора линейного частотно модулированного сигнала

1.3. Одноканальные и многоканальные системы. Георадиотомография

Традиционные одноканальные георадары формируют одиночный профиль - радарограмму строго под линией движения антенны. При обследовании площадей это приводит к ряду ограничений:

- высокий риск пропуска объектов между профилями;
- сложность интерпретации массива разрозненных разрезов;
- низкая производительность при больших объёмах работ.

Многоканальный георадиотомограф использует антенную решётку, состоящую из нескольких приёмо-передающих пар, что позволяет за один проход получать полосу данных фиксированной ширины. Сравнение одноканальной и многоканальной системы представлено на рисунке 5.

Преимущества георадиотомографии:

- сплошное покрытие площади без «слепых зон»;
- возможность построения трёхмерных массивов данных;
- визуализация результатов в виде **амплитудных карт** — горизонтальных срезов, интуитивно понятных для анализа;
- кратное увеличение производительности по сравнению с одноканальными системами.

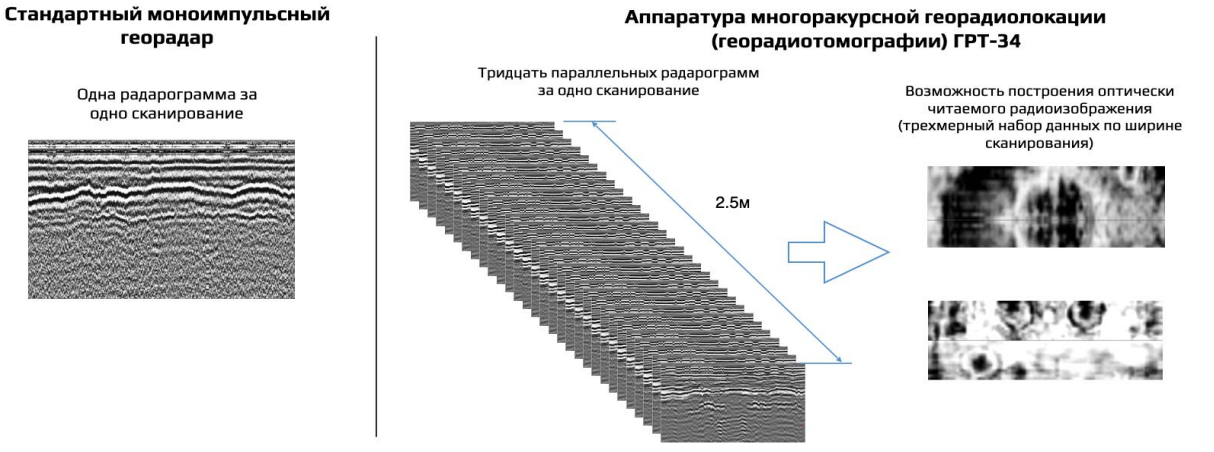


Рис. 5. Сравнение одноканального профилирования и многоканальной георадиотомографии

1.4. Области применения

Транспортная инфраструктура

Автомобильные дороги:

- определение толщины и структуры конструктивных слоёв дорожной одежды;
- выявление расслоений и нарушений сцепления слоёв;
- обнаружение зон переувлажнения и разуплотнения основания;
- выявление пустот, карстовых проявлений и зон вымывания в пределах 4 м;
- контроль соответствия фактической конструкции проектной документации;
- оценка состояния основания перед капитальным ремонтом;
- мониторинг деградации покрытия в динамике.

Железные дороги:

- определение мощности и состояния балластной призмы;
- выявление загрязнения и переувлажнения балласта;
- обследование земляного полотна в верхней части разреза;
- обнаружение техногенных пустот и ослабленных зон до 4 м;
- контроль состояния переходных зон мост–насыпь;
- оценка однородности насыпи и подбалластного основания.

Аэродромы:

- обследование взлётно-посадочных полос, рулёжных дорожек и перронов;
- определение толщины бетонных плит и параметров армирования;
- выявление скрытых дефектов основания;
- контроль состояния приповерхностных дренажных систем;
- оценка однородности основания в пределах эксплуатационной зоны.

Инженерно-геофизические исследования

- стратиграфическое расчленение верхней части геологического разреза;
- определение мощности насыпных и техногенных грунтов;
- выявление карстовых пустот и трещиноватых зон;
- обнаружение техногенных полостей и подработанных участков;
- определение глубины залегания грунтовых вод (в радиопрозрачных средах);
- картирование зон подтопления и локального переувлажнения;
- обследование склонов, подверженных оползневым процессам;
- изучение геокриологических условий в верхней части разреза;
- обследование оснований под малозаглублённые фундаменты и свайные конструкции;
- контроль однородности уплотнения грунтов при планировочных работах.

Жилищно-коммунальное хозяйство

- локализация подземных трубопроводов, кабелей, коллекторов и дренажных сетей (до 4 м);
- определение глубины заложения коммуникаций;
- выявление неучтённых инженерных сетей;
- обнаружение зон утечек по аномалиям увлажнения грунта;
- контроль состояния основания вокруг трубопроводов;
- мониторинг подземного пространства при гидроиспытаниях;
- обследование дворовых, внутриквартальных и промышленных территорий.

Строительство и обследование зданий и сооружений

- определение расположения арматуры и закладных деталей;
- измерение толщины защитного слоя бетона;
- выявление пустот, расслоений и трещин в железобетонных конструкциях;
- поиск скрытых инженерных коммуникаций и кабельных трасс;
- обследование фундаментов и плит перекрытия;
- контроль состояния подпорных стен, тоннелей и шахт;
- обследование мостовых конструкций и плит проезжей части;
- оценка состояния грунтового основания под фундаментами (до 4 м);
- контроль качества инъекционных и усилительных работ.

Археология и объекты культурного наследия

- выявление захоронений и археологических объектов;
- картирование фундаментов разрушенных сооружений;
- определение мощности культурного слоя;
- построение трёхмерных моделей подповерхностных структур;
- уточнение границ охранных зон перед строительными работами;
- проведение неразрушающих обследований охраняемых территорий.

Гидротехнические и защитные сооружения

- обследование дамб и насыпей в приповерхностной части;
- выявление зон фильтрации и размыва;
- обнаружение пустот и неоднородностей в теле сооружений;
- контроль состояния подпорных стен и укрепительных конструкций;
- оценка однородности грунтов основания в пределах 4 м.

Экологический мониторинг и рекультивация

- оценка мощности техногенных отложений;
- обследование верхней части массивов полигонов твёрдых бытовых отходов;
- выявление зон фильтрации загрязняющих веществ;
- контроль состояния грунтов при рекультивации;
- мониторинг приповерхностных изменений структуры грунта.

Промышленная инфраструктура

- обследование промышленных площадок и складских комплексов;
- выявление подземных резервуаров и коммуникаций;
- обнаружение техногенных пустот в пределах 4 м;
- контроль состояния бетонных оснований и полов;
- обследование припортовых и причальных сооружений в верхней части основания.

2. Общая информация по аппаратуре

Комплекс георадиотомографии ГРТ-3Х предназначен для выполнения многоканальных георадиолокационных измерений с целью выявления, локализации и анализа неоднородностей в приповерхностных слоях среды.

Комплекс обеспечивает сбор данных с использованием антенных решёток различной конфигурации и допускает эксплуатацию в составе различных мобильных и стационарных носителей.

2.1 Состав комплекса

В состав георадиотомографического комплекса входят:

1. Управляющий компьютер;
2. Основной блок георадиотомографа (ЛЧМ генератор, коммутатор и АЦП);
3. Модуль антенной решетки с элементами крепления и ВЧ разъемами;
4. Механические элементы крепления и установки антенных модулей;
5. Комплект кабелей, блоки питания и коммутации;
6. USB-флеш-накопитель с программным обеспечением GeoLocator и GeoViewer, а также руководством пользователя;
7. Кофр для транспортировки устройства (возможно исполнение с калибровочным листом на крышке) **- опция;**
8. Навигационный блок (энкодер и/или RTK GNSS и/или иной позиционер) - **опция;**
9. Ручная внедорожная тележка - **опция;**
10. Гусеничная платформа для осуществления автономной работы устройства - **опция.**

Примечание.
Конкретный состав комплекса определяется вариантом исполнения и условиями эксплуатации в том числе согласно техническому заданию заказчика.

2.2 Варианты исполнения комплекса

Комплекс ГРТ-3Х выпускается в нескольких вариантах исполнения, отличающихся:

- количеством каналов;
- типом и конфигурацией антенных решёток;
- диапазоном рабочих частот;
- способом установки на носитель.

Вариант исполнения выбирается в зависимости от поставленных задач, требуемой глубинности зондирования, разрешающей способности и условий эксплуатации. Типовые характеристики комплекса представлены в таблице 2, но в зависимости от конкретной поставки могут отличаться согласно техническому заданию.

2.3 Варианты антенных решёток

Антенные решётки могут различаться:

- числом приёмных и передающих каналов;
- шагом между антеннами;
- рабочим частотным диапазоном;
- типом согласования на среду.

Требование.
При эксплуатации комплекса параметры антенной решётки, заданные в программном обеспечении, должны соответствовать фактической конфигурации установленной решётки.

Таблица 2 – характеристики комплекса

Частотный диапазон генератора ЛЧМ (диапазон частот антенн отличается в зависимости от типа согласования)	0.1-1 ГГц (ГРТ-1XXX) 0.4-3 ГГц (ГРТ-3XXX)
Мощность излучения на выходе приемо-передатчика	до 50 мВт
Ширина сканирования за один проход	от 60см до 2,4м
Тип антенны	Решетка, состоящая из линеек широкополосных антенн, комбинированного типа
Допустимый уровень отклонения всех характеристик не более	5 %
Максимальная глубина зондирования	до 3-х м, в зависимости от антенны
Возможность непрерывного зондирования на скорости	больше 100 км/ч
Разрешение сканирования вдоль антенной линейки	5см (ГРТ32XXC) 25см (ГРТ1XC)
Напряжение питания (от внешнего источника)	12.6-13.5 В
Потребляемая мощность	100 Вт
Степень защиты	IP64 по ГОСТ 14254-2015
Температура окружающей среды (эксплуатация)	от - 20 до 40 °C
Относительная влажность (эксплуатация)	20% - 85%
Скорость зондирования	10’000 трасс/с
Экспорт результатов сканирования (в том числе при использовнии ПО партнеров)	ASCII, PNG, JPG, PDF, CSV, SGY, TRZ, RDR,SHP, DXF, CAD/BIM

2.4 Варианты установки комплекса на носители

Комплекс георадиотомографии допускает установку и эксплуатацию на следующих типах носителей:

- автомобильные транспортные средства;
- моторизованные и немоторизованные тележки;
- железнодорожный подвижной состав;
- гусеничные платформы;
- беспилотные летательные аппараты;
- стационарные и полустационарные конструкции.

Выбор способа установки определяется:

- условиями местности;
- требуемой скоростью съёмки;
- допустимой высотой размещения антенной решётки;
- требованиями к точности позиционирования.

Примечание.
При установке на подвижные носители необходимо обеспечивать стабильное пространственное положение антенной решётки относительно поверхности зондирования.

2.5 Условия эксплуатации

Комплекс предназначен для эксплуатации:

- в полевых условиях;
- в лабораторных условиях;
- при положительных и отрицательных температурах в пределах, установленных изготовителем.

Требование.
Эксплуатация комплекса должна выполняться с соблюдением требований безопасности и ограничений, установленных в эксплуатационной документации на отдельные узлы и модули.

3. Сборка и включение аппаратуры

Настоящий раздел устанавливает порядок сборки георадиотомографического комплекса, его установки на носитель и включения перед началом измерений.

Все операции должны выполняться обученным инженерно-техническим персоналом.

Перед сборкой и включением аппаратуры рекомендуется ознакомится с основными элементами комплекса указанными в приложениях - “Основной блок ГРТ-XX” и “Основной блок ГРТ-XX облегченная версия”, а также типовыми монтажными чертежами антенных решеток.

3.1 Общие требования к сборке

Сборка комплекса должна выполняться:

- на ровной устойчивой поверхности;
- при отключённом питании;
- с использованием штатных крепёжных и соединительных элементов.

Требование.
Запрещается включение аппаратуры до завершения всех операций сборки и проверки правильности соединений.

Примечание.
Перед началом сборки рекомендуется визуально проверить комплектность аппаратуры и отсутствие механических повреждений.

3.2 Подключение основного блока георадиотомографа

Основной блок управления и сбора данных устанавливается:

- в защищённом от осадков и загрязнений месте;
- с обеспечением свободного доступа к разъёмам и органам управления.

Порядок подключения:

1. Установить и закрепить основной блок в посадочные места, предусмотренные производителем.
2. Подключить высокочастотные антенные кабели и 26ти пиновый коммутационный (при наличии) к соответствующим разъёмам основного блока.
3. Подключить 12-ти пиновый кабель распределительного модуля к основному блоку георадара.
4. Подключить интерфейсный кабель связи с управляющим компьютером.
5. Подключить кабель питания.

Требование.
Подключение кабелей должно выполняться в соответствии с маркировкой разъёмов. Перепутывание каналов не допускается.

Примечание.
Перед началом сборки рекомендуется ознакомиться с монтажными и иными чертежами, доступными в качестве приложений к настоящей инструкции.

3.3 Подключение средств позиционирования и одометрии

При использовании GNSS-приёмника, энкодера или других средств позиционирования необходимо:

1. Установить датчики в соответствии с их эксплуатационной документацией.
2. Подключить датчики к электронному блоку управления.
3. Проверить надёжность крепления датчиков.

Примечание.
Тип используемых средств позиционирования определяется условиями эксплуатации и требованиями к точности пространственной привязки.

3.4 Установка антенной решётки

Антенная решётка устанавливается на носитель в соответствии с выбранным вариантом исполнения комплекса.

При установке необходимо:

1. Разместить антенной блок в рабочем положении.
2. Обеспечить требуемую высоту антенной решётки над поверхностью зондирования.
3. Зафиксировать решётку с использованием штатных креплений.
4. Проверить отсутствие люфтов и перекосов.

Требование.
Антенная решётка должна быть ориентирована в соответствии с направлением движения и схемой каналов, принятой в программном обеспечении.

Примечание.
При эксплуатации на подвижных носителях рекомендуется использовать демпфирующие элементы, снижающие влияние вибраций.

3.5 Проверка электрических соединений

Перед подачей питания необходимо:

- проверить надёжность всех разъёмных соединений;
- убедиться в отсутствии повреждений кабелей;
- проверить правильность подключения источника питания.

Предупреждение.
Подача питания при неправильном подключении кабелей может привести к повреждению аппаратуры.

3.6 Включение аппаратуры

Включение комплекса выполняется в следующей последовательности:

1. Подать питание на электронный блок управления.
2. Убедиться в наличии индикации питания.
3. Дождаться завершения начальной инициализации аппаратуры.
4. Подключить управляющий компьютер (при необходимости).
5. Убедиться в доступности веб-интерфейса блока управления (подробнее в разделе 4).

Требование.
Включение аппаратуры допускается только после завершения всех операций сборки и проверки соединений.

3.7 Контроль готовности к работе

После включения аппаратуры необходимо:

- убедиться в отсутствии аварийных сообщений;
- проверить корректность работы каналов;
- убедиться в готовности аппаратуры к настройке через веб-интерфейс.

Примечание.
При обнаружении неисправностей эксплуатация комплекса должна быть прекращена до их устранения.

3.8 Выключение аппаратуры

Выключение комплекса выполняется в следующей последовательности:

1. Завершить работу программного обеспечения.
2. Отключить питание электронного блока управления.
3. При необходимости отключить кабели и демонтировать оборудование.

Требование.
Запрещается отключение питания во время активного сбора данных.

4. Запуск прибора и первичные аппаратные настройки

Настоящий раздел устанавливает порядок запуска основного блока комплекса георадиотомографии, контроля его готовности и выполнения первичных аппаратных настроек через веб-интерфейс.

Требование.
Первичные аппаратные настройки должны быть выполнены **до запуска** программного обеспечения GeoLocator.

4.1 Назначение веб-интерфейса

Веб-интерфейс предназначен для:

- контроля состояния аппаратуры и каналов;
- выбора профиля антенной решётки;
- задания параметров синхронизации и источника тактирования (Clock source);
- контроля работы энкодера и системы позиционирования;
- загрузки и обновления калибровочных коэффициентов.

4.2 Меры предосторожности перед включением

Предупреждение.
Не допускается включение основного блока без подключённой нагрузки на ВЧ-тракт (антенные элементы, аттенюатор или эквивалентная нагрузка).

Перед включением необходимо убедиться, что:
- все антенные кабели подключены к соответствующим ВЧ-разъёмам;
- разъёмы зафиксированы и не имеют перекосов;
- кабельные трассы не находятся под натяжением и не подвергаются перетиранию;
- источник питания соответствует допустимому диапазону **12,5–15,5 В**;
- GNSS-антенна установлена (при эксплуатации с GNSS);
- Ethernet-кабель подключён к управляющему ПК.

Требование.
Подключение и отключение антенных кабелей при включённом питании не допускается.

4.3 Включение прибора и контроль индикации готовности

Включение выполняется в следующей последовательности:

1. Подать питание на основной блок.
2. Нажать кнопку «Вкл/Выкл» (при наличии штатного органа управления).
3. Дождаться завершения загрузки.

Контроль готовности выполняется по световой индикации:

- через **3–5 с** после включения начинается мигание **зелёного** светодиода, что соответствует запуску системы;
- через ~**1 мин** прибор переходит в рабочий режим;
- признаком рабочего режима является **однократное мигание красного** светодиода;
- при вращении подключённого энкодера **красный** светодиод мигает, что подтверждает регистрацию импульсов движения;
- при устойчивом определении координат GNSS **зелёный** светодиод переходит в режим **постоянного свечения**.

Примечание.
До установления устойчивой GNSS-индикации выполнение площадной съёмки с абсолютной координатной привязкой не рекомендуется.

4.4 Настройка сетевого соединения с управляющим ПК

Доступ к веб-интерфейсу выполняется по Ethernet-соединению.

4.4.1 Настройка IPv4 на управляющем ПК

На управляющем ПК необходимо задать статические параметры IPv4 для сетевого адаптера, подключённого к основному блоку:

- IP-адрес: **192.168.1.100**
- Маска подсети: **255.255.255.0**
- Шлюз по умолчанию: не задавать
- DNS: не задавать

Требование.
Указанные параметры должны быть установлены именно на том сетевом адаптере, который физически подключён к основному блоку.

Примечание.
При наличии активных VPN/маршрутизации рекомендуется временно отключать сторонние виртуальные адаптеры во избежание конфликтов маршрутов.

4.4.2 Проверка доступности основного блока

После настройки сети рекомендуется выполнить контроль доступности (например, проверкой связи средствами ОС). При отсутствии связи необходимо:

- проверить кабель Ethernet и порт подключения;
- проверить правильность IP-настроек;
- перезапустить основной блок при необходимости.

4.5 Доступ к веб-интерфейсу

Для входа в веб-интерфейс необходимо:

1. Открыть веб-браузер на управляющем ПК.
2. В адресной строке указать адрес: **http://192.168.1.10**
3. Дождаться загрузки начальной страницы веб-интерфейса, как показано на рисунке 6.
4. Для входа в режим стандартных настроек достаточно нажать кнопку “Enter”.
5. Данные учетной записи администратора передаются по запросу пользователя.



Рис.6. Диалоговое окно входа в веб интерфейс управления параметрами георадара

4.6 Структура веб-интерфейса и контроль состояния

Структура веб-интерфейса включает три основных раздела меню (рис, 7).

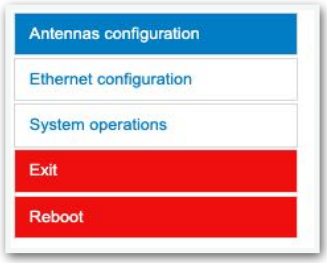


Рис.7. Основное меню веб-интерфейса

- Antennas configuration — раздел, включающий настройку и выбор профилей антенных решёток, а также настройку параметров радиолокационной части системы;
-
- Ethernet configuration — раздел, предназначенный для настройки сетевых параметров георадара, включая IP-адрес (рис. 8). Настройка выполняется в случаях возникновения конфликта базовых сетевых адресов с другими устройствами, подключёнными к одной сети совместно с георадаром;

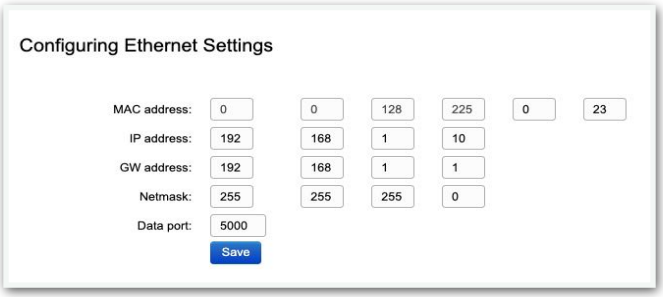


Рис.8. Окно настройки IP-адреса георадара

- System operation — раздел, включающий:

– ввод калибровочных коэффициентов для профилей антенных решёток;

– установку внутреннего системного времени георадиотомографа;

– отображение значений широты и долготы встроенного приёмника глобальных навигационных спутниковых систем (GNSS);

– отображение значений встроенных датчиков влажности и температуры;

– информацию о текущей версии управляющей микропрограммы;

– кнопку перехода в режим загрузчика (bootloader) (рис. 9).

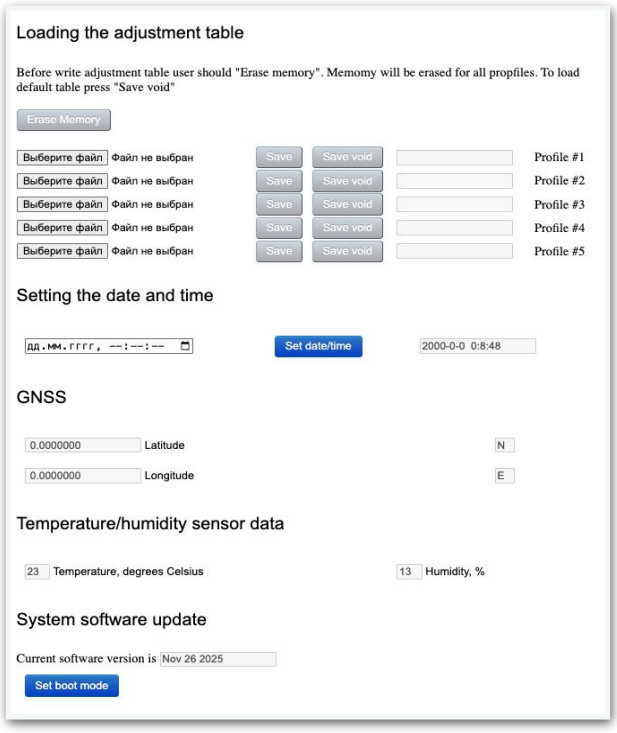


Рис.9. Раздел меню System operation

4.7 Выбор профиля антенной решётки

В веб-интерфейсе необходимо выбрать профиль, как показано на рисунке 10 в разделе меню выбора - **Select work profile**, соответствующий установленной антенной решётке.

Профиль определяет:

- количество каналов;
- соответствие нумерации каналов физической конфигурации;
- параметры, необходимые для корректной записи данных.

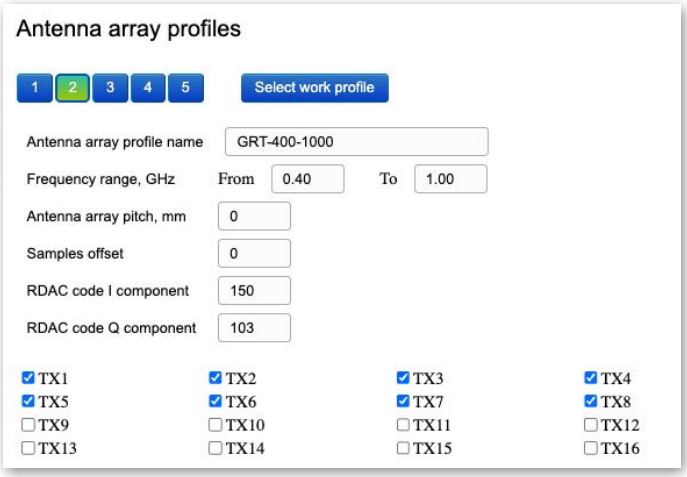


Рис.10. Меню выбора профиля антенной решетки

Требование.
Выбранный профиль должен соответствовать фактической конфигурации антенной решётки. Несоответствие профиля приводит к ошибкам геометрии данных и затрудняет/искажает обработку.

4.8 Выбор источника тактирования (Clock source)

В веб-интерфейсе необходимо выбрать источник тактирования (рис.11):

- **External** — тактирование от внешнего энкодера - режим динамической съёмки;
- **Internal** — тактирование от встроенного источника ШИМ - режим статической работы, в том числе для калибровки.



Рис.11. Строка выбора источника тактирования генератора

Требование.
При выполнении съёмки с пространственной привязкой по перемещению (энкодер/одометрия) должен быть выбран режим **Encoder**.

Примечание.
Режим **Internal** применяется при статической записи, включая запись калибровочного файла над металлическим листом (см. раздел 5, подраздел «Калибровка»).

4.9 Загрузка и обновление калибровочных коэффициентов

Веб-интерфейс обеспечивает обновление калибровочных коэффициентов, сформированных в GeoLocator. Внешний вид меню ввода коэффициентов представлен на рисунке 12.

Порядок действий:

1. Перейти в раздел калибровки и записи коэффициентов в профили антенных решеток.
2. Предварительно обнулить адресную ячейку калибровочных коэффеценитов конкретного профиля.
3. Дождаться окончания записи нулей.
4. Выбрать калибровочный файл.
5. Выполнить загрузку калибровочных коэффициентов.
6. Дождаться окончания загрузки новых коэффициентов.
7. Провести проверку качества сигналов каждого канала на тестовой сцене.

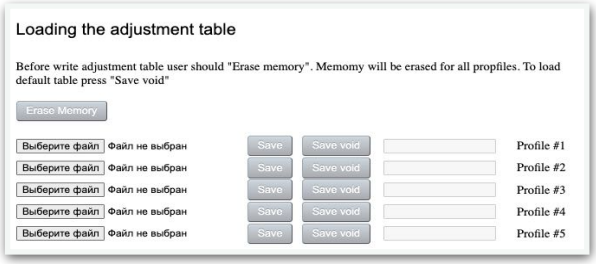


Рис.12. Меню ввода калибровочных коэффициентов

Требование.
После обновления коэффициентов рекомендуется выполнить контроль работоспособности всех каналов до начала измерений.

4.10 Список всех элементов меню «Параметры работы антенной решётки»

Меню «Параметры работы антенной решётки» (Established operating parameters of antenna arrays) предназначено для настройки режимов коммутации приёмо-передающих элементов, в том числе стандартного последовательного опроса и режима СМР, задания параметров пространственной дискретизации профиля, выбора состава и формата передаваемых данных, также установки параметров усреднения и служебных настроек приёмного тракта георадара. Общий вид элементов меню представлен на рисунке 13.

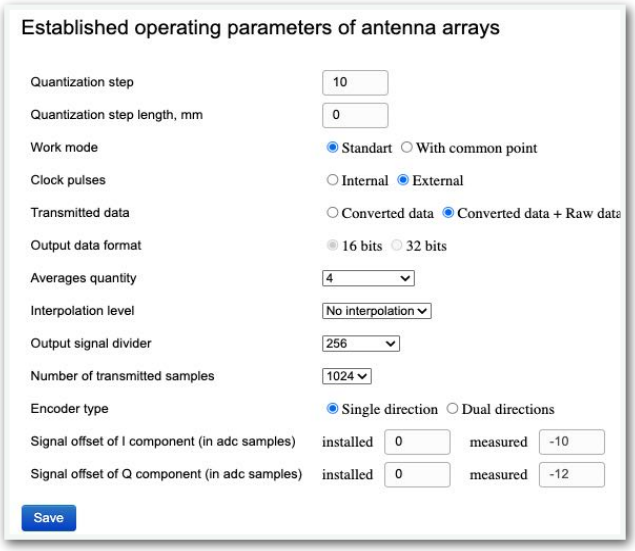


Рис.13. Меню ввода калибровочных коэффициентов

Изменённые значения параметров вступают в силу после нажатия кнопки «Сохранить». В отдельных случаях может потребоваться перезапуск устройства.

1. **Шаг квантования (Quantization step)**
   Задаёт коэффициент деления импульсов энкодера (делитель импульсов) и определяет, через какое количество импульсов энкодера формируется один отсчёт вдоль профиля.

Итоговый пространственный шаг вдоль профиля зависит от:
– установленного шага квантования;
– количества импульсов энкодера за один оборот;
– диаметра измерительного колеса.

Линейный шаг ΔL (в сантиметрах) рассчитывается по формуле:

$$\Delta L = (\pi \cdot D \cdot Kq) / N$$

где: ΔL — шаг вдоль профиля, см; D — диаметр измерительного колеса, см; Kq — шаг квантования (делитель импульсов); N — количество импульсов энкодера за один оборот.

Увеличение значения шага квантования приводит к увеличению расстояния между соседними трассами профиля.

2. **Длина шага квантования, мм (Quantization step length, mm)**
   Отображает или задаёт линейный эквивалент шага квантования. При значении «0» линейная привязка не используется, а расчёт шага выполняется по параметрам энкодера и диаметру колеса.

3. **Режим работы (Work mode)**
   Определяет схему коммутации антенных элементов.

– «Стандартный» — последовательный опрос соседних пар антенных элементов по схеме:
Tx1–Rx1 → Tx1–Rx2 → Tx2–Rx2 → Tx2–Rx3 → …

Реализуется последовательная коммутация передающих (Tx) и приёмных (Rx) элементов с формированием набора трасс.

– «CMP (Common Mid Point)» — режим коммутации общей средней точки. Пары приёмо-передатчиков формируются таким образом, чтобы измерения выполнялись относительно общей средней точки (Common Mid Point). Режим применяется при выполнении задач, требующих анализа параметров среды с привязкой к общей геометрической точке.

4. **Тактовые импульсы (Clock pulses)**
   Задаёт источник тактирования:
   – **External** — тактирование от внешнего энкодера (режим динамической съёмки);
   – **Internal** — тактирование от встроенного источника ШИМ (режим статической работы, в том числе для калибровки).

Параметры внешнего сигнала должны соответствовать техническим требованиям изделия.

5. **Передаваемые данные (Transmitted data)**
   Определяет состав передаваемой информации:
   – «Преобразованные данные» — передача данных после цифровой обработки;
   – «Преобразованные + сырые данные» — одновременная передача обработанных и исходных комплексных данных.

6. **Формат выходных данных (Output data format)**
   Определяет разрядность представления данных (16 или 32 бита). Выбор формата влияет на объём передаваемой информации и требования к пропускной способности интерфейса.

Изменение параметра без понимания требований принимающего программного обеспечения и пропускной способности канала передачи данных не допускается.

7. **Количество усреднений (Averages quantity)**
   Задаёт число накоплений (усреднений) сигнала для одного измерения. Увеличение значения повышает отношение сигнал/шум, однако снижает скорость обновления данных.

В большинстве практических задач достаточно значения до 8. Дальнейшее увеличение числа усреднений может давать незначительный прирост качества сигнала при существенном снижении производительности съёмки.

8. Уровень интерполяции (Interpolation level)
Определяет степень цифровой интерполяции сигнала. При выборе режима «Без интерполяции» дополнительная обработка не выполняется.

9. Делитель выходного сигнала (Output signal divider)
Задаёт коэффициент деления выходного сигнала в соответствии с архитектурой устройства.

Изменение параметра пользователем без специальных знаний схемотехники и принципов синхронизации изделия не допускается.

10. Количество передаваемых отсчётов (Number of transmitted samples)
Определяет число дискретных отсчётов в одном пакете данных.

11. Тип энкодера (Encoder type)
Определяет режим работы датчика перемещения:
– «Однонаправленный» — учёт перемещения в одном направлении;
– «Двунаправленный» — учёт перемещения в прямом и обратном направлениях.

12. Смещение сигнала I-компоненты (Signal offset of I component)
Задаёт или отображает смещение по постоянной составляющей синфазной (I) компоненты сигнала в отсчётах АЦП.

Параметры «Установленное» и «Измеренное» соответствуют заданному и фактически определённому значениям.

Изменение параметра без проведения калибровочных процедур не допускается.

13. Смещение сигнала Q-компоненты (Signal offset of Q component)
Аналогично п. 12, для квадратурной (Q) компоненты сигнала.

Самостоятельное изменение параметра без соответствующей калибровки не допускается.

4.11 Завершение первичных настроек

После выполнения настроек необходимо:

- убедиться, что профиль антенной решётки выбран корректно;
- убедиться, что выбран корректный шаг квантования (Quantum step) и источник тактирования (Clock source) для текущего режима работ;
- убедиться в отсутствии критических значений внутренних датчиков температуры и влажности основного блока (температура выше 50˚C, влажность выше 60%);
- убедиться в готовности каналов и поступлении данных позиционирования (при использовании GNSS).

После выполнения данных условий допускается переход к разделу 5 и запуск GeoLocator.

5. Работа с программным обеспечением GeoLocator

5.1 Назначение программного обеспечения GeoLocator

Программное обеспечение GeoLocator предназначено для управления процессом сбора георадиотомографических данных, приёма данных от основного блока георадиотомографического комплекса, их визуализации в реальном времени, а также для сохранения исходных данных на управляющем компьютере.

GeoLocator используется исключительно на этапе сбора данных и не предназначено для выполнения окончательной обработки и интерпретации результатов измерений.

Передача данных от основного блока георадиотомографа к управляющему компьютеру осуществляется по гигабитному интерфейсу Ethernet с использованием транспортного протокола UDP.

Для обеспечения высокой скорости и минимальных задержек передачи данных применяется механизм прямого приёма сетевых пакетов, реализуемый с использованием библиотеки libpcap (в среде Windows — npcap).

5.2 Условия начала работы с GeoLocator

Перед запуском GeoLocator необходимо убедиться, что:

- основной блок комплекса включён и находится в рабочем режиме;
- первичные аппаратные настройки выполнены через веб-интерфейс (см. раздел 4);
- сетевое соединение между основным блоком и управляющим компьютером установлено;
- профиль антенной решётки выбран корректно;
- источник тактирования (Clock source) соответствует режиму работ.

5.3 Запуск GeoLocator и подключение к прибору

5.3.1 Запуск программы

Для запуска GeoLocator необходимо:

1. Запустить программное обеспечение GeoLocator в режиме администратора на управляющем компьютере.
2. Дождаться загрузки основного окна программы, как показано на рисунке 14.

После запуска в интерфейсе отображаются:

- окно визуализации сигналов и срезов;
- панель параметров устройства;
- элементы управления процессом записи данных.

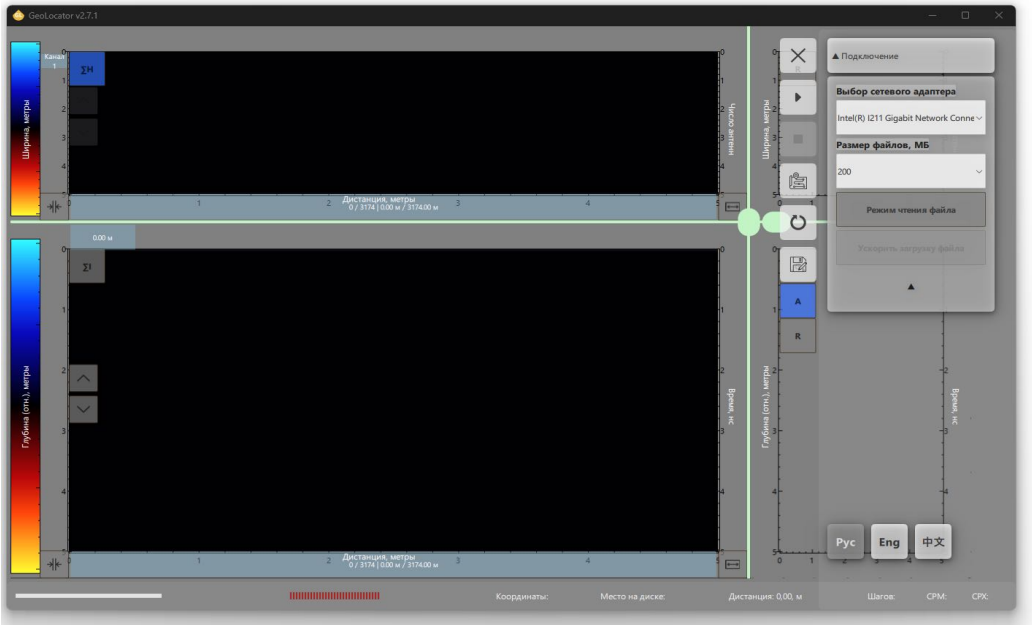


Рис.14. Общий вид основного окна программы сбора данных GeoLocator

5.3.2 Настройка подключения и сетевого интерфейса

В выпадающем меню **«Подключение»**, как показано на рисунке 14 необходимо:

1. Выбрать сетевой адаптер управляющего компьютера, подключённый к основному блоку комплекса.
17. Убедиться в наличии входящего потока данных, после нажатия запуска измерений и кратковременным вращением энкодера.

5.3.3 Ограничение размера выходного файла

GeoLocator позволяет задать максимальный размер выходного файла данных.

При достижении заданного объёма в процессе записи:

- текущий файл автоматически закрывается;
- создаётся новый файл с тем же базовым именем;
- к имени добавляется расширение вида **.dat##**, где ## — порядковый номер последующего фрагмента записи.

5.4 Параметры устройства

В выпадающем меню **«Параметры»** представленном на рисунке15 необходимо задать значения, соответствующие текущей аппаратной конфигурации:

- рабочий частотный диапазон;
- шаг сканирования, рассчитанный по формуле из раздела 4.10.1;
- шаг между антеннами антенной решётки;
- показатель преломления среды или эквивалентную диэлектрическую проницаемость.

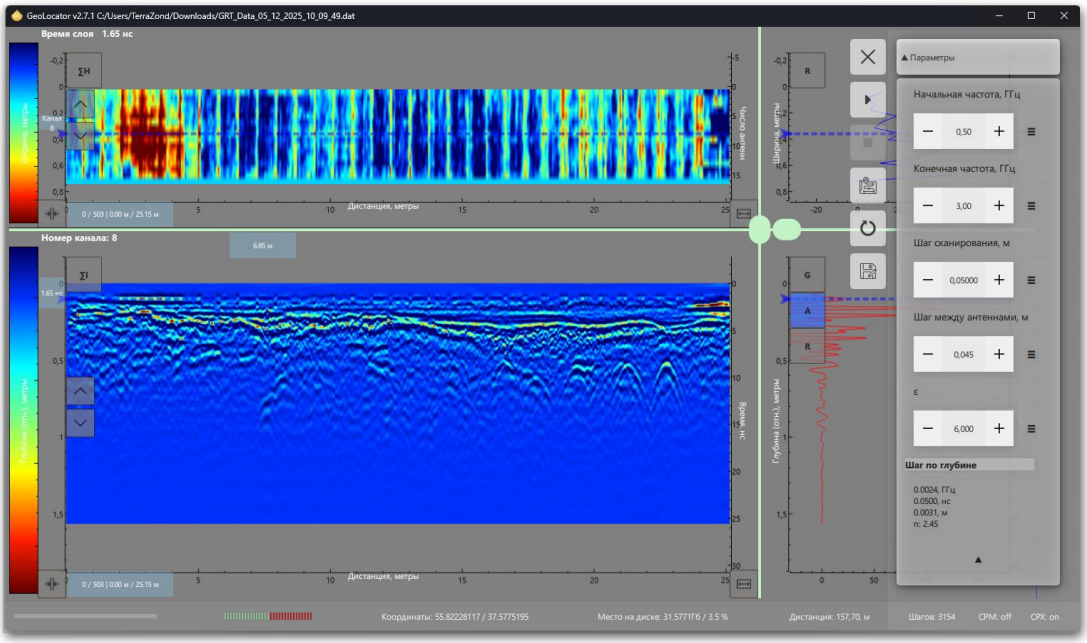


Рис.15. Меню ввода параметров измерения

Требование.
Значения параметров в GeoLocator должны полностью соответствовать параметрам, заданным в веб-интерфейсе основного блока.

Несоответствие параметров приводит к:

- искажению шкалы глубин;
- неверному пространственному позиционированию данных;

5.5 Управление отображением, навигацией и масштабированием

5.5.1 Навигация и масштабирование с помощью мыши

В GeoLocator реализованы унифицированные принципы управления отображением:

- вращение колеса мыши при наведении курсора на радарограмму или график выполняет **общее масштабирование**;
- вращение колеса мыши при наведении курсора на одну из осей выполняет **масштабирование только по соответствующей оси**;
- перемещение области просмотра выполняется при зажатой левой кнопке мыши.
- автомасштабирование графиков и цветового диапазона двойным кликом по одному из графиков или нажатием виртуальной кнопки **R**;
- настройка кривой усиления бокового среза с помощью кнопки **G** и перемещения точек на линейном графике;
- перемещение линейных графиков зажатой левой кнопкой по горизонтали.

5.5.2 Поддержка сенсорных экранов

GeoLocator поддерживает работу с сенсорными экранами и мультитач-жестами.

Доступны:

- масштабирование двумя пальцами;
- панорамирование области просмотра;
- управление элементами интерфейса через сенсорный ввод.

Примечание.
При работе с сенсорными экранами необходимо исключать случайные касания в области цветовых шкал и осей.

5.5.3 Настройка цветовой гаммы и контрастности

Настройка цветовой гаммы и контрастности используется для оперативного визуального контроля качества данных и аналогична настройкам в ПО GeoViewer.

Доступны:

- изменение диапазона отображаемых амплитуд (масштабированием окна спектра сигнала);
- регулировка контрастности и яркости (наведение на цветовую шкалу и использование колеса мыши для увеличения интенсивности цвета, а также смещение всего цветового диапазона зажатой левой кнопкой мыши);
- инверсия цветовой шкалы;
- выбор цветовой схемы расположен в выпадающем меню «**Вид графики» (**рис. 16).

Примечание.
Чрезмерное усиление контраста может приводить к визуализации шумов и ложных аномалий.

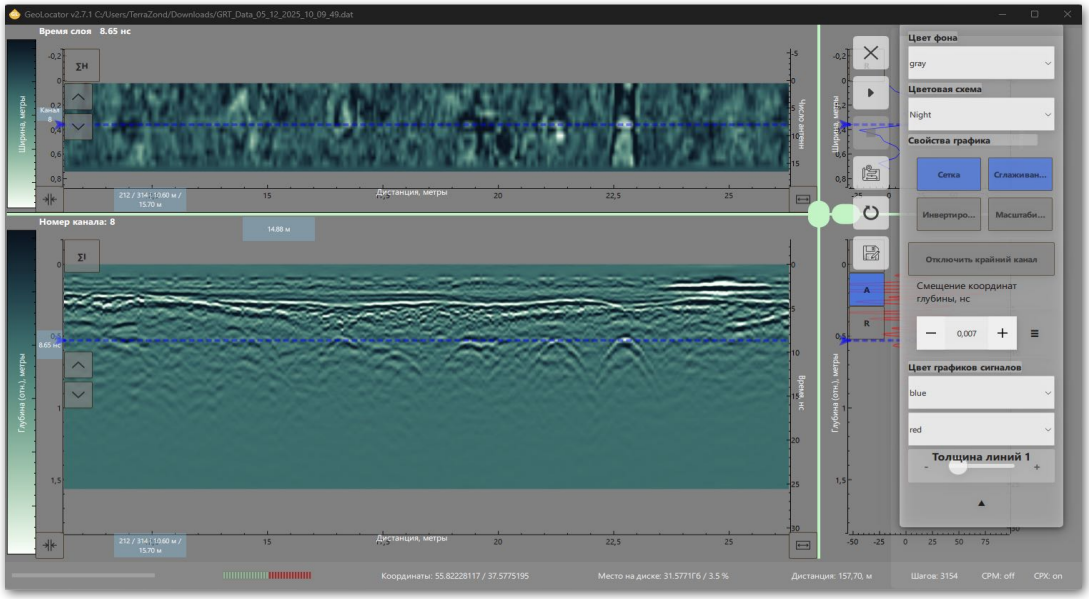


Рис.16. Настройка параметров визуализации

5.6 Название файлов накопления данных

В выпадающем меню **«Файлы»** представленном на рисунке 17 имеется возможность ввода шаблона названия файлов накопления данных, где задаются:

- наименование устройства;
- имя текущей сессии;
- устанавливается режим автоматической нумерации файлов (при необходимости);
- добавляется текстовое описание условий съёмки.

Описание сохраняется в отдельном текстовом файле и используется для документирования условий измерений.

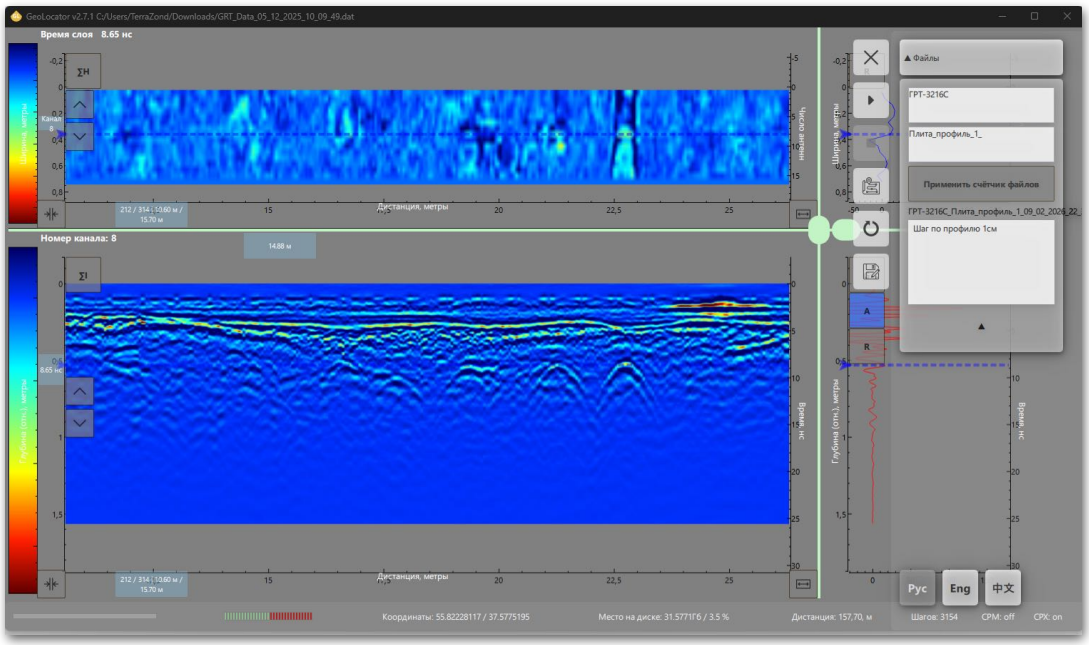


Рис.17. Окно ввода названия файла данных.

5.7 Порядок действий при первом запуске

Рекомендуемый порядок действий при первом запуске:

1. Задать параметры устройства.
2. Выбрать сетевой интерфейс подключения.
3. Настроить режимы визуализации сигналов.
4. Проверить корректность отображения данных.
5. Запустить запись данных.

Примечание.
При последующих запусках параметры сохраняются и могут использоваться без повторной настройки.

5.8 Особенности визуального контроля при высокой скорости съёмки

При съёмке на высокой скорости рекомендуется:

- оставить включённым минимальный набор визуальной информации;
- использовать отображение спектра сигнала;
- контролировать обновление координат GNSS и пройденную дистанцию, отображаемые в нижней части окна программы.

Данный режим снижает нагрузку на систему визуализации и повышает надёжность контроля работоспособности.

5.9 Формирование калибровочных коэффициентов

GeoLocator помимо сбора данных, также используется для формирования таблицы калибровочных коэффициентов каналов антенной решётки, с помощью выпадающего меню **«Калибровка»,** представленного на рисунке 18.

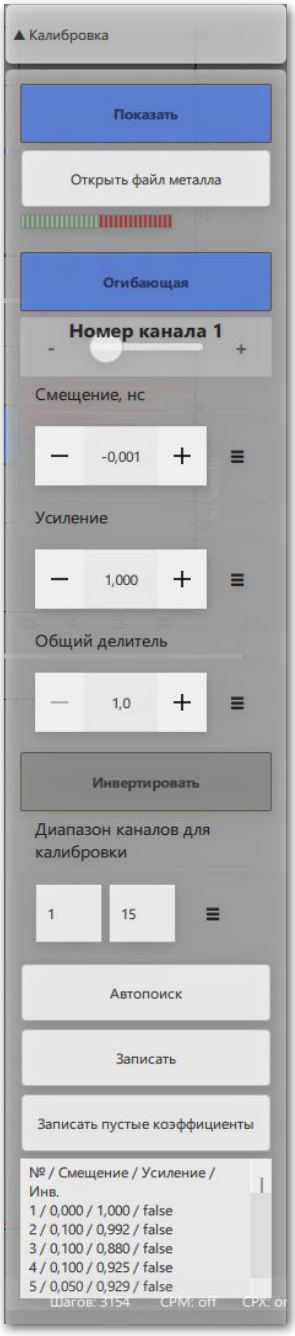


Рис.18. Меню формирования калибровочных коэффициентов.

5.9.1 Подготовка к калибровке

Перед калибровкой необходимо:

- в веб-интерфейсе установить **Clock source = Internal**;
- разместить антенные элементы над металлическим листом;
- обеспечить рабочую высоту, соответствующую условиям эксплуатации.

5.9.2 Запись калибровочных данных

Для записи калибровочных данных в программном обеспечении GeoLocator необходимо выполнить следующие действия:

1. Запустить запись данных в статическом режиме.
2. Выполнить запись 100–150 шагов данных над металлическим листом, размещая антенную решётку на рабочей высоте.
3. Остановить запись и сохранить полученный файл.

Требование.
Размер металлического листа должен превышать габаритные размеры антенной решётки не менее чем на 15–20 %.

5.9.3 Расчёт и проверка коэффициентов

После открытия файла в разделе «Калибровка» необходимо:

1. Выбрать корректный диапазон каналов.
2. Выполнить автоматический поиск коэффициентов.
3. Проверить корректность амплитудной и временной коррекции каждого канала.

5.9.4 Сохранение и применение коэффициентов

После проверки необходимо:

1. Сохранить таблицу коэффициентов в файл (кнопка «Записать»).
2. Использовать данный файл для обновления коэффициентов через веб-интерфейс основного блока.

Калибровочные коэффициенты применяются:

- после ремонта или замены каналов;
- при выявлении межканальных рассогласований.

5.10 Завершение сеанса сбора данных

После завершения измерений необходимо:

1. Остановить запись данных.
2. Убедиться в корректности сохранения файлов.
3. Корректно завершить работу GeoLocator.
4. При необходимости выключить аппаратный комплекс.

Требование.
Отключение питания при активной записи данных не допускается.

6. РАБОТА С ПРОГРАММНЫМ ОБЕСПЕЧЕНИЕМ GeoViewer

6.1 Назначение и область применения

Программное обеспечение **GeoViewer** предназначено для обработки, визуализации и анализа данных георадиотомографии, полученных в ходе измерений, выполненных с использованием георадиотомографического комплекса, и включает инструменты формирования вертикальных разрезов (радарограмм), горизонтальных амплитудных карт, суммированных срезов, карт огибающей и динамической томографии, а также средства пространственной привязки данных и экспорта результатов.

GeoViewer применяется **после завершения сбора данных**. Управление аппаратурой и процессом записи данных осуществляется программным обеспечением GeoLocator.

6.2 Порядок работы с GeoViewer *(пользовательский режим)*

ШАГ 1. Запуск программы GeoViewer

Для начала работы необходимо запустить программное обеспечение GeoViewer на управляющем компьютере.

После запуска на экране отображается основное окно программы (рис. 19) с основными элементами интерфейса, включающими:

- область визуализации данных;
- панель управления проектом;
- дерево проекта;
- панели параметров и инструментов обработки.

Примечание.
GeoViewer не требует подключения к аппаратуре и может использоваться автономно для работы с ранее записанными данными.

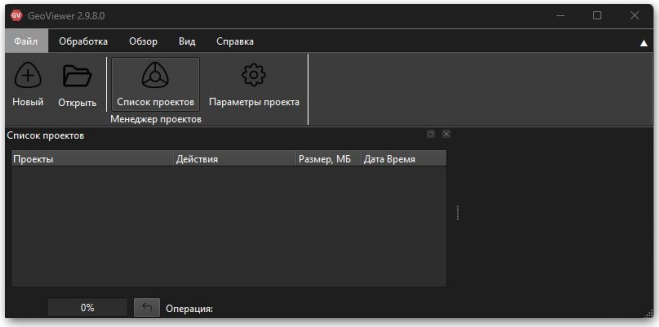


Рис.19. Основное окно GeoViewer после запуска

ШАГ 2. Использование встроенного мастера обучения (опционально)

После первого запуска GeoViewer пользователю предлагается воспользоваться встроенным мастером обучения, представленном на рисунке 20.

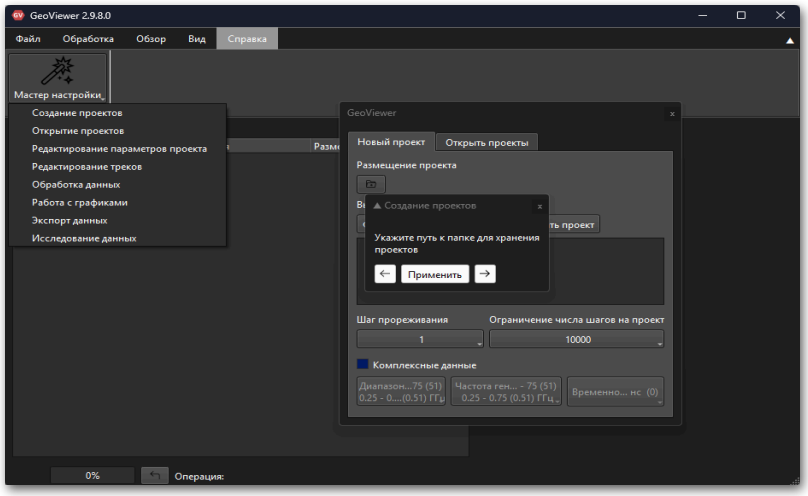


Рис.20. Окно мастера обучения с подсветкой элементов интерфейса

Мастер обучения предназначен для:

- первичного ознакомления с интерфейсом программы;
- пояснения назначения основных элементов управления;
- демонстрации базовой последовательности действий.

Порядок действий:

1. Подтвердить запуск мастера обучения либо отказаться от его использования.
2. При использовании мастера выполнять действия в соответствии с подсказками.
3. По завершении мастера перейти к самостоятельной работе.

Примечание.
Использование мастера обучения является опциональным и не влияет на функциональные возможности программы.

ШАГ 3. Создание нового проекта

В GeoViewer обработка данных выполняется в рамках проекта.

Для создания проекта необходимо:

1. Открыть меню управления проектами.
2. Выбрать команду создания нового проекта.
3. Указать каталог для размещения файлов проекта.

Требование.
Каталог проекта должен быть отдельным и не совпадать с каталогом хранения исходных файлов данных.

Примечание.
В каталоге проекта автоматически создаются служебные файлы и сохраняются состояния обработки.

ШАГ 4. Добавление исходных файлов данных

После создания проекта необходимо добавить исходные файлы данных, как показано на рисунке 21, полученные в процессе съёмки.

Порядок действий:

1. Выбрать команду добавления файлов данных.
2. Выбрать каталог для размещения проекта.
3. Перейти в каталог с исходными файлами.
4. Выделить один или несколько файлов (поддерживается множественное выделение).
5. Подтвердить добавление файлов в проект.

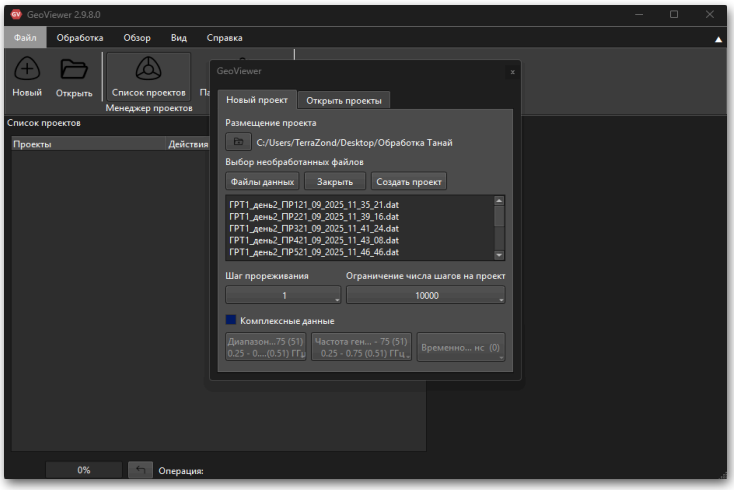


Рис.21. Диалог создания проекта, выбора папки и добавления исходных файлов данных.

Примечание.
Рекомендуется добавлять все файлы, относящиеся к одной площадке или объекту, в рамках одного проекта для обеспечения корректного построения карт и разрезов.

ШАГ 5. Опциональное преобразование комплексных (частотных) данных

Важно.
Преобразование комплексных (частотных) данных позволяет применить частотное окно для фильтрации сигнала и возможно только в том случае, если данная функция была включена в веб-интерфейсе перед записью данных в GeoLocator. Запись временной формы сигнала выполняется по-умолчанию и её обычно достаточно для получения удовлетворительного результата.

В случае отсутствии частотных данных данный шаг **пропускается**.

При необходимости преобразования выполняются следующие действия:

1. Активировать галочкой режим преобразования комплексных данных, как представлено на рисунке 22.
2. Задать диапазон рабочих частот, соответствующий параметрам измерений.
3. При необходимости задать параметры фильтрации в пределах выбранного диапазона и крутизну частного окна (α);
4. При необходимости задать смещение начала сигнала.
5. Применить настройки преобразования.

Примечание.
Если пользователь не уверен, записывались ли данные в частотной области, следует ориентироваться на выбранный параметр в пункте меню веб-интерфейса - «Передаваемые данные».

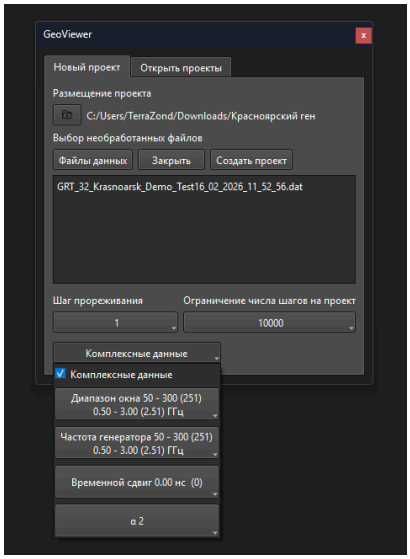


Рис.22. Окно преобразования комплексных данных с выбором диапазона частот

ШАГ 6. Парсинг данных и проверка структуры проекта

После добавления файлов (и выполнения преобразования, при необходимости) GeoViewer выполняет автоматический парсинг данных.

В ходе парсинга производится:

- анализ структуры файлов;
- определение количества проездов;
- формирование дерева проекта, как показано на рисунке 23.

Порядок действий пользователя:

1. Дождаться завершения процесса парсинга.
2. Проверить корректность отображения данных в дереве проекта.
3. Убедиться, что количество и структура проездов соответствуют ожидаемым.

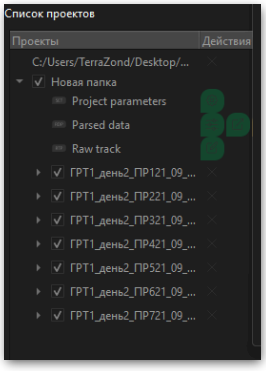


Рис.23. Дерево проекта после завершения парсинга данных

Требование.
При обнаружении отсутствующих или некорректно распознанных данных дальнейшая обработка не рекомендуется до устранения причины.

ШАГ 7. Задание параметров проекта

Задание параметров проекта (рис.24) является **обязательным этапом**, влияющим на корректность всех последующих операций обработки и визуализации.

В параметрах проекта необходимо задать:

- рабочий частотный диапазон;
- шаг сканирования вдоль профиля;
- параметры среды, такие как диэлектрическая проницаемость ε или показатель преломления;
- параметры антенной решётки, такие как шаг между антеннами, количество каналов.

Порядок действий:

1. Открыть окно параметров проекта.
2. Ввести значения параметров в соответствии с условиями съёмки.
3. Сохранить параметры проекта.

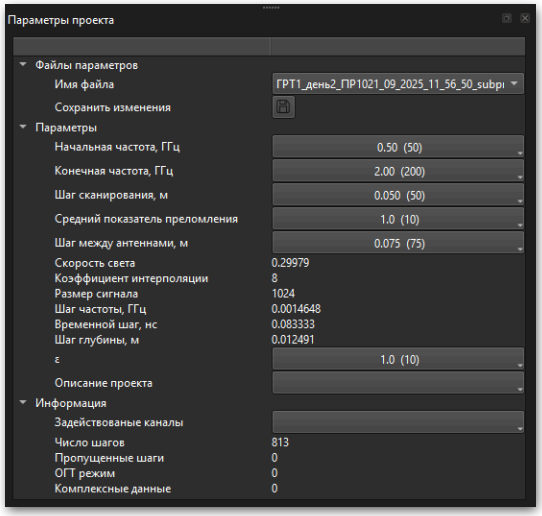


Рис.24. Окно параметров проекта с заполненными значениями

Требование.
Некорректно заданные параметры проекта приводят к ошибочному пересчёту глубин, искажению амплитудных карт и неверной интерпретации данных.

ШАГ 8. Просмотр и анализ треков позиционирования

После задания параметров проекта необходимо выполнить контроль корректности пространственной привязки данных.

GeoViewer позволяет просматривать треки позиционирования, записанные в процессе съёмки.

Порядок действий:

1. Перейти в режим просмотра треков.
2. Отобразить треки всех проездов проекта, нажав кнопку «Загрузить выбранное» во вкладке «Настройка трека», как на рисунке 25.
3. Выполнить визуальный анализ треков.

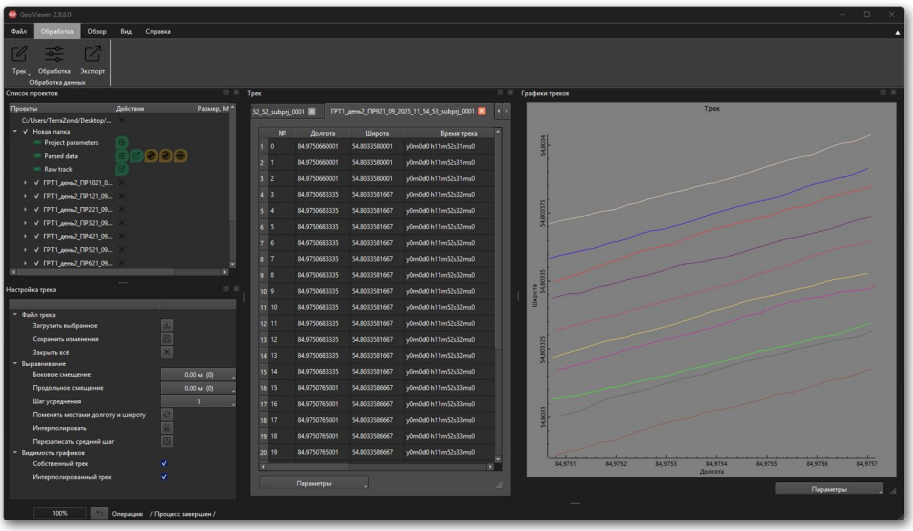


Рис.25. Окно просмотра треков позиционирования

При анализе необходимо:

- проверить наличие треков для всех проездов;
- оценить форму треков и их взаимное расположение;
- выявить возможные разрывы, резкие скачки координат или наложения проездов;
- оценить равномерность шага движения.

Требование.
При наличии выраженных разрывов или искажений треков дальнейшая обработка без коррекции не рекомендуется.

Примечание.
При работе без GNSS (при использовании только энкодера) данный шаг пропускается и можно сразу переходить к шагу 11 (при наличии трека внешнего GNSS приемника), либо сразу к шагу 12**.**

ШАГ 9. Интерполяция и выравнивание треков

Интерполяция треков используется для:

- выравнивания шага вдоль проездов;
- устранения нерегулярностей движения;
- привязки координат к каждому измерительному каналу антенной решетки;
- формирования устойчивой основы для построения общей амплитудной карты.

На данном этапе также доступна возможность коррекция смещения расположения антенны GNSS относительно антенной решетки, путем ввода бокового и продольного смещения.

Порядок действий:

1. После загрузки треков необходимо нажать кнопку «Интерполировать», пример результата интерполяции представлен на рисунке 26.
2. Проверить результат интерполяции визуально.
3. При необходимости изменить шаг усреднения для получения приемлемого вида треков. Применение нового шага осуществляется после повторного нажатия “Интерполировать”.
4. Сохранить интерполированные треки.

Требование.
Перед сохранением интерполированных треков необходимо убедиться, что геометрия проездов не искажена.

Примечание.
Интерполяция является математической операцией и не добавляет новых измеренных данных; при интерпретации следует учитывать данный факт.

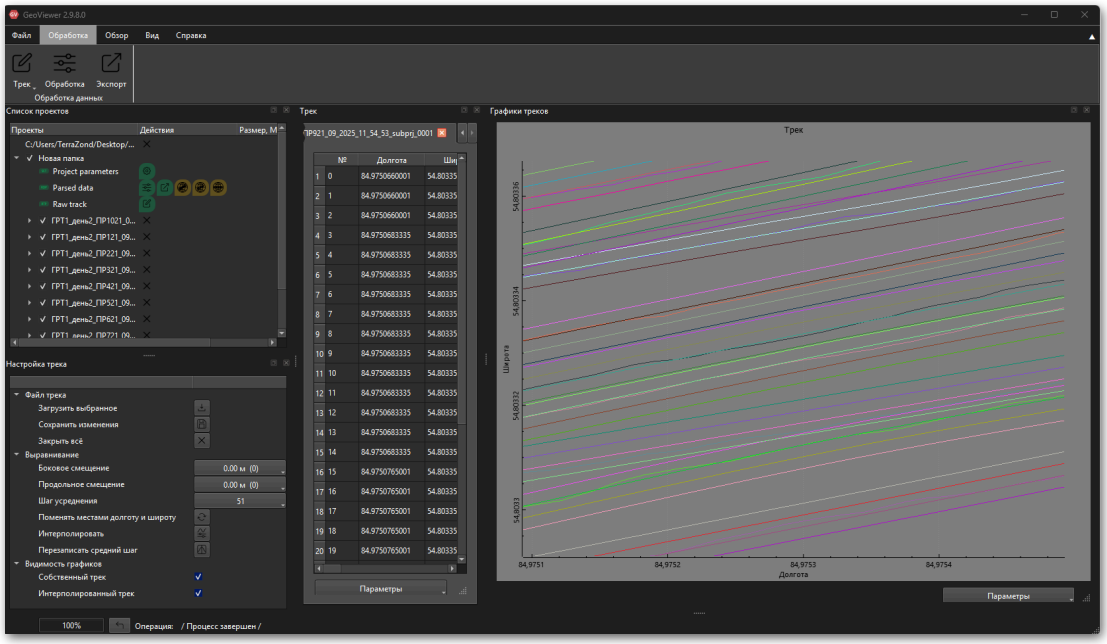


Рис.26. Интерполяция треков позиционирования

ШАГ 10. Перезапись среднего шага (при необходимости)

После выполнения интерполяции допускается перезапись среднего шага, используемого в проекте.

Перезапись среднего шага применяется:

- при значительном отличии исходного шага от интерполированного;
- при необходимости обеспечения равномерной сетки данных для построения карт.

Порядок действий схематично показан на рисунке 27:

1. Активировать функцию перезаписи среднего шага, при этом значение шага сканирования обновится в параметрах проекта.
2. Подтвердить использование нового шага, рассчитанного на основе интерполированных треков, сохранив обновленные параметры проекта.

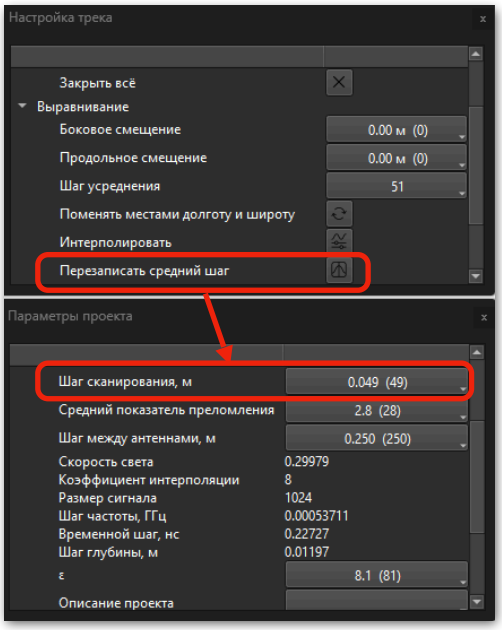


Рис.27. Перезапись среднего шага после интерполяции

Требование.
Перезапись среднего шага должна выполняться только после завершения интерполяции и визуального контроля треков.

Примечание.
При использовании только относительной привязки (без GNSS) перезапись шага позволяет улучшить согласованность данных между проездами.

ШАГ 11. Подключение внешнего GNSS-трека и синхронизация (при необходимости)

Подключение внешнего GNSS-трека применяется в случаях, когда:

- встроенный трек отсутствует или имеет неудовлетворительное качество;
- требуется использовать данные стороннего приёмника позиционирования;
- необходимо уточнить или заменить пространственную привязку проездов.

Порядок действий:

1. Активировать меню подключения внешнего трека, общий вид которого представлен на рисунке 28.
2. Выбрать файл внешнего GNSS-трека.
3. Назначить столбцы файла, соответствующие координатам и времени.
4. Указать формат времени и, при необходимости, смещение часового пояса.
5. Выполнить автоматическую синхронизацию данных по времени.
6. Проверить корректность совмещения трека с проездами.
7. Применить внешний трек к проекту.

При проверке синхронизации необходимо:

- убедиться в совпадении начала и конца проездов с треком;
- проверить отсутствие систематического смещения;
- оценить согласованность формы трека и геометрии проездов.

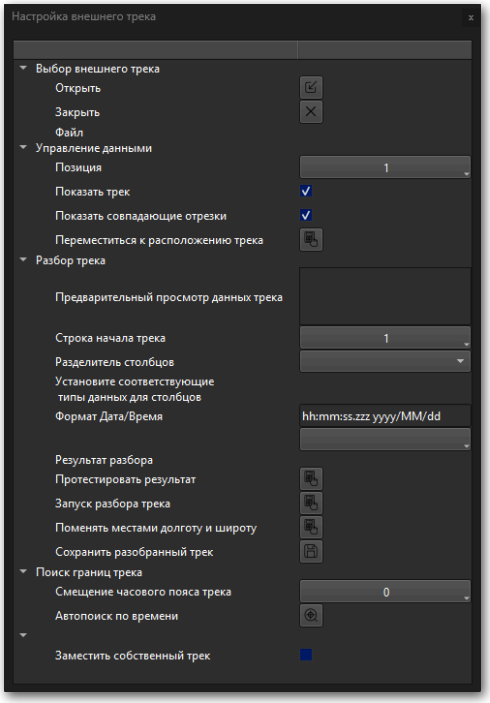


Рис.28. Меню подключение внешнего GNSS-трека и автосинхронизация

Требование.
Перед применением внешнего трека необходимо выполнить визуальный контроль корректности синхронизации.

Примечание.
При наличии нескольких вариантов внешних треков рекомендуется выбрать трек с наибольшей устойчивостью и минимальным количеством разрывов.

ШАГ 12. Базовая обработка данных и первичный визуальный анализ

После завершения работы с треками и пространственной привязкой выполняется базовая обработка данных.

Базовая обработка предназначена для:

- подавления фоновых составляющих сигнала;
- повышения наглядности отражающих границ;
- подготовки данных к анализу и построению амплитудных карт.

Порядок действий:

1. Открыть окно параметров обработки данных, представленного на рисунке 29.
2. Включить вычитание общего среднего (подавление фона).
3. При необходимости задать диапазон глубин (или временных задержек) для анализа.
4. При наличии проблемных каналов отметить их для исключения или интерполяции.
5. Применить параметры обработки и оценить результат.

При первичном визуальном анализе рекомендуется:

- проверить радарограммы отдельных проездов;
- оценить уровень шумов и стабильность сигнала;
- убедиться в отсутствии выраженных артефактов.

Требование.
Рекомендуется начинать обработку с минимального набора операций и добавлять дополнительные алгоритмы только при необходимости.

Примечание.
Чрезмерная обработка на раннем этапе может затруднить интерпретацию данных и скрыть реальные особенности среды.

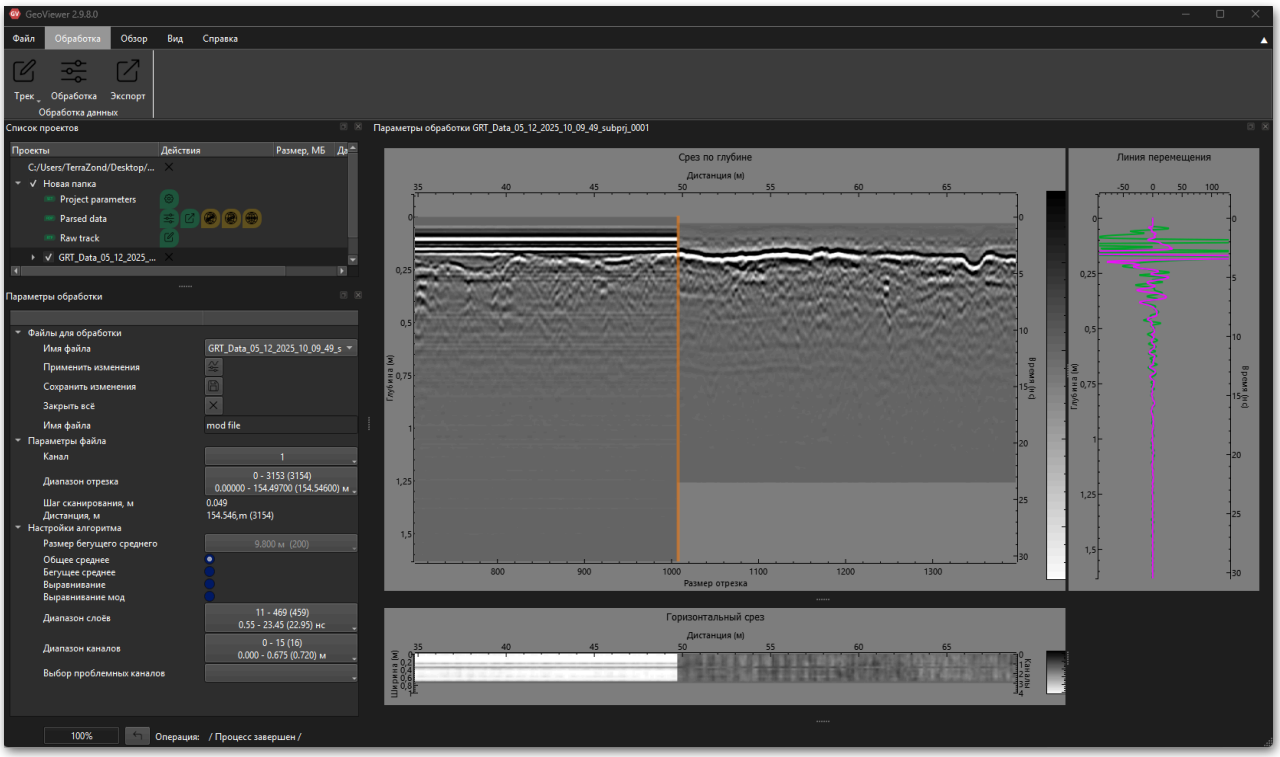


Рис.29. Окно параметров базовой обработки данных

ШАГ 13. Просмотр результата обработки и базовая навигация

После выполнения базовой обработки (**ШАГ 12**) необходимо оценить результат и выполнить базовую навигацию в окне визуализации.

В окне визуализации используются следующие элементы управления отображением:

- **колесо мыши** — общее масштабирование отображаемых данных;
- **наведение курсора на ось + колесо мыши** — масштабирование только по выбранной оси;
- **наведение курсора на цветовую шкалу + колесо мыши** — изменение усиления конкретного цвета (уровня амплитуд);
- **перетаскивание цветовой шкалы левой кнопкой мыши** — смещение соотношения амплитуд цветовой схеме.
- **нажатии правой кнопки мыши в окне радарограммы** — доступ к контекстному меню, предоставляющее пользователю выбрать цветовую схему; показать/скрыть: координатную сетку, сглаживания графиков, перекрестия; осуществить базовое масштабирование, а также произвести сохранение изображений срезов, амплитудной карты и спектра трассы.

Дополнительно рекомендуется выполнить сравнение исходных и обработанных данных:

- перемещая границу оранжевого цвета в окне срез по глубине, как показано на рисунке 30 между режимами отображения исходных и обработанных данных - произвести оценку влияния выбранного алгоритма обработки на читаемость отражений;
- контролировать отсутствие артефактов обработки (переусиление шумов, потеря слабых отражений, искажение формы сигналов).

Требование.
Сравнение исходных и обработанных данных является обязательной операцией контроля корректности выбранных параметров обработки.

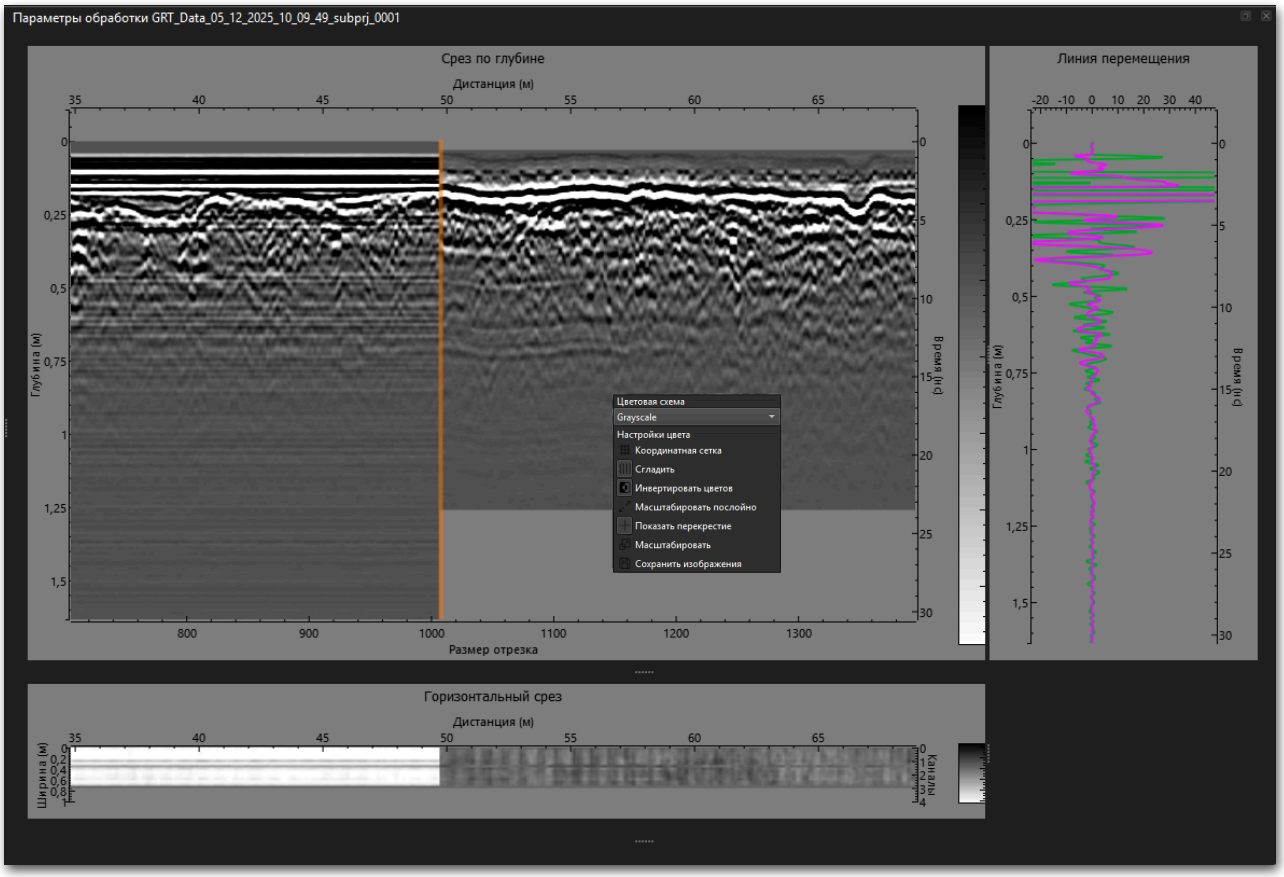


Рис.30. Окно визуализации результатов базовой обработки данных.

ШАГ 14. Экспорт данных

Экспорт данных выполняется при необходимости передачи результатов обработки в сторонние программные средства, архивирования данных либо подготовки материалов для дальнейшего анализа.

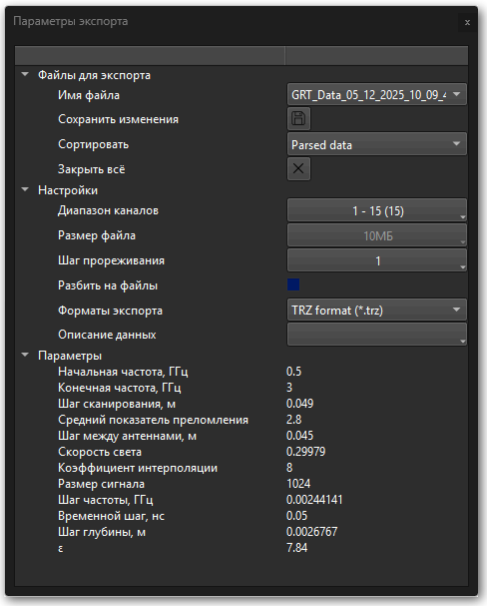


Рис.31.Диалоговое окно экспорта данных с выбором формата

Порядок действий:

1. Нажать кнопку **Экспорт** в верхнем меню.
2. В блоке «Параметры экспорта», представленном на рисунке 31, выбрать тип экспортируемых данных:
   - исходные данные (Parced data);
   - обработанные данные (mod_file_XXXX).
3. Задать параметры экспорта:
   - число каналов;
   - режим прореживания данных (при необходимости);
   - формат экспорта (TRZ, RDR, ASCII, CSV).
4. Выполнить сохранение экспортируемых данных.

Примечание.
Прореживание данных рекомендуется использовать при необходимости уменьшения объёма файлов (например, для ускорения загрузки в сторонние программные комплексы). Следует учитывать, что прореживание снижает плотность дискретизации и может уменьшать детализацию.

ШАГ 15. Работа с общими амплитудными картами

Данный этап является ключевым для интерпретации площадных данных и предназначен для анализа распределения амплитуд отражённого сигнала в горизонтальных срезах по глубине.

Под **общей амплитудной картой** понимается амплитудная карта, построенная по всем проездам проекта в выбранном глубинном интервале.

Шаг 15.1 Навигация по глубине и синхронизация карт

После загрузки данных в окне «Исследование» горизонтальные срезы всех проездов будут отображаться в окне «Карта», как показано на рисунке 32.

- используйте кнопки «+» и «–» для перемещения по глубине (послойно);
- в нижней части окна отображаются: текущая глубина в метрах и соответствующее время в наносекундах;
- при перемещении по глубине **вся общая амплитудная карта синхронно обновляется**.



Рис.32. Общая амплитудная карта

Пояснение: обновление выполняется по всем проездам проекта одновременно, что позволяет отслеживать пространственную динамику аномалий.

Шаг 15.2 Локализация аномалий по щелчку

Щёлкните мышью по интересующей области на общей амплитудной карте и перемещайте перекрестие.

Для выбранной точки:

- подсвечивается соответствующая область, как на рисунке 33;
- на всех срезах выбранного проезда отображается эта зона.

Данная синхронизация позволяет сразу перейти от площадного анализа к детальному анализу структуры отражений по глубине.

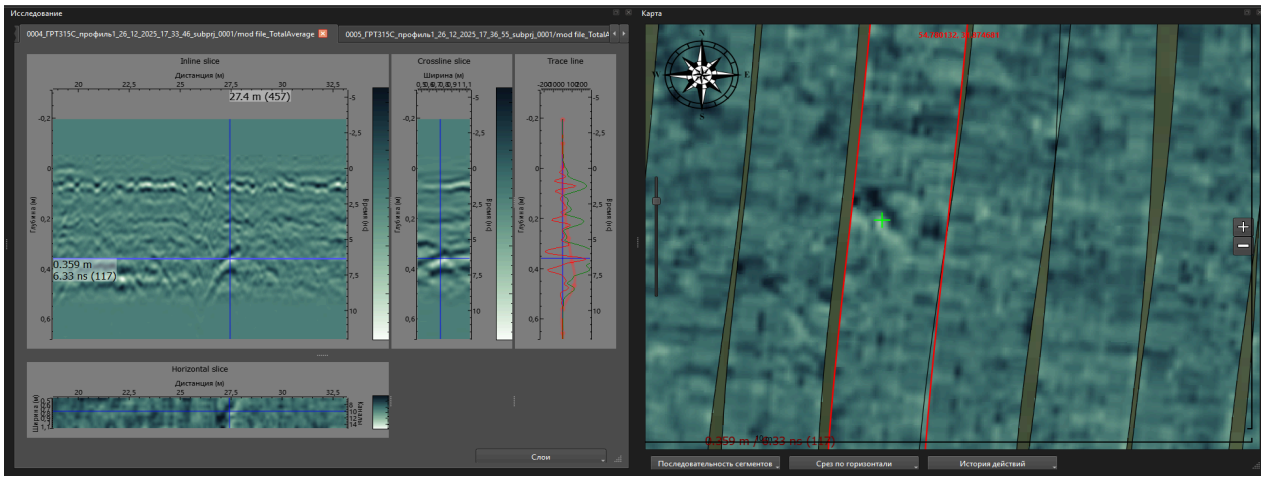


Рис.33. Выбор аномалии на карте и синхронная подсветка на разрезе проезда

Шаг 15.3 Коррекция шкалы глубин (сдвиг нуля)

Если антенны двигались над поверхностью или поверхность неровная, можеть быть необходимо скорректировать начало шкалы глубин.

Последовательность действий:

- определите фактическую глубину отражения поверхности;
- введите значение сдвга начала координат вручную в выпадающем меню, представленном на рисунке 34;
- добейтесь того, чтобы ноль шкалы соответствовал поверхности.

Примечание.

Корректировка нуля обязательна при съёмке «на весу» или при переменной высоте установки антенной решётки.

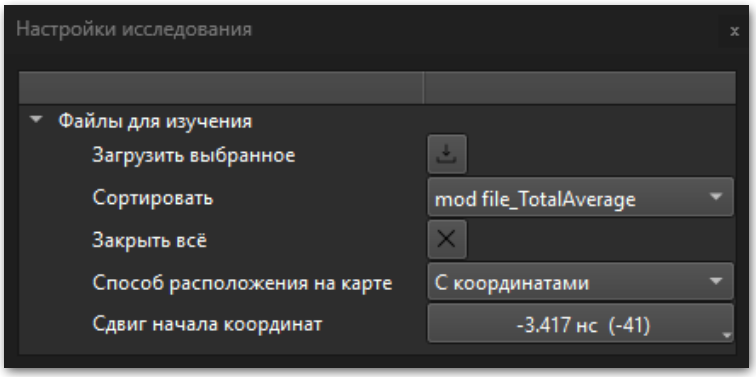


Рис.34. Ввод смещения нуля шкалы глубин

Шаг 15.4 Влияние диэлектрической проницаемости на глубины

Шкала глубин пересчитывается в метры на основе заданной диэлектрической проницаемости ε.

При изменении ε:

- глубины всех срезов пересчитываются автоматически;
- визуальное положение аномалий по глубине изменяется.

После подбора корректного значения ε необходимо сохранить параметры проекта. Сохранение параметров проекта с обновленным значением ε приводит к пересчету шкалы глубины на срезах для всех проездов проекта.

Шаг 15.5 Усиление и контраст амплитудной карты

При увеличении глубины уровень сигналов ослабевает.

Для улучшения визуализации допускается:

- регулировка контраста;
- изменение цветового диапазона;
- применение настраиваемого усиления сигнала по времени, результат которого показан на рисунке 35.

Следует избегать чрезмерного усиления, так как оно приводит к визуализации шумов и ложных аномалий.

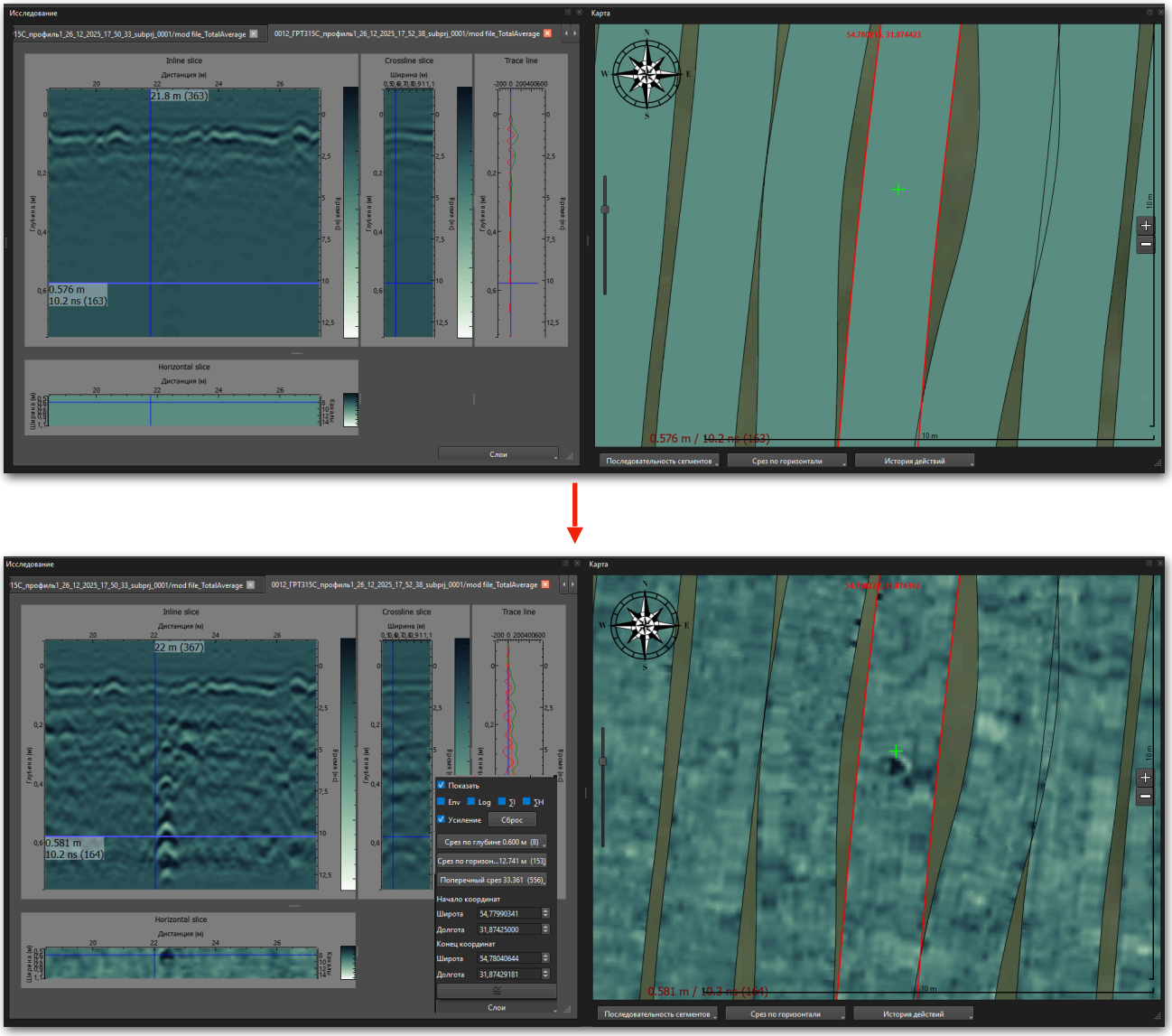


Рис.35. Результат применения усиления, регулировки контраста и цветового диапазона амплитудной карты

Шаг 15.6 Построение динамической томографии

Динамическая томография предназначена для анализа изменения аномалий по глубине (или времени задержки) путём последовательного автоматического смещения горизонтальных срезов с формированием анимации.

Функция динамической томографии позволяет визуализировать пространственное развитие отражающих структур в объёме данных и применяется для:

- оценки устойчивости аномалий по глубине;
- выявления протяжённых и локальных объектов;
- дифференциации шумовых проявлений и реальных отражающих структур.

Для построения динамической томографии необходимо:

1. Перейти в раздел формирования анимации срезов в окне настройки географической карты, представленном на рисунке 36.
2. Задать направление смены срезов (по возрастанию или убыванию глубины).
3. Установить частоту смены кадров.
4. Задать диапазон глубин (или временных задержек), в пределах которого будет выполняться анимация.
5. Выполнить предварительный просмотр результата в окне «Карта».

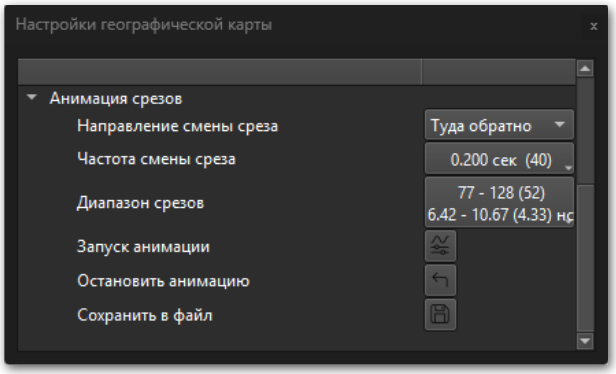


Рис.36. Диалоговое настройки анимации смены горизонтальных срезов

Предварительный просмотр используется для проверки:

- корректности выбранного диапазона;
- плавности смены слоёв;
- визуальной устойчивости аномалий.

Сохранение сформированной анимации допускается в форматах **.avi** или **.mp4**.

Сохранённый видеофайл может использоваться:

- для отчётной документации;
- для демонстрации результатов заказчику;
- для последующего анализа вне программного комплекса GeoViewer.

Примечание.
Перед сохранением рекомендуется выполнить контрольный просмотр анимации для исключения пропусков слоёв и выбора оптимальной скорости воспроизведения.

Шаг 15.7 Выбор картографической подложки

Для удобства интерпретации пользователь может выбрать картографическую подложку в разделе управления картой окна настройки географической карты, как показано на рисунке 37:

- Google Satellite
- Google Hybrid
- Google Schema
- Bing Maps
- OpenStreetMap
- либо отключить подложку (чёрный фон)

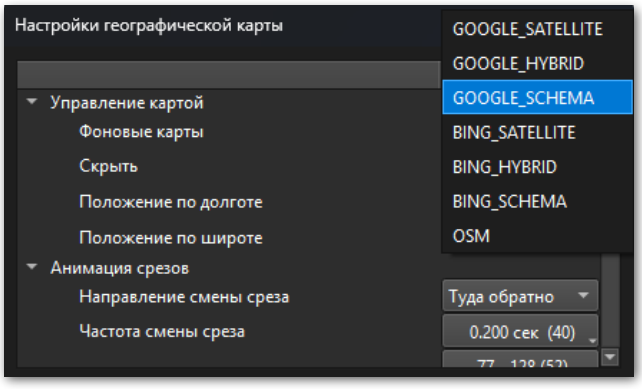


Рис.37. Меню выбора картографической подложки амплитудной карты

Шаг 15.8 Автоматическое расположение проездов на карте

Автоматическое расположение проездов предназначено для упорядочивания и геометрической организации набора профилей (проездов) в пределах амплитудной карты проекта.
Функция применяется:

- при большом количестве проездов;
- при наличии взаимных смещений после импорта;
- при необходимости быстрого формирования регулярной структуры данных перед построением общей карты;
- при подготовке к интерполяции и объединению проездов в единую сетку.

Примечание.
Автоматическое размещение проездов с использованием контекстных меню сортировки и расположения выбранного - доступно только для выборки проездов без координатных привязок.

15.8.1 Контекстное меню сортировки проездов

Панель «Последовательность сегментов», представленная на рисунке 38, предназначена для группового изменения геометрических параметров проездов. Изменения применяются ко всем выбранным проездам одновременно.

Доступные команды:

Поворот

Область меню с иконкой поворота позволяет задать угол и выполнить одновременный поворот всех выбранных проездов относительно их общего центра.

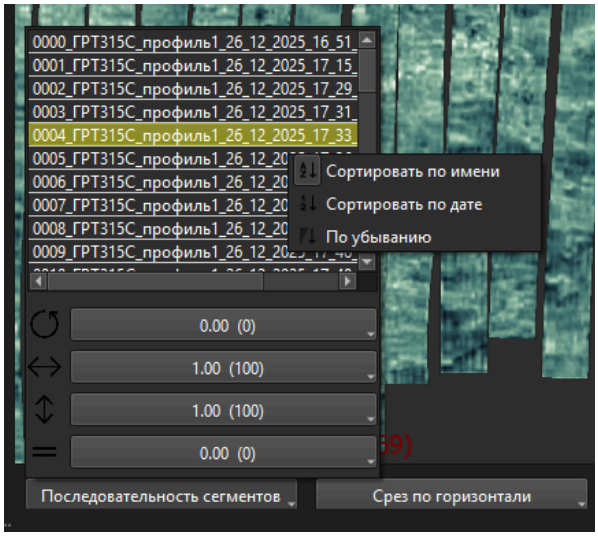


Рис.38. Контекстное меню списка проездов

Ширина проездов

Поле напротив иконки «ширина» задаёт отображаемую ширину проездов и применяется ко всей выбранной группе.

Длина проездов

Поле напротив иконки «длина» позволяет синхронно изменить протяжённость выбранных проездов.

Расстояние между проездами

Поле напротив иконки в виде двух параллельных линий задаёт равномерный интервал между выбранными проездами. После ввода значения выполняется автоматическое перераспределение проездов с заданным шагом.

При работе в окне проекта пользователь может вызвать контекстное меню сортировки проездов, нажатием правой кнопки мыши по списку файлов из выпадающего меню

Сортировка по имени

Проезды упорядочиваются в соответствии с алфавитным порядком имён файлов.
Используется при структурировании данных, полученных в рамках одной сессии с последовательной нумерацией.

Сортировка по дате

Проезды упорядочиваются по времени создания файлов.

Сортировка по убыванию

Инвертирует текущий порядок отображения списка.
Панель «Последовательность сегментов» предназначена для группового изменения геометрических параметров проездов. Изменения применяются ко всем выбранным проездам одновременно.

15.8.2 Контекстное меню управления расположением проездов

При выборе одного или нескольких проездов и нажатии правой кнопки мыши в рабочем окне карты вызывается расширенное контекстное меню управления, как представлено на рисунке 39.

Данное меню предназначено для автоматического размещения, выравнивания и геометрической организации проездов.

Масштабировать камеру до области объекта

Выполняет автоматическое центрирование и масштабирование вида таким образом, чтобы выбранные проезды полностью помещались в область отображения.

Переместить на передний план (выбранное)

Перемещает выбранный проезд(ы) поверх остальных элементов отображения.

Переместить на задний план (выбранное)

Размещает выбранный проезд под другими элементами.

Выбрать всё (просмотр)

Выделяет все отображаемые проезды в пределах текущего окна.

Отменить выбор всех

Снимает выделение со всех проездов.

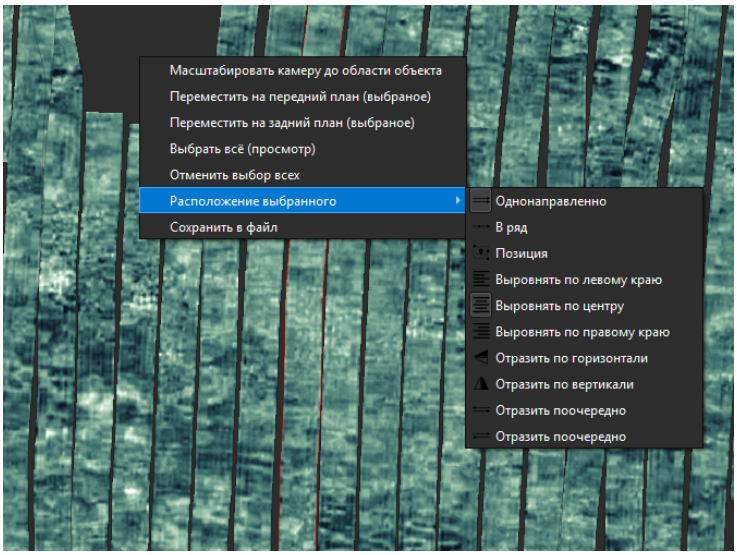


Рис.39. Расширенное контекстное меню управления проездами

Сохранить в файл

Позволяет сохранить текущий вид общей амплитудной карты в изображение с координатной привязкой в формате geotiff.

15.8.3 Подменю «Расположение выбранного»

Подменю «Расположение выбранного» содержит инструменты автоматической геометрической компоновки.

Однонаправленно

Выравнивает выбранные проезды в одну линию в соответствии с их направлением.

В ряд

Располагает выбранные проезды параллельно друг другу с равномерным шагом.

Позиция

Позволяет задать конкретное положение выбранного проезда.

Выравнивание по левому краю

Выравнивает выбранные проезды по общей левой границе.

Выравнивание по центру

Выравнивает по средней оси выбранной группы.

Выравнивание по правому краю

Выравнивает по правой границе группы.

Отразить по горизонтали

Зеркальное отображение выбранного проезда относительно горизонтальной оси.

Отразить по вертикали

Зеркальное отображение относительно вертикальной оси.

Отразить поочерёдно

Последовательное зеркальное разворачивание проездов (удобно при площадной съёмке «змейкой»).

Шаг 15.9 Редактирование расположения и размера проездов вручную

При неточной GNSS-привязке допускается ручная корректировка расположения проездов на общей амплитудной карте.

Для перехода к ручному редактированию выполните следующие действия:

- дважды щёлкните мышью по нужному проезду — выбранный проезд подсветится красным;
- включите режим редактирования клавишей на клавиатуре - **«е» («у»** - в русской раскладке).

После включения режима редактирования, как на рисунке 40 становится возможной корректировка положения проезда.

Для корректировки используются:

- перемещение мышью;
- стрелки клавиатуры.

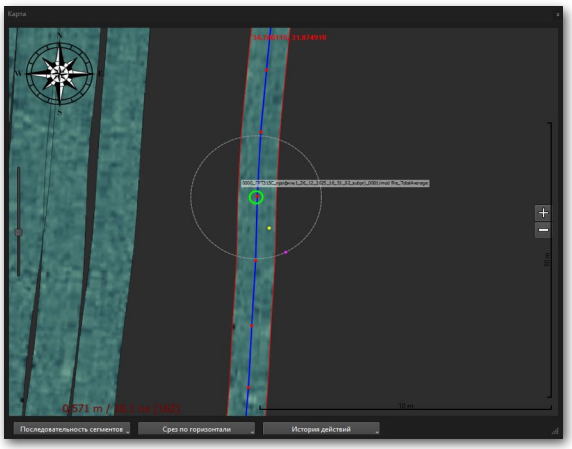


Рис.40. Режим ручного перемещения проезда на карте

Для изменения ширины проезда необходимо выделить маркер желтого цвета и выполнить прокрутку колеса мыши. Изменение длины проезда осуществляется аналогичным образом после выделения маркера зеленого цвета.

Шаг 15.10 Управление навигационным центром и поворот проездов

Для более точной корректировки геометрии проездов используется навигационный центр, показанный .

Порядок действий:

- выделите маркер навигационного центра в виде зеленого кружка, представленного на рисунке 41;
- перемещайте навигационный центр мышью или стрелками клавиатуры;
- выполняйте вращение проезда:
  - изменяя положение центра вращения;
  - перетаскиванием розового маркера по окружности.

Данный режим позволяет корректно совмещать:

- криволинейные проезды;
- смещённые проезды;
- проезды с различной ориентацией.

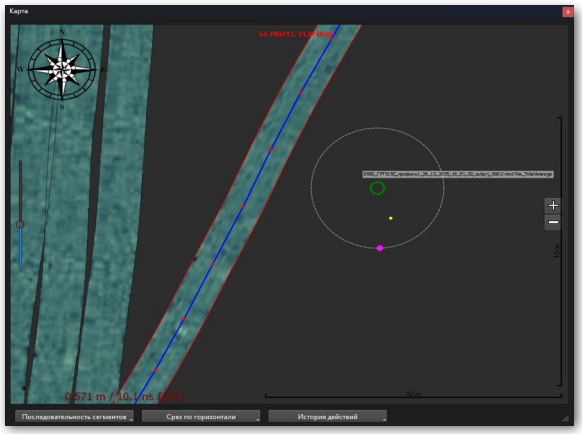


Рис.41. Перенос навигационного центра и вращение проезда

Шаг 15.11 Выравнивание кривых проездов

Для выравнивания криволинейных участков проездов используются контрольные точки.

Порядок действий:

- активируйте красные маркеры контрольных точек управления локальных положений трека, показанных на рисунке 42;
- с помощью стрелок клавиатуры корректируйте положение точек;
- добивайтесь согласованного и плавного положения проезда относительно других проездов.

Выравнивание позволяет устранить локальные искажения траектории движения.

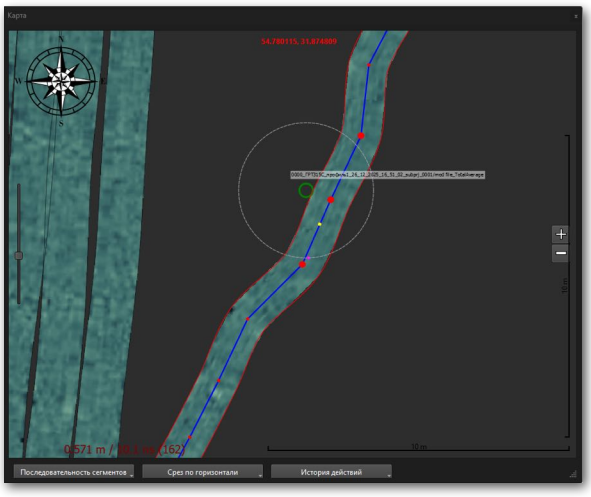


Рис.42. Выравнивание кривых проездов по контрольным точкам

Шаг 15.12 Сохранение и управление состояниями

После выполнения всех правок необходимо сохранить состояние проекта, используя выпадающее меню «История изменений», выпадающее меню которой представленно на рисунке 43.

Рекомендуемый порядок:

- сохраните файл состояния после завершения редактирования;
- при необходимости удалите устаревший статус;
- сохраните новый актуальный статус.

В меню истории действий доступны:

- отмена последнего действия;
- полный откат;
- восстановление ранее сохранённых состояний.

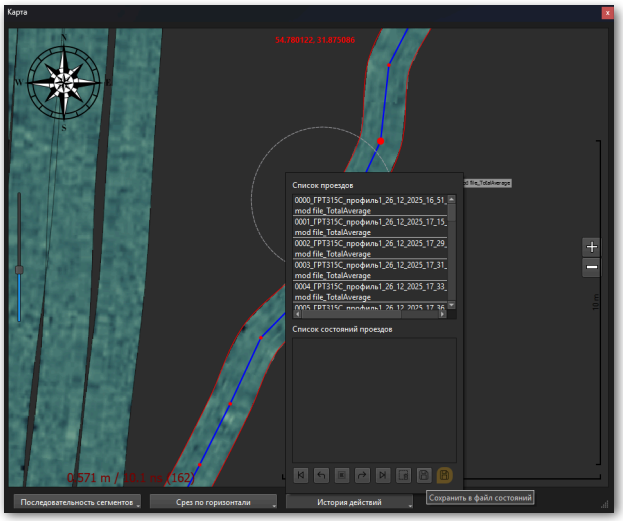


Рис.43. Сохранение файла состояния и просмотр истории действий

Шаг 15.13 Настройка цветового диапазона и сумма срезов

Для повышения устойчивости выявления аномалий используется настройка цветового диапазона и суммирование горизонтальных срезов.

Шаг 15.13.1 Настройка цветового диапазона

Используйте бегунки цветового диапазона в выпадающем меню «Срезы по горизонтали» (рис.44) для:

- ограничения отображаемых амплитуд;
- подавления шумов;
- повышения контрастности полезных сигналов.

Шаг 15.13.2 Сумма горизонтальных срезов

Для выполнения суммирования:

- включите режим суммы срезов;
- задайте диапазон суммирования;
- обратите внимание на соответствующее число слоёв;
- нажмите **Пересчёт суммы срезов**.

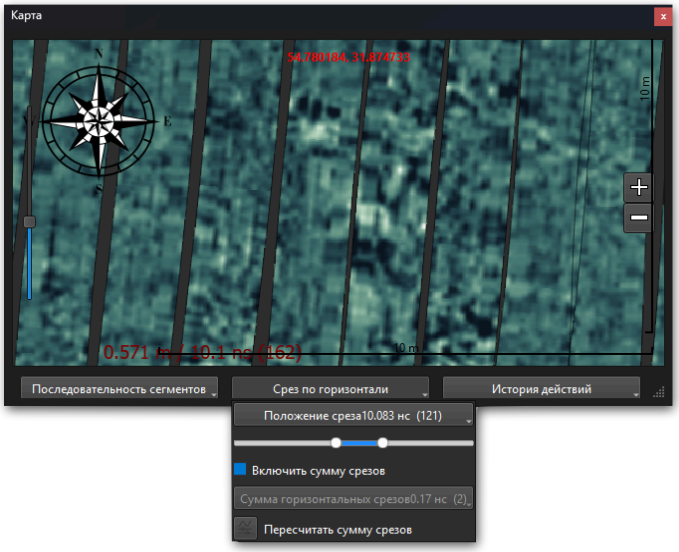


Рис.44. Ограничение цветового диапазона для подавления шумов и повышения контраста, а также задание диапазона суммирования и пересчёт суммы горизонтальных срезов

Суммированные карты обеспечивают более устойчивое выявление контрастных аномалий по сравнению с одиночными срезами.

7. Детальная обработка в программном комплексе GeoReader

Программный комплекс **GeoReader** предназначен для детальной инженерной обработки георадарных данных и служит расширенным инструментом в составе технологического цикла обработки, анализа и подготовки результатов измерений.

Программный комплекс GeoReader используется для:

- организации работы с георадарным проектом - набором георадарных профилей, пример представлен на рисунке 45;
- углублённой обработки радарограмм (рис.46), в т.ч. пакетной для выделения и анализа полезного сигнала, работы с траекторией, расчета километровой и пикетной привязки, калибровки глубинного разреза по данным бурения и пр.;
- автоматизированного поиска границ слоёв;
- атрибутивного анализа;
- подготовки данных в форматы для CAD/GIS/BIM.

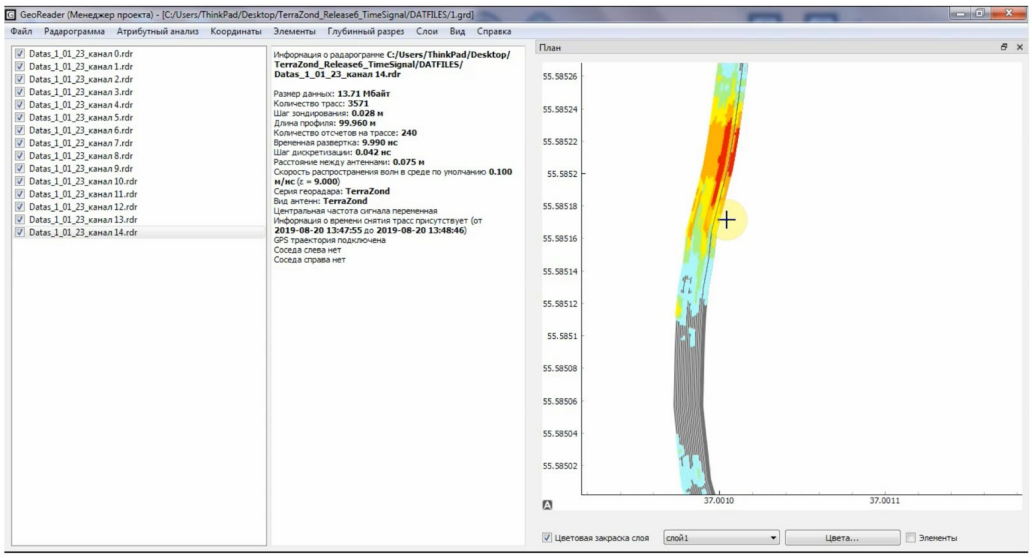


Рис.45. Результат пакетной обработки данных в ПО GeoReader с отображением области критического изменения толщины слоя асфальтобетона

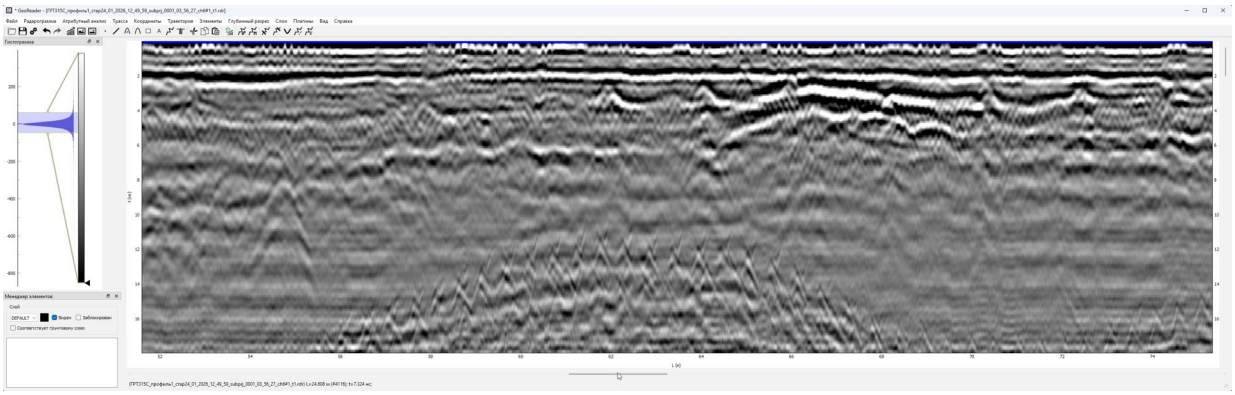


Рис.46. Пример отображения радарограммы

7.1. Типовой рабочий процесс

1. **Импорт данных из GeoViewer.**
   Загрузка исходных файлов проекта, пространственной привязки, обработанных срезов и параметров.
2. **Линейная и координатная привязка.**
   Привязка профилей к системе координат объекта, корректировка треков и компенсация смещений.
3. **Интерпретация слоёв и объектов, областей неоднородности.**
   Анализ отражений, выделение границ слоёв, локализация зон аномалий.
4. **Построение поперечных профилей методом интерполяции.**
   Создание поперечных разрезов по участкам трассы с использованием интерполяции сигналов.
5. **При необходимости — использование AI-модулей.**
   Применение автоматизированных инструментов для распознавания слоёв и особенностей структуры.
6. **Экспорт результатов в инженерные форматы.**
   Подготовка данных для дальнейшего использования в CAD/GIS/BIM/аналитических системах.

7.2. Роль AI-интерпретации

AI-модули применяются для автоматического распознавания слоёв дорожной конструкции и служат вспомогательным инструментом, требующим обязательного экспертного контроля. Пример использования AI-модуля представлен ниже на рисунке 47.

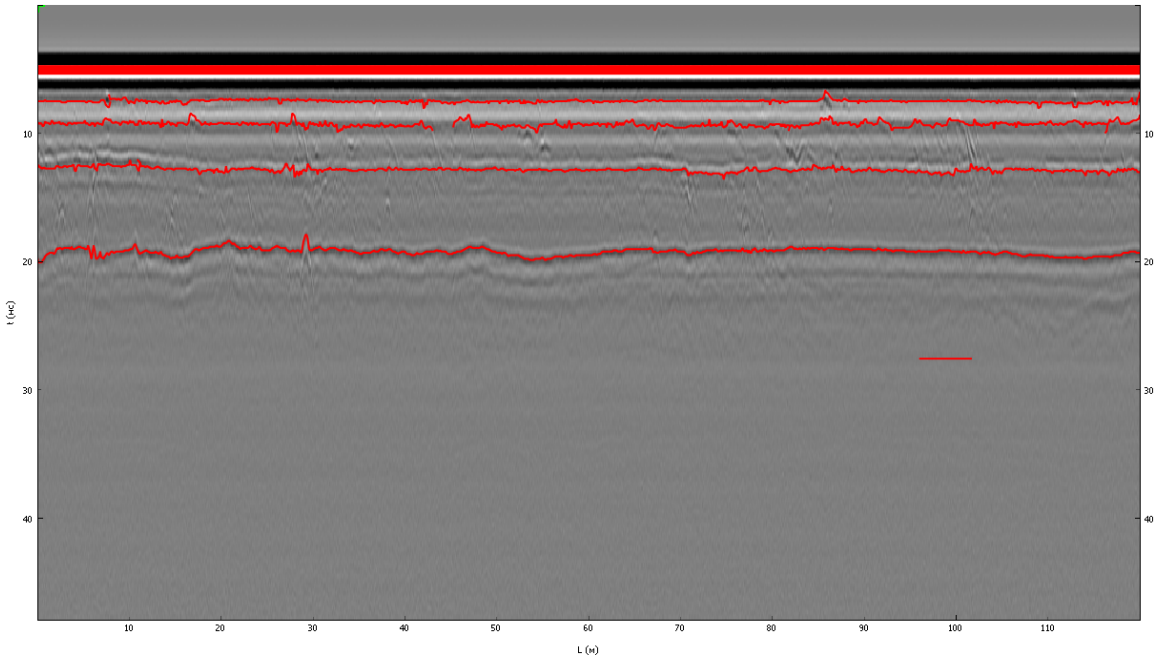


Рис.47. Результат автоматического распознавания границ слоев с применением AI-модуля

7.3 Выгрузка результатов и интеграция в CAD/BIM

Программный комплекс GeoReader обеспечивает возможность **экспорта результатов обработки** в форматы, пригодные для интеграции в инженерные CAD и BIM системы, в том числе для последующей компиляции цифровых моделей и цифровых двойников объектов.

7.3.1 Поддерживаемые форматы

GeoReader поддерживает экспорт результатов в следующие форматы:

- **CAD** (DXF, DWG) — для работы в системах автоматизированного проектирования (например, *Кредо 3D Scan* и других CAD-платформах);
- **BIM** (IFC, Revit) — для использования при создании информационных моделей объектов с включением данных о подземных структурах;
- **GIS** (GeoTIFF, SHP, CSV) — для пространственного анализа в геоинформационных системах.

7.3.2 Преимущества интеграции

Экспорт и интеграция данных из GeoReader в системы CAD/BIM позволяют:

- объединять результаты георадиолокационного и лазерного сканирования (облака точек) в единой модели, как в примерах на рисунке 48;
- дополнять цифровые модели объектов информацией о подземном строении;
- формировать **цифровые двойники инфраструктуры** с учётом характеристик нижележащих структур;
- включать данные георадиолокации в **паспорта дорожно-транспортной инфраструктуры**;
- обеспечивать совместный доступ к данным для инженерных, проектных и эксплуатационных подразделений.

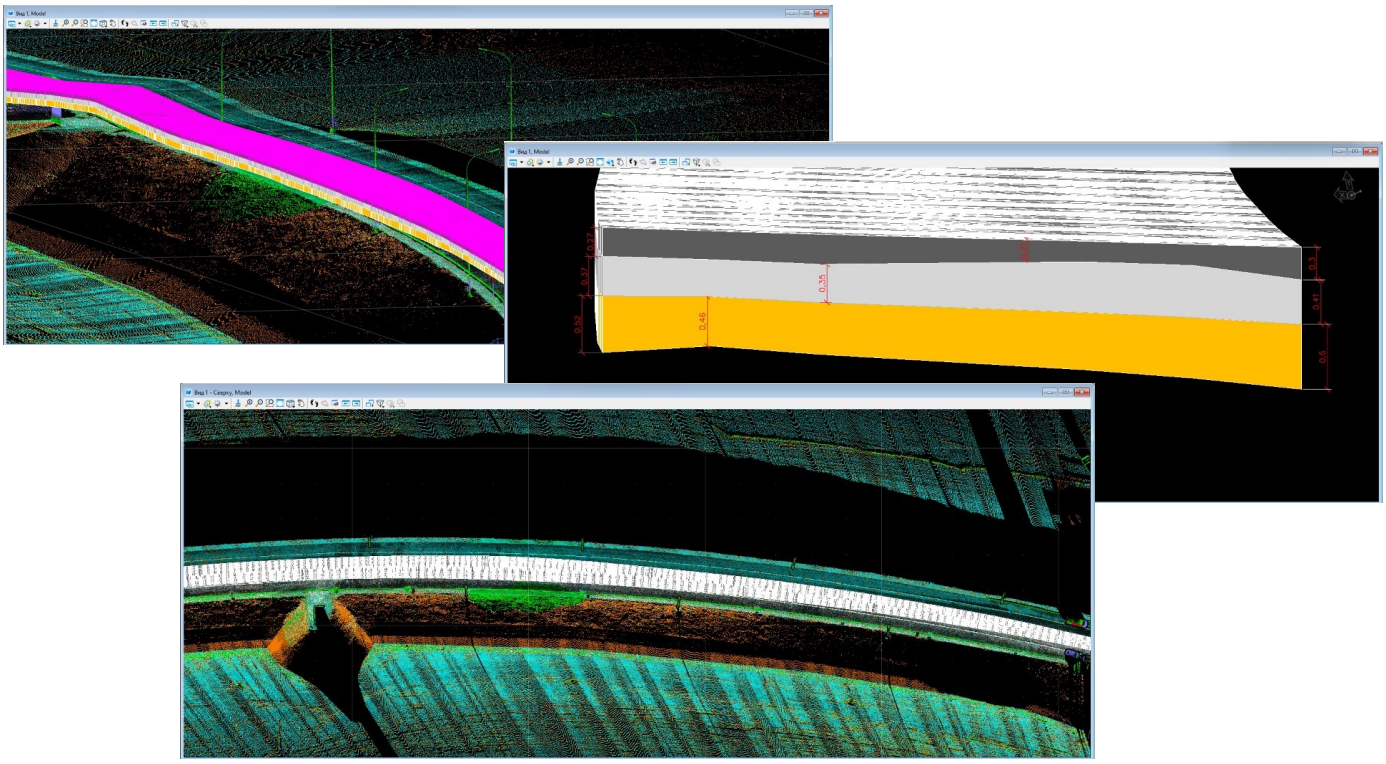


Рис.48. Пример интеграции результатов обработки площадных данных (распределение слоев дорожной одежды) с данным лазерного сканирования в программной среде “Кредо 3D скан”

8. РЕКОМЕНДУЕМЫЕ УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

8.1 Общие положения

Аппаратура георадиотомографии с антенной решёткой шириной от **0,7 м до 2,5 м** предназначена для проведения георадиолокационных измерений:

- на автомобильных дорогах и покрытиях различного типа;
- на железнодорожной инфраструктуре;
- на открытых грунтовых площадках;
- на сельскохозяйственных полях;
- на пересечённой местности;
- при установке на наземные и аэромобильные носители.

Условия сбора данных оказывают прямое влияние на:

- геометрию измерений;
- стабильность высоты антенной решётки;
- амплитудную структуру сигнала;
- глубину проникновения;
- корректность последующей интерпретации.

8.2 Типы носителей и эксплуатационные ограничения

8.2.1 Гусеничный комплекс (условия бездорожья)

Используется на:

- пересечённой местности;
- слабонесущих грунтах;
- участках без подготовленных дорог.

Особенности эксплуатации:

- допускаются значительные неровности рельефа;
- возможны вертикальные и продольные колебания антенной решётки;
- требуется пониженная скорость движения;
- обязательна последующая коррекция нулевой отметки глубины в GeoViewer.

Использование данного типа носителя рекомендуется при работе с антенной решёткой в режиме согласования на грунт с системой следования рельефу.

8.2.2 Моторизированная тележка (лёгкое бездорожье)

Применяется на:

- грунтовых дорогах;
- выровненных площадках;
- полях.

Рекомендуется:

- поддерживать равномерную скорость движения;
- избегать резких ускорений и остановок;
- контролировать стабильность положения антенной решётки.

8.2.3 Бетоноскоп-томограф на колесной базе

Предназначен для работы исключительно на:

- ровных бетонных покрытиях;
- асфальтобетонных дорогах;
- аэродромных плитах;
- мостовых сооружениях.

Работа на пересечённой местности не допускается.
Высота установки антенн должна быть стабильной, поверхность — геометрически ровной.

8.2.4 Установка на автомобиль и железнодорожный подвижной состав

Антенная решётка может устанавливаться:

- на автомобиль;
- на автомотрису;
- на специализированный железнодорожный вагон.

В данных вариантах, как правило, используются антенные решетки согласованные на воздух (с фиксированным отрывом от поверхности).

Требования:

- стабильная высота установки;
- минимизация вертикальных колебаний;
- обязательная корректировка нулевой отметки глубины при обработке;
- учёт влияния воздушного зазора на амплитудную картину.

8.2.5 Размещение на БПЛА

Допускается при соблюдении следующих условий:

- высота размещения антенн от **0,5 м до 1,5 м** над поверхностью;
- низкая скорость полёта;
- стабильность высоты (минимизация колебаний);
- отсутствие резких манёвров.

Ограничения:

- глубина проникновения ниже, чем при контактном согласовании;
- повышенная чувствительность к изменению высоты;
- обязательная корректировка нуля глубины при обработке.

8.3 Режимы согласования антенных решёток

8.3.1 Согласование на грунт (система следования рельефу)

Антенны располагаются:

- непосредственно над поверхностью;
- с минимальным зазором;
- с механической системой следования рельефу.

Преимущества:

- максимальная глубина проникновения;
- минимальные потери на границе «воздух–грунт»;
- более стабильная амплитудная структура сигнала.

Рекомендуется для:

- грунтовых площадок;
- археологических исследований;
- инженерных изысканий вне твёрдых покрытий.

8.3.2 Воздушное согласование (фиксированный отрыв)

Антенны располагаются на фиксированной высоте над поверхностью.

Применяется при:

- установке на автомобиль;
- установке на ж/д состав;
- использовании БПЛА;
- высокоскоростных обследованиях дорожных покрытий.

Особенности:

- уменьшается глубина проникновения;
- появляется выраженное отражение от границы «воздух–грунт»;
- возрастает чувствительность к изменению высоты;
- требуется корректировка нуля глубины в обработке.

8.4 Рельеф поверхности

8.4.1 Ровные поверхности

Наиболее благоприятные условия:

- асфальтобетон;
- бетон;
- выровненные площадки.

Обеспечиваются:

- стабильная геометрия съёмки;
- высокая повторяемость данных;
- минимальные геометрические искажения.

8.4.2 Пересечённый рельеф

При работе на:

- склонах;
- насыпях;
- участках с выраженной микрорельефностью.

необходимо:

- снижать скорость;
- обеспечивать устойчивость носителя;
- учитывать изменение высоты антенн;
- выполнять корректировку глубин при обработке.

8.5 Влажность и состояние среды

8.5.1 Сухая среда

Сухой песок и супесь обеспечивают:

- максимальную глубину проникновения;
- минимальные потери сигнала;
- высокую контрастность границ.

8.5.2 Влажная среда

При повышенной влажности:

- увеличивается диэлектрическая проницаемость;
- возрастает затухание сигнала;
- уменьшается глубина исследования.

Рекомендуется учитывать изменение ε при обработке.

8.5.3 Мёрзлая среда

В промёрзшем грунте:

- возможна высокая глубина проникновения при низкой влажности;
- формируется выраженная граница промерзания;
- требуется корректировка диэлектрической модели.

8.6 Скоростной режим

Скорость движения определяется:

- типом носителя;
- режимом согласования;
- требуемым разрешением;
- возможностями аппаратуры.

8.6.1 Особенности работы на высокой скорости

При увеличении скорости основным ограничивающим фактором является не плотность трасс (при синхронизации по энкодеру шаг сканирования сохраняется), а **нагрузка на процессор управляющего компьютера при одновременной визуализации данных**.

В условиях высокой скорости рекомендуется:

- отключить отображение срезов и радарограмм в реальном времени;
- оставить включённым отображение шага сканирования;
- оставить включённым отображение одиночного спектра сигнала;
- контролировать обновление координат и пройденную дистанцию.

При признаках перегрузки интерфейса следует немедленно уменьшить объём визуализации.

8.7 Электромагнитная обстановка

Источники помех:

- ЛЭП;
- радиопередающие станции;
- промышленное оборудование;
- крупная техника.

Рекомендуется:

- выполнять тестовый профиль;
- анализировать спектр сигнала;
- при необходимости применять фильтрацию на этапе обработки.

8.8 Общие инженерные рекомендации

Для обеспечения корректности съёмки необходимо:

- выбирать тип носителя в соответствии с рельефом;
- обеспечивать стабильную высоту антенной решётки;
- учитывать тип согласования;
- фиксировать условия съёмки в документации;
- выполнять корректировку нуля глубины и ε при обработке;
- при высоких скоростях минимизировать визуализацию в GeoLocator.

9 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ

9.1 Назначение раздела и общие принципы

Настоящий раздел устанавливает рекомендуемый порядок **комплексной интерпретации** данных георадиотомографии/георадиолокации, полученных при профильной и площадной съёмке, и описывает типовые признаки аномалий, ограничения метода и правила верификации результатов.

Интерпретация выполняется на основании различий электрофизических свойств среды и объектов (в первую очередь диэлектрической проницаемости и электропроводности), определяющих характер отражения и затухания сигнала.

9.2 Обязательный комплекс представлений данных

Интерпретация должна выполняться **только на основе совокупности** представлений, а не по одному виду материалов:

1. **Горизонтальные амплитудные карты (тайм-слайсы)** — основной инструмент площадной локализации аномалий.
2. **Суммированные горизонтальные срезы** — повышают устойчивость выделения аномалий и снижают влияние шумов за счёт интегрирования по временному окну.
3. **Амплитудные карты огибающей** — повышают наглядность распределения энергетики отражений и снижают влияние знакопеременности/фазовых эффектов.
4. **Динамическая томография (видеосрезы)** — обязательна для анализа поведения аномалии по глубине и пространственных взаимосвязей.
5. **Вертикальные разрезы (радарограммы)** — обязательны для подтверждения аномалий и уточнения их природы.

Требование: вывод о наличии объекта не допускается делать по одному горизонтальному срезу без проверки на радарограммах и анализа динамики по глубине.

9.3 Рекомендуемый порядок интерпретации

9.3.1 Подготовка данных к интерпретации

Перед началом интерпретации необходимо убедиться, что:

- корректно заданы параметры проекта (частотный диапазон, шаги, свойства среды);
- выполнено подавление фона/нормализация амплитуд и базовая фильтрация;
- проверена пространственная привязка (GNSS/энкодер/одометрия).

Примечание: ошибки параметров проекта (особенно ε или показатель преломления) приводят к неверному пересчёту времени в глубину и к ошибкам сопоставления срезов.

9.3.2 Контроль полноты покрытия и согласованности сетки наблюдений

При площадной съёмке необходимо:

- проверить наличие «пустот» и разрывов в покрытии;
- оценить равномерность шага вдоль профиля;
- оценить равномерность расстояния между проездами.

Недостаточная плотность наблюдений приводит к:

- размыванию контуров на амплитудных картах;
- снижению достоверности выделения мелких объектов;
- увеличению роли интерполяции и артефактов.

9.3.3 Формирование амплитудных карт и интерполяция

Интерполяция между проездами допускается для повышения наглядности и устранения «белых пятен», но должна трактоваться как **математическое восстановление**, а не измеренный сигнал.

Рекомендации:

- при интерполяции всегда сопоставлять результат с исходными проездами;
- не принимать «тонкие линейные» объекты на интерполированных участках без подтверждения по разрезам;
- при построении карт фиксировать параметры интерполяции и сглаживания.

9.3.4 Первичный поиск аномалий по серии срезов

Рекомендуется выполнять просмотр горизонтальных срезов последовательно по глубине (времени), отмечая аномалии, которые:

- сохраняются на нескольких соседних слоях;
- имеют согласованные очертания при изменении глубины;
- проявляются на суммированных картах устойчивее, чем на одиночных.

9.3.5 Уточнение по огибающей и суммированным картам

Для повышения устойчивости выделения отражающих границ рекомендуется:

- анализировать карты огибающей как показатель энергетики отражений;
- формировать суммированные карты по нескольким временным окнам и сравнивать:
  - устойчивость аномалий,
  - согласованность контуров,
  - изменение интенсивности с глубиной.

9.3.6 Проверка по динамической томографии

Для каждой значимой аномалии необходимо просмотреть динамическую томографию:

- оценить поведение аномалии по глубине (устойчивость/мигание/распад);
- выявить связь с соседними структурами;
- проверить, не является ли аномалия единичным шумовым выбросом.

9.3.7 Верификация на вертикальных разрезах (обязательный этап)

Окончательная верификация выполняется на радарограммах:

- подтверждение наличия отражающей границы;
- анализ формы отклика (слоистость, дифракции, переотражения);
- исключение артефактов обработки и интерполяции.

9.4 Типовые признаки объектов и неоднородностей

9.4.1 Металлические объекты

Металлические объекты подлежат обязательной проверке на вертикальных разрезах, поскольку:

- на горизонтальных картах их проявление может быть нестабильным;
- интерполяция и сглаживание могут маскировать или искажать форму аномалии;
- отражения от металла нередко имеют резкий, «точечный» характер и сопровождаются дифракционными откликами.

Характерные признаки:

- на динамике — в некоторых случаях это могут быть «мигающее» локальное проявление на соседних глубинах;
- на радарограммах — интенсивные отражения и дифракционные отклики (гиперболы).

9.4.2 Неметаллические неоднородности (структуры, заполнения, границы слоёв)

Неметаллические неоднородности чаще проявляются как:

- устойчивые по глубине аномалии на последовательных срезах;
- протяжённые и пространственно согласованные контуры;
- согласованное проявление на огибающей (зоны повышенной энергетики отражений).

9.5 Учет влияния среды и полевых факторов

9.5.1 Влажность, переувлажнение и многократные переотражения

В условиях повышенной влажности возможно появление повторяющихся отражений (переотражений), которые могут ошибочно интерпретироваться как реальные границы.

Рекомендации:

- при усилении сигналов контролировать, не усиливаются ли переотражения вместе с полезными отражениями;
- подозрительные «параллельные» события проверять на нескольких проездах и разрезах;
- при необходимости корректировать фильтрацию/нормализацию, чтобы исключить формирование ложных горизонтов.

9.5.2 Точность пространственной привязки

При интерпретации необходимо учитывать, что погрешности GNSS/одометрии могут приводить к:

- смещению аномалий на карте;
- размыванию контуров при суммировании данных разных проездов;
- ошибкам совмещения с внешними картографическими подложками.

Рекомендации:

- ориентироваться на взаимное положение аномалий в локальной системе проекта;
- подтверждать аномалии вертикальными разрезами;
- при необходимости выполнять ручную коррекцию проездов в GeoViewer и фиксировать изменения в файлах состояний.

9.5.3 Неровности поверхности и изменение высоты антенной решётки

Изменение высоты антенной решётки над поверхностью приводит к:

- смещению «верхней границы» (нулевого времени);
- появлению фантомных границ при некомпенсированных изменениях высоты;
- изменению амплитудного распределения по каналам.

Рекомендации:

- выполнять выравнивание верхней границы (нулевой отметки) в обработке;
- при необходимости задавать смещение начала шкалы глубин;
- при заметных изменениях высоты разделять съёмку на участки с отдельными параметрами обработки.

9.6 Повышение глубинности и выбор диапазона

Для увеличения проникающей способности рекомендуется применять более низкие рабочие частоты с учётом компромисса «глубинность–разрешение», а также обеспечивать максимально стабильную геометрию антенной решётки относительно поверхности.

9.7 Требования к оформлению интерпретации и выдаче результатов

Рекомендуется формировать результаты интерпретации в виде комплекта материалов:

- горизонтальные срезы/амплитудные карты (включая огибающую, при необходимости);
- суммированные карты по нескольким временным окнам с указанием параметров пересчёта глубины (ε/показатель преломления);
- фрагменты радарограмм по ключевым аномалиям (обязательно для металла);
- динамические томографии (видеосрезы) как обязательное дополнение к статическим картам;
- описание параметров обработки и интерполяции, использованных для формирования карт.

9.8 Ключевые рекомендации (обязательные к применению)

1. Выводы формировать только по совокупности: карты → огибающая/суммирование → динамика → разрез.
2. Металл подтверждать на радарограммах.
3. Интерполяцию трактовать как математическую операцию и проверять по исходным проездам.
4. Влажные условия учитывать как фактор переотражений и возможных ложных границ.
5. При сомнительной привязке — ориентироваться на локальную согласованность и подтверждать разрезами.

9.9 Типовые ошибки интерпретации и способы исключения ложных аномалий

Настоящий подраздел предназначен для снижения риска ошибочной интерпретации данных и устанавливает перечень наиболее распространённых ошибок, а также рекомендуемые способы их выявления и устранения.

9.9.1 Интерпретация одиночного горизонтального среза

Описание ошибки:
Принятие решения о наличии объекта по одному горизонтальному срезу без анализа соседних глубин, динамики и вертикальных разрезов.

Последствия:

- высокая вероятность принятия шумовых выбросов или интерполяционных артефактов за реальные объекты;
- некорректное определение формы и размеров аномалии.

Рекомендации по исключению:

- анализировать аномалию минимум на 3–5 соседних глубинных срезах;
- обязательно проверять соответствующие участки на радарограммах;
- использовать динамическую томографию.

9.9.2 Ошибочная интерпретация интерполяции как измеренного сигнала

Описание ошибки:
Принятие линейных или сглаженных структур, возникших в результате интерполяции между проездами, за реальные объекты.

Последствия:

- ложные протяжённые аномалии;
- искажение геометрии объектов.

Рекомендации по исключению:

- всегда сопоставлять амплитудные карты с положением исходных проездов;
- проверять наличие аномалии непосредственно на разрезах исходных профилей;
- снижать степень интерполяции при анализе мелких объектов.

9.9.3 Переусиление цветовой шкалы и визуализация шумов

Описание ошибки:
Чрезмерное усиление контраста и сужение цветового диапазона, приводящее к визуальному «проявлению» шумов как аномалий.

Последствия:

- появление ложных пятен и линейных структур;
- потеря реального соотношения амплитуд.

Рекомендации по исключению:

- начинать анализ с умеренного, «мягкого» контраста;
- сравнивать усиленные карты с исходными (без усиления);
- использовать суммированные срезы для проверки устойчивости аномалий.

9.9.4 Ошибки, связанные с неправильной диэлектрической проницаемостью

Описание ошибки:
Использование некорректного значения ε или показателя преломления без последующей проверки.

Последствия:

- неверный пересчёт времени в глубину;
- смещение аномалий по вертикали;
- ошибочная интерпретация глубины залегания объектов.

Рекомендации по исключению:

- выполнять подбор ε по известным отражающим границам;
- анализировать устойчивость аномалии при небольшом изменении ε;
- фиксировать принятое значение ε в отчётных материалах.

9.9.5 Ошибки, связанные с переотражениями и влажной средой

Описание ошибки:
Принятие повторяющихся отражений и синфазных событий за реальные границы или объекты.

Последствия:

- ложные горизонты;
- неверное выделение глубинных слоёв.

Рекомендации по исключению:

- анализировать повторяющиеся события на нескольких проездах;
- проверять наличие дифракций или структурных признаков;
- использовать огибающую и динамическую томографию.

9.9.6 Игнорирование ошибок пространственной привязки

Описание ошибки:
Безусловное доверие GNSS-привязке без оценки её качества и согласованности.

Последствия:

- смещение аномалий относительно реального положения;
- размывание контуров при суммировании проездов.

Рекомендации по исключению:

- оценивать согласованность проездов между собой;
- при необходимости выполнять ручную коррекцию в GeoViewer;
- ориентироваться на локальную систему координат проекта.

9.10 Чек-лист интерпретации (контроль перед выпуском отчёта)

Настоящий чек-лист предназначен для самопроверки перед формированием окончательных выводов и отчётных материалов.

9.10.1 Контроль подготовки данных

☐ Проверены параметры проекта (частоты, шаги, ε/показатель преломления).
☐ Выполнено подавление фона и базовая фильтрация.
☐ Проверена корректность пространственной привязки и согласованность проездов.

9.10.2 Контроль анализа амплитудных карт

☐ Аномалии прослежены на нескольких соседних глубинах.
☐ Выполнено сравнение одиночных и суммированных срезов.
☐ Проверены карты огибающей.

9.10.3 Контроль динамического анализа

☐ Для ключевых аномалий просмотрена динамическая томография.
☐ Оценено поведение аномалии по глубине (устойчивость/мигание).
☐ Исключены одиночные шумовые выбросы.

9.10.4 Контроль по вертикальным разрезам

☐ Все значимые аномалии проверены на радарограммах.
☐ Для предполагаемого металла выявлены характерные отражения/дифракции.
☐ Исключены артефакты обработки и интерполяции.

9.10.5 Контроль выводов

☐ Выводы основаны на совокупности представлений данных.
☐ Указаны ограничения метода и условия съёмки.
☐ Зафиксированы параметры обработки и интерпретации.
☐ Сохранены файлы состояний GeoViewer.