ОАО «Финансово-промышленная компания «ЭСТРА»

Отчет
о выполнении полевых опытно-методических работ
с использованием прибора Пикор-Лёд 2М,

проведенных в период с 21-29 января 2013 г. в районе пос. Ямбург Надымского района Ямало-Ненецкого автономного округа

Введение

В период с 21 по 29 января 2013 г. были выполнены полевые опытно-методические работы на базе разведочной партии.

Целью проведения опытно-методических работ было:

1. Выявление возможностей контрольно-индикационного прибора ПИКОР-Лед при решении задач изучения инженерно-геологических условий и определения толщины льда для выбора маршрута передвижения тяжелой техники через ледовые переправы, болота и другие препятствия.
2. Сравнение возможностей георадарного комплекса ProEx компании Mala Geosciense (пр-во Швеция) и контрольно-индикационного прибора ПИКОР-Лед (пр-во Россия).
3. Исследование наиболее типичных участков местности, для определения необходимых физических параметров, включаемых в программу обработки выходных данных (как в автоматизированную обработку, так и в регламент по проведению ручной обработки).

Содержание

Описание условий и особенностей работы ……..……. 3
Геофизическое оборудование …...…….. 5
Физические основы метода ……. 8
Организация полевых работ ……..…….. 10
Обработка полевых материалов …….…….. 15
Интерпретация полученных данных ……..…….. 16
Рекомендации по производству полевых работ …….…… 28
Графическое приложение ……. 30

Описание условий и особенностей работы

1. Климатические условия: условия Крайнего Севера, температуры ниже 0°С. В период проведения полевых работ погодные условия были стабильные, с низкими температурами от -40 до -25°С, без осадков, ветер слабый. По регламенту проведения работ все работы должна прекращаться при -45°С. Снежный покров в тундре характеризуется малой толщиной (0,1-0,4м) на ровных участках и сугробами и снежными заносами мощностью более 1м на неровностях рельефа.

2. Опасные для передвижения тяжелой техники участки делятся на три типа:

   a) Участки передвижения техники через крупные водные преграды (Обская и Тазовская губа, крупные озера). Толщина льда, при которой возможно движение тяжелой техники должна быть более 55см. Сплошной слой льда может быть нарушен зонами торошения, трещиноватыми зонами за счет приливно-отливных явлений, подмывами. Наиболее опасный период – становление ледяного покрова в ноябре-декабре. На Тазовской губе строение ледяного покрова может быть более сложным, чем на Обской губе. При разведке пути движения топотрядом требуется проводить контрольное бурения льда с шагом не реже чем 1 лунка на 50м, в то время как характерный размер ослабленной зоны может быть менее 4м. Аварийные ситуации на данных участках может привести к выходу из строя техники, гибели водителей, экологической катастрофе из-за утечки ГСМ и пр.

   b) Участки передвижения техники через болота, мелкие озера и лужи. Требования к толщине льда и замершего ила те же (55см). Промерзшие участки могут чередоваться с не промерзшими. Участки малого промерзания могут быть связаны с временем года (ноябрь-декабрь по всему району) а также с особенностями теплового режима болот (например район устья реки Таз). Затопление техники на данных участках приводит к задержке в полевых работах, экономическим потерям.

   c) Участки передвижения техники через реки. Требования к толщине льда и замершего ила те же (55см). Наиболее опасны промывы около берегов, обычно сопровождаются значительным (более 1м) утолщением снежного покрова на участке. По времени часто встречаются в весенний период перед концом полевого сезона. Опасны экологической катастрофой (утечка ГСМ) и большими экономическими потерями в случае потери техники в конце полевого сезона.

3. Количество и тип техники в сейсморазведочной партии для создания универсального узла крепления приборов и корректировки методики полевых работ:

    1. 2 вездехода ГАЗ-71 топографов
    2. Более 6 вездеходов ГАЗ-71 для сейсмиков
    3. Тяжелые вездеходы МТЛБ – не менее 2
    4. 4 сейсмических вибратора (вес 40т) SercelNomad 65T
    5. Бульдозеры, трактора на гусеницах не менее 3 шт.
    6. Вахтовки- домики на колесах – не менее 20 шт.

4. Регламент работ топотряда и используемое оборудование топографов: топотряд проводит разбивку профилей с временным отрывом от сейсмического отряда от 1 до 2 недель. Разбивка происходит круглосуточно. Скорость движения машины при разбивке профилей менее 5км/ч, на подъездах около 20км/ч. График работы топотряда плотный, практически почти всегда варианты путей движения тяжелой техники (движение вибраторов от точки к точке, сетка наблюдений 50м) должны прорабатываться техником на месте на основании текущей ситуации, промеров и личного опыта. GPS – Trimble-R7, радиосвязь с другими группами на частотах 136-174 и 433МГц.

5. Возможность использования штатных инженеров-геофизиков для обработки полевых материалов: геофизики на базе не имеют возможности для глубокой обработки полевых материалов.

Геофизическое оборудование

В ходе полевых экспериментальных работ было использовано следующее оборудование:

1. Контрольно-индикационный прибор ПИКОР-Лед 2М.

Контрольно-индикационный прибор ПИКОР-Лед, модель 2М, предназначен для измерения толщины льда. Возможности прибора позволяют проводить измерения в двух режимах: режим автоматического определения толщины льда и режим ручной постобработки.

В режиме автоматической обработки на записанном сигнале по заранее выбранному алгоритму выделяются наиболее интенсивные отраженные сигналы от границ, соответствующих верхней и нижней поверхностям льда.

В режиме ручной постобработки на записанном сигнале оператором выделяются отраженные сигналы, соответствующие отражениям от различных физически обоснованных границ, в том числе от подошвы и кровли льда. Режим ручной постобработки имеет преимущества перед автоматической обработкой в применяемой обработке и в информативности результата, в том числе в получении информации о строении толщи льда. Ручная постобработка ведется в стационарных условиях обученным персоналом.

Стоимость прибора ПИКОР-Лед 2М составляет около 120 тыс. руб.

Прибор ПИКОР-Лед-2М в комплекте с двумя индикаторами (ноутбук и планшет), удлинителем USB и сумкой для переноски

2. Георадарный комплекс ProEx компании Mala Geosciense (пр-во Швеция) в составе с двумя экранированными антенными модулями с центральными частотами 1600МГц (АБ-1600) и 500МГц (АБ-500).

Георадарный комплекс ProEx предназначен для решения широкого спектра инженерно-геофизических задач. Во время полевой стадии ведется только запись отраженного сигнала для дальнейшей ручной постобработки. Возможности автоматической обработки в полевых условиях нет. Возможна одновременная запись сигнала с нескольких каналов, оснащенных антенными блоками с различной центральной частотой излучаемого сигнала. Технически возможный частотный диапазон зондирования составляет от 25 до 2300 МГц. Глубина исследования зависит от частоты антенны и может составлять от первых сантиметров для высокочастотных антенн и до первых десятков метров для низкочастотных.

Стоимость георадарного комплекса ProEx составляет около 1 млн. руб.

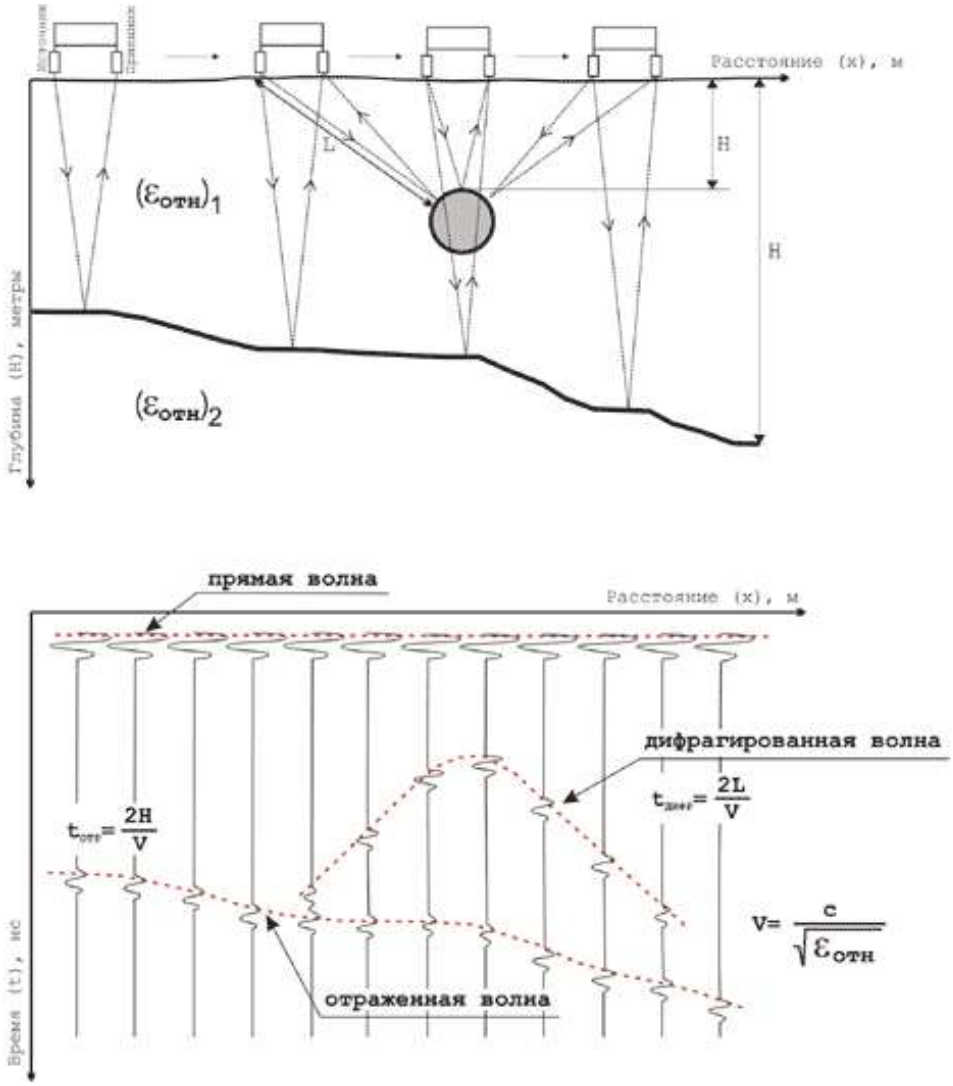
Комплектность георадарного комплекса Pro-Ex

Заявленные параметры прибора ПИКОР-Лед 2М в сравнении с аналогичными характеристиками георадарного комплекса ProEx применительно к полевым условиям проведенных работ приведены в таблице:

Параметр	**ПИКОР-Лед 2М**	**Георадар ProEx**
Глубинность исследования	до 1,5 м	Зависит от частоты антенны. 3 м для АБ-500
Точность измерений	до 1-2 см	до 1-2 см
Потребляемая мощность	менее 1 Вт	более 30 Вт
Электропитание	+5 В от USB	Каждый модуль комплекса имеет свое питание от аккумуляторной батареи, всего три модуля: 7,5 В, 12 В, 12 В
Время автономной работы	не менее 4 часов	Зависит от типов источников питания и внешней температуры: от 20 мин до 3 часов на одном комплекте батарей
Размеры антенного модуля	353 x 22 x 192 мм	АБ-500 без батареи: 500 x 330 x 160 мм АБ-1600 160 x 90 x 110 мм
Масса антенного модуля	0,62 кг	АБ-500 без батареи: 5 кг АБ-1600 1,2 кг
Максимальная скорость движения лаборатории	20-30 км/ч	20-30 км/ч
Режим записи	Непрерывный с частотой 40 Гц	Непрерывный
Частотный диапазон СШП сигнала	1-4 ГГц	АБ-500: 400-600 МГц АБ-1600: 1-3 ГГц
Отрыв от поверхности	0,1-1 м	АБ-500: 0 – 0,5 м АБ-1600: 0 – 0,05 м
Система позиционирования	Не предусмотрена	Возможна запись координат с точностью до 1м с внешнего приемника GPS
Время подготовки к работе	Менее 1 мин	Более 15 мин

Физические основы метода

Суть метода состоит в излучении электромагнитных импульсов в изучаемую среду и регистрации сигналов, отраженных от границ физически разнородных слоев и локальных неоднородностей.



На рисунке показана схема образования волновой картины при применении метода непрерывного профилирования. Отражение от локальной неоднородности, залегающей на глубине H, и отражение от границы раздела сред с разными диэлектрическими проницаемостями: глубинный (а.) и временной (б.) разрезы.

Отражающими границами в исследуемой среде являются контакты между снегом и льдом, между льдом и водой, между льдом и грунтом, между мерзлыми и талыми грунтами, между коренными и рыхлыми породами и т.д.

Толщины слоев определяются по времени прохождения электромагнитной волны через них. Скорость прохождения электромагнитной волны в слое определяется диэлектрической проницаемостью слоя.

Максимальный контраст диэлектрической проницаемости наблюдается между воздухом ($\varepsilon = 1$) и водой ($\varepsilon = 81$). Для пресного льда значение диэлектрической проницаемости практически постоянно для широкого диапазона частот и температур и равно 3,2. Для снега значение диэлектрической проницаемости определяется соотношением воздуха, льда и воды и составляет для сухого снега 1,5-2, а для мокрого может приближаться к значениям, характерным для воды. Мерзлые грунты характеризуются низкими значениями диэлектрической проницаемости (4-6), а для грунтов, находящихся при положительных температурах, значение диэлектрической проницаемости зависит от литологического состава, водонасыщенности и других параметров, и принимает значения от 5 (сухой песок) до 25 (глины).

Организация полевых работ

Получение информации производилось в двух вариантах: при непрерывном перемещении вдоль профилей на вездеходе и в пешеходном варианте (только для прибора ПИКОР-Лед). Привязка данных по профилю наблюдения осуществлялось при помощи GPS-систем Garmin и Trimble. Измерения проводились в непрерывном режиме. При проведении съемки информация записывалась на встроенную память или на жесткий диск портативного компьютера.

Варианты размещения приборов на вездеходе Газ-71:

1. Pro-Ex и ПИКОР-Лед на салазках, мягкая сцепка за вездеходом.

2. Сани на жесткой сцепке. ПИКОР-Лед и Pro-Ex с дополнительным аккумулятором

3. Pro-Ex над санями для проверки работы в отрыве

4. Подвеска прибора ПИКОР-Лед впереди вездехода

5. Использование прибора ПИКОР-Лед в пешеходном варианте.

6. Рабочее место оператора аппаратуры Pro-Ex в кунге вездехода

7. Рабочее место оператора прибора ПИКОР-Лед с индикацией на ноутбук в кабине вездехода

Обработка полевых материалов

Задача обработки полевых данных состоит, прежде всего, в выделении полезного сигнала на фоне помех. С помощью разнообразных приемов преобразования сигналов помехи и шумы по возможности ослабляются или удаляются с записи, а полезные волны подчеркиваются. Результатом съемки являются временные разрезы, записанные методом переменной плотности, на которых по горизонтали указано расстояние в метрах, а по вертикали - время прихода отраженных волн в наносекундах.

Использование двух аппаратурных комплексов в процессе полевых работ требует различного подхода при обработке полевых материалов.

Данные, полученные с помощью георадара Pro-Ex, записываются в память прибора в формате *.rd3 и для их обработки используется программный пакет RadExplorer. Данная программа позволяет производить ручную обработку данных с использованием стандартных процедур, параметры которых обработчик выбирает сам, исходя из имеющегося опыта.

В графическом приложении (пункт 1) приведена серия рисунков, иллюстрирующих стандартный ход обработки и анализа данных для определения толщины льда и/или промерзшей части грунта в ручном режиме в программном пакете RadExplorer

1. Изменение порогов отображения (аналог яркость/контраст).

2. Установка положения «0» на начало излучения. (Как правило, для более точной пикировки границ положение «0» и последующие фазы устанавливают не на самое начало, а на первую смену фазы импульса). Анализ радиопортрета единичного кадра.

3. Установка положения «0» на первое отражение (от границы воздух-снег), поскольку антенный блок работает в отрыве от поверхности. По второму отражению (указано красной стрелкой) можно определить толщину снежного покрова (взяв табличное значение диэлектрической проницаемости 2). Если в данном месте были проведены измерения толщины снега, то можно измерить значение диэлектрической проницаемости для данного типа снега. Для сухого снега эти значения могут меняться в пределах 1 до 3.

4. Установка положения «0» на второе отражение (граница снег-лед). Удаление постоянной составляющей. Вычитание результата горизонтальной медианной фильтрации. Определение толщины промерзшей части при установке табличного значения диэлектрической проницаемости «3.2» для льда или 3.5-6 для промерзшего грунта.

Данные, полученные с помощью прибора ПИКОР-Лед, подвергались в процессе записи автоматической обработке по заранее выбранному алгоритму. В программном обеспечении прописано несколько стандартных алгоритмов, состав функций которых выбирался исходя из некой априорной модели среды. Параметры некоторых функций оператор может менять по своему усмотрению перед началом записи. В процессе автоматической обработки выполняется автоматическая пикировка границ по заранее заданным признакам и вычисляется толщина выделенного слоя.

Обработанные по описанному выше алгоритму данные поступали на интерпретацию.

Интерпретация полученных данных

Интерпретация полученных данных велась с использованием обобщенной априорной слоистой модели. Основными слоями в такой модели, в зависимости от места работ, были: снег, лед, вода, мороженный и не мороженный грунт.

В ходе полевых работ проводилось контрольное бурение льда\грунта для уточнения априорной модели и определения точности работы приборов. Ниже приведено сравнение результатов автоматической интерпретации данных, полученных с помощью прибора ПИКОР-Лед, обработанных данных георадара Pro-Ex с результатами бурения по контрольным точкам.

Результаты измерения толщины льда на Обской губе.

Лунка 1. Номер точки 75.

толщина снега вокруг лунки – от 10 до 45 см

толщина льда 78 см

ПИКОР-Лед 78 см ProEx-500 79 см

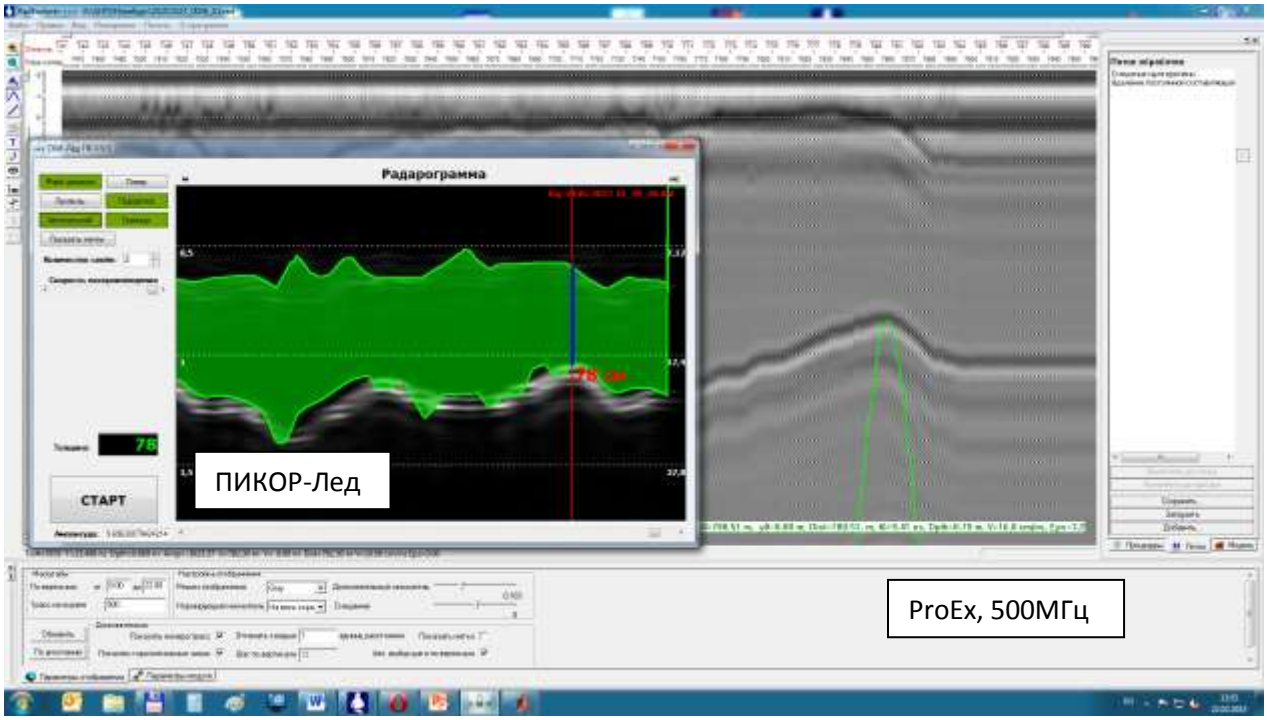


Рис 1. Результаты автоматической обработки данных модуля ПИКОР-Лед (вкладка) и ручной обработки данных георадара ProEx с антенной 500МГц (основа).

Лунка 2. Номер точки 65.

толщина снега вокруг лунки – от 20 до 40 см

толщина льда 65 см

ПИКОР-Лед 67 см ProEx-500 69 см

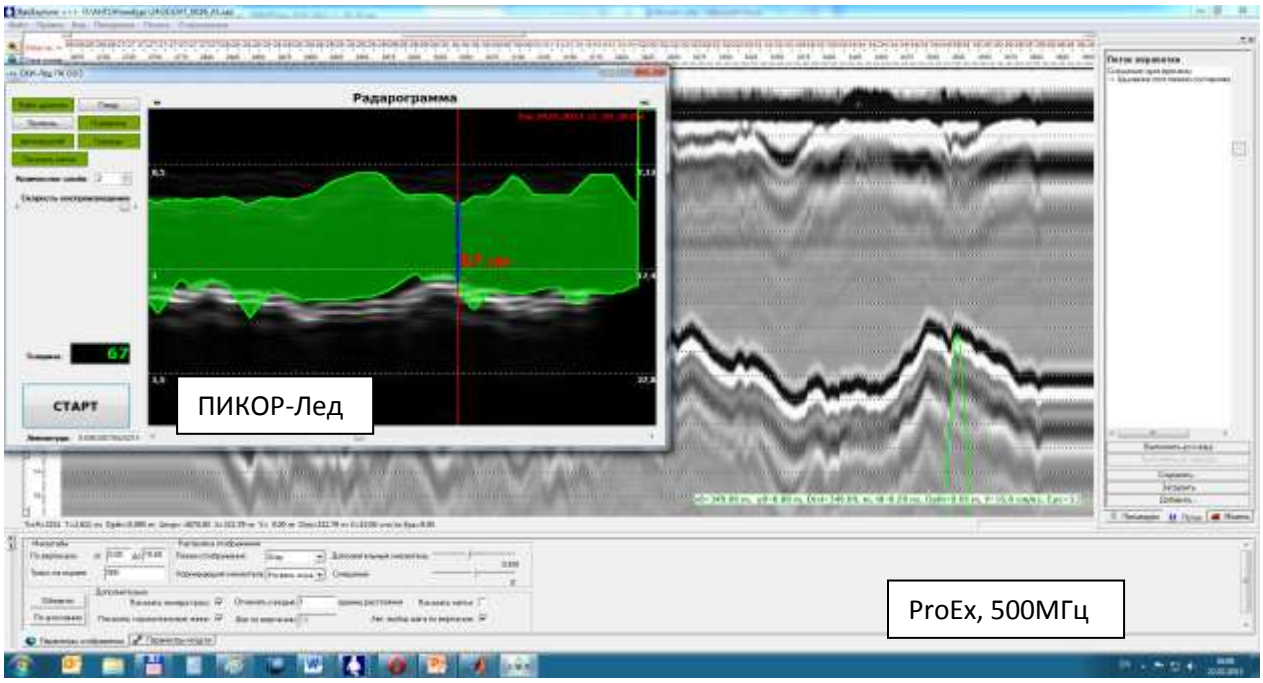


Рис 2. Результаты автоматической обработки данных модуля ПИКОР-Лед (вкладка) и ручной обработки данных георадара ProEx с антенной 500МГц (основа).

Лунка 3. Номер точки 74.

толщина снега вокруг лунки – 15 см

толщина льда 75 см

ПИКОР-Лед 79 см ProEx-500 75 см

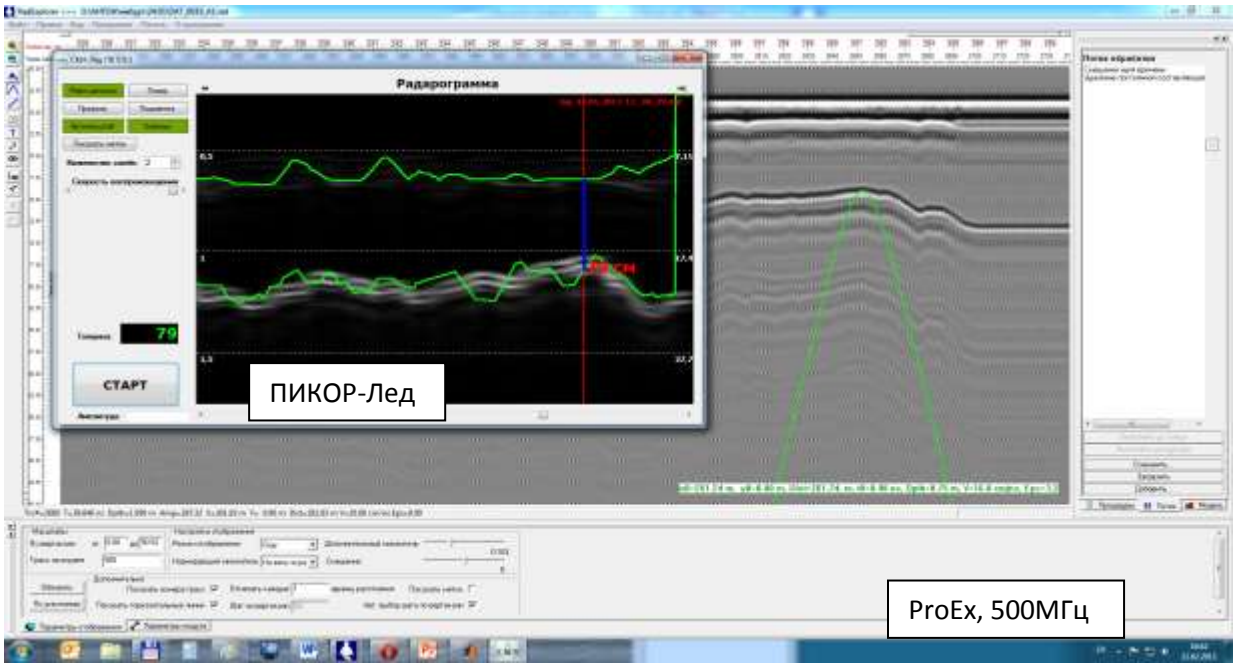


Рис 3. Результаты автоматической обработки данных модуля ПИКОР-Лед (вкладка) и ручной обработки данных георадара ProEx с антенной 500МГц (основа).

Лунка 4. Номер точки 98.

толщина снега вокруг лунки – от 20 до 25 см

толщина льда 92 см

ПИКОР-Лед 94 см ProEx-500 92 см

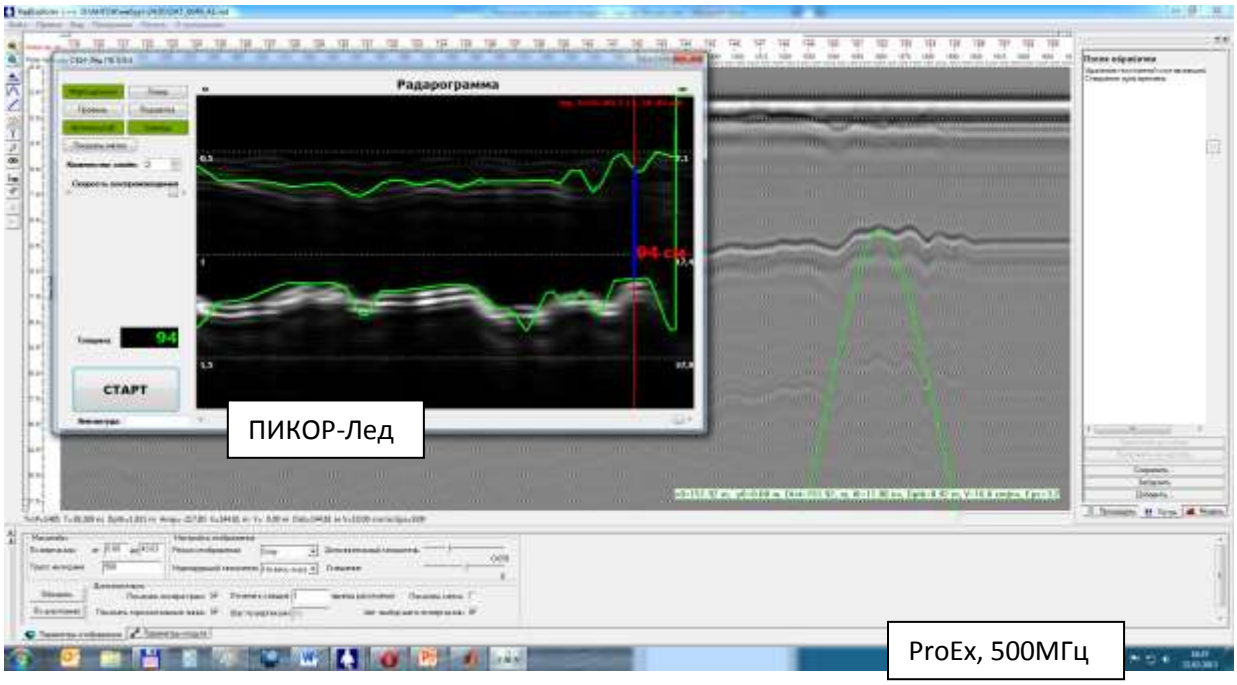


Рис 4. Результаты автоматической обработки данных модуля ПИКОР-Лед (вкладка) и ручной обработки данных георадара ProEx с антенной 500МГц (основа).

Лунка 5. Номер точки 113.

толщина снега вокруг лунки – 40 см

толщина льда 95 см

ПИКОР-Лед 108 см ProEx-500 92 см

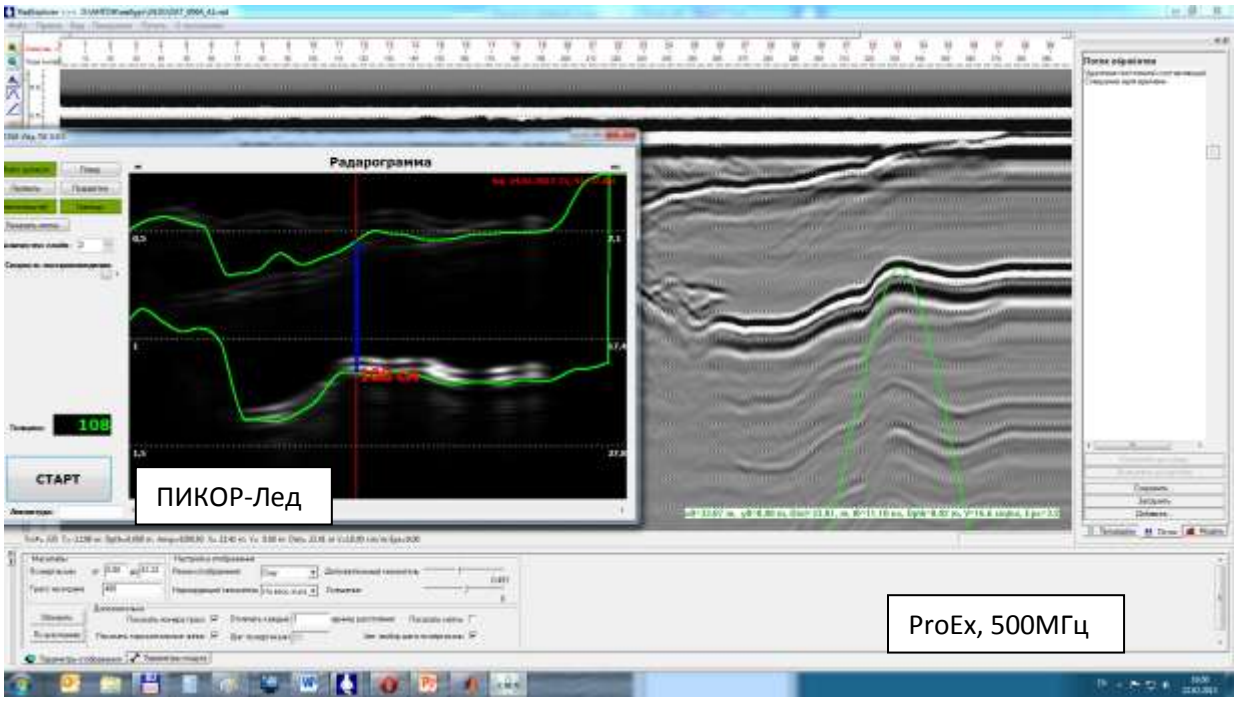


Рис 5. Результаты автоматической обработки данных модуля ПИКОР-Лед (вкладка) и ручной обработки данных георадара ProEx с антенной 500МГц (основа).

Итоговая таблица измерений на Обской губе

	Результат бурения	**Георадар ProEx 500МГц, ручная обработка, см**	**Ошибка измерений, см**	**Модуль ПИКОР-Лед, автоматическая обработка, см**	**Ошибка измерений, см**	**Толщина снега на участке**
Точка 75	78	79	1	78	0	10-40
Точка 65	65	69	4	67	2	20-40
Точка 74	75	75	0	79	4	25
Точка 98	92	92	0	94	2	20-25
Точка 113 (река)	95	92	3	108	13	40
Средне-квадра-тичный разброс			2,3 (2,1 без реки)		6,2 (2,4 без реки)	

В графическом приложении приведены результаты интерпретации обработанных данных. Радарограммы собраны в группы в соответствии с характерными грунтовыми условиями, по которым он записаны.

1. Первая серия радарограмм иллюстрирует процесс обработки

2. Серия радарограмм по «лужам» в раойне базы партии.

«Лужи» представляют собой мелкие заболоченные озера; при температурных условиях января заболоченные озера промерзают до дна, включая слой ила; общая толщина промерзшего слоя составляет до 2,5м и более.

На радарограммах (2а, 2б) лед выделяется как однородный радиопрозрачный слой с редкими гиперболическими отражениями от трещин и пузырьков воздуха. Отражение от границы между льдом и промерзшим илом имеет высокую амплитуду. Промерзшие илы характеризуются наличием большого количества гиперболических отражений и высокой степенью радиопрозрачности. Отражение от границы между промерзшим илом и непромерзшими грунтами также высокоамплитудная, но выражена слабее, имеет большие вариации по глубине, прослеживается не везде (прерывистая), сечется гиперболическими отражениями из вышележащего слоя. В слое непромерзших грунтов радиосигнал быстро затухает (на частотах выше 500МГц) и структуры в них выделяются ненадежно.

На радарограмме 2в выделяется участок с исчезновением слоя ила. Скорее всего, на данном участке имеется локальный выступ твердого и более теплого материала, но при определении возможного пути движения тяжелой техники по льду мелководного озера подобные неоднородности следует рассматривать как потенциально опасные.

На радарограмме 2г видно, что динамического диапазона антенного блока АБ-1600 недостаточно для получения отражения от подошвы льда (толщина около 1 м). Поскольку для решения задачи определения возможного пути движения тяжелой техники требуется непрерывное прослеживание нижней границы льда, то следует сделать вывод, что антенный блок АБ-1600 категорически не подходит для получения данных в составе комплекса.

На радарограммах 2е-2и показано примыкание заболоченного озера и относительно высокого берега. Под берегом образуется снежный сугроб до 50 см и более, что хорошо выделяется на радарограмме. Наличие снега (сухой снег при температурах менее -20 С) не мешает выделению нижележащих границ. Граница между промерзшим илом и непромерзшими грунтами исчезает при выходе с заболоченного озера на берег при изменении состава грунта с илов на более твердые породы.

На радарограмме 2к показана высокая изменчивость толщины промерзшего слоя. Как правило это связано с изменением толщины илов, но может быть связано также в процессами активного тепловыделения, и тогда более тонкие участки имеют более высокую потенциальную опасность.

3. Серия радарограмм по озерам в районе базы партии. При температурных условиях января озера промерзают на глубину около 1м.

На радарограмме 3а показана типичная запись по профилю по льду промерзшего озера. Выделяется нижняя граница подошвы льда и многочисленные кратные и неполнократные переотражения. Характер подошвы льда более ровный, чем на заболоченных озерах и болотах. Наличие большого числа кратных переотражений является признаком наличия незамерзшей воды. Ниже этой границы физически обоснованных отражений не выделяется, что может быть связано с высоким уровнем затухания радиоимпульса в толще воды.

На радарограммах 3б-3ж показан переход профиля на участке замершее озеро – берег. Радарограмма на таких участках характеризуется сложным строением волнового поля, что обусловлено наличием большого количества литологических границ в изменяющихся гидрологических и температурных условиях. Некоторые прибрежные участки на радарограмме имеют характерные среднеамплитудные многочисленные наклонные отражения, идущие параллельно друг другу. Такие отражения характерны для песков речных наносов. При подходе к берегу во льду может образоваться трещина отрыва, которая легко выделяется на радарограмме.

4. Серия радарограмм по болота вокруг озер в районе базы партии. При температурных условиях января болота промерзают на глубину до 2,5 м. Строение болот в условиях весной мерзлоты является сложным для изучения их косвенными методами, такими как георадиолокация. На болотах возможны проявления большого количества разнообразных и разнонаправленных процессов.

На радарограмме 4а приведен участок высокого уровня затухания отражения от нижней границы (сезонного промерзания). Это может стать причиной неверной интерпретации природы границ, расположенных выше.

На радарограммах 4б,в показан участок заболоченной местности со сложным и неоднозначно интерпретируемым строением. На радарограмме достоверно выделяется резко меняющаяся толщина льда, близко к поверхности залегающие незамерзшие грунты, вода в жидкой фазе. Причина резкого изменения толщин выделенных слоев не ясна и может представлять возможную угрозу. Потенциально опасный участок. Движение тяжелой техники через подобные участки не рекомендуется.

На радарограммах 4г-4е показаны потенциально опасные участки, связанные с утонением промерзшей толщи.

5. Серия радарограмм по дорогам и над локальными объектами.

На обследованной территории значительную площадь занимают дороги. Практически все они устроены по насыпям, состояние которых в условиях вечной мерзлоты может резко меняться в зависимости от сезона. Частичное разрушение основания дорог является опасным для движения тяжелого транспорта. Обследование дорог георадаром может предотвратить возникновение аварийных ситуаций. На радарограммах в приложении приведены участки радарограмм по дорогам и насыпям над газопроводами.

На радарограмме 5а по грунтовой дороге выделена граница в насыпных грунтах на глубине 1,6 м. Возможно – основание насыпных грунтов. Изучение строения дорожной одежды в задачи данного исследования не входило.

На радарограмме 5б приведен пример отображения стыков дорожных плит под снегом.

На радарограмме 5в выделяется локальный объект (возможно труба) в теле насыпной части дороги.

На радарограммах 5 г,д выделяется отражение от трубы газопровода в виде характерной гиперболической фазы (на Рис 5г) и в виде следов от обратной засыпки на Рис 5д.

Высокий уровень затухания сигнала на высоких частотах (Рис 5д) не позволяет определить наличие и глубину газопровода. Из этого можно сделать вывод о не применимости прибора ПИКОР-Лед для решения подобных задач. Рекомендуется использование антенных блоков с центральной частотой не выше 500 МГц.

8. Серия радарограмм по льду р. Обь.

При работе по льду реки было получено большое количество фактического материала, описывающего как характерные, так и особые ситуации в строении льда. На радарограммах 6а-э показаны радиолокационные изображения подошвы льда в различных условиях, трещины и торосы во льду, характерные признаки наличия жидкой воды под льдом, лед у берега и др.

Выводы и рекомендации

По результатам полевых и камеральных работ можно сделать следующие выводы:

Проведены полевые испытания контрольно-индикационного прибора ПИКОР-Лед 2М. Полевые испытания и обработка данных проводились одновременно с использованием георадарного комплекса ProEx Mala Geosciense (пр-во Швеция) в составе с двумя экранированными антенными моделями с центральными частотами 1600 МГц и 500 МГц. В ходе работ на ключевых участках проводилось контрольное бурение.

Оба опробованных приборных комплекса могут использоваться при решении задач определения толщины льда для выбора маршрута передвижения тяжелой техники через ледовые переправы, болота и т.п.

Выявлены следующие достоинства и недостатки контрольно-индикационного прибора ПИКОР-Лед 2М:

1. Динамический диапазон антенны и способ записи сигнала позволили достичь глубинности 2 метра.
2. Прибор может работать в отрыве от поверхности на высоте от 1 м и габаритные размеры позволяют установить его на переднюю часть вездехода ГАЗ-71 или аналогичный.
3. Прибор характеризуется малым весом и габаритами.
4. Штатные средства крепления данной модели прибора не предусматривают условий Крайнего Севера и работ с движущейся техники.
5. Прибор устойчиво работал при температурах ниже -45° С (испытания в Якутске, декабрь 2012г).
6. Черный цвет корпуса малозаметен в условиях Крайнего Севера. Необходима более яркая и заметная на снегу расцветка.
7. При работе прибор имеет питание напрямую от планшета или ноутбука через разъем USB. Время работы штатного планшета в температурных условиях кабины вездехода ГАЗ-71 составляет порядка 3-4 часов в режиме непрерывной регистрации.
8. При установке средств индикации в кабине вездехода ГАЗ-71 требуется удлинитель провода USB длиной не менее 3 метров. По спецификации USB максимальная суммарная длина кабеля не может превышать 5 метров. Стандартные кабели USB не отвечают требованиям морозоустойчивости.
9. Безразъемное соединение USB кабеля к прибору не отвечает требованиям ремонтопригодности в полевых условиях.
10. Стандартные средства регистрации данных предусматривают автоматическую обработку и интерпретацию данных с определением толщины льда.

11. Существующий алгоритм автоматического выделения границ не устойчив и дает сбои.

12. Нет автоматической проверки корректности выдаваемых результатов. Не предусмотрено средств оперативной ручной корректировки положения выделяемых границ.

13. Не предусмотрено подключение GPS приемника, что затрудняет привязку данных на местности.

Пожелания, выдвинутые заказчиком к следующей модели прибора ПИКОР-Лед:

1. Зимнее ударопрочное исполнение (корпус и провод связи)..
2. Разъем на корпусе для кабеля связи. Максимально возможная длина кабеля связи.
3. Не менее двух точек монтажа антенного модуля, точки монтажа не пластиковые.
4. Время работы в автономном режиме индикатора при записи не менее 12 часов или возможность подключения к бортовой сети с возможностью выбора варианта на 12 и 24 В.
5. Регистрация должна происходить одновременно с записью позиции по GPS (точность измерений не хуже, чем дает Trimble R7).
6. Индикация толщины льда должна происходить с возможностью корректировки работы алгоритма оператором с использованием средств touch screen.
7. В программу регистрации добавить средство оповещения по порогу толщины льда.
8. В программу обработки на стационарном компьютере добавить средства документирования результатов.

Выявлены следующие достоинства и недостатки георадарного комплекса ProEx:

1. Уровень динамического диапазона антенного блока 1600 МГц не позволил достигнуть глубины зондирования более 1 м, что недостаточно для решения поставленных задач.

2. При работе с антенным блоком 500 МГц была достигнута глубина зондирования 3 метра, что достаточно для решения поставленных задач Данный антенный блок может быть включен в состав комплекса.

3. Антенный блок 500 МГц может работать в отрыве от поверхности на высоте от 0,5м.

4. Антенный блок 500 МГц может работать в условиях пониженных температур при абсолютных значениях -35°С.

5. Время работы штатных аккумуляторов антенного блока 500 МГц при температурах ниже -15°С составляет менее 10 минут. Требуется установка дополнительного внешнего аккумулятора с преобразователем напряжения.

6. Поддон, идущий в комплекте с антенным блоком, не обеспечивает необходимой устойчивости при волочении за транспортным средством в условиях бездорожья.

7. Провод связи антенного блока с георадаром находится под действием вибрационных нагрузок и низких температур, что без использования дополнительной защиты может привести к выходу его из строя.

8. Зафиксировано нарушение устойчивого приема системы связи на частоте 433 МГц.

9. Не предусмотрено эргономичное расположение георадара в кунге вездехода ГАЗ-71.

10. Регламент работ с георадаром MALA предусматривает постобработку полевых материалов квалифицированным инженером-геофизиком и требует дополнительное ПО обработки стороннего производителя. Оперативный анализ радарограмм затруднен.

11. Георадар ProEx позволяет работать в многоканальном режиме и одновременно использовать антенные блоки с различными центральными частотами.

12. Предусмотрено подключение GPS приемника, что облегчает привязку данных на местности. В программе обработки RadExplorer не предусмотрено средств использования записанных координат.

В графическом приложении приведены обработанные радарограммы, полученные в типовых условиях работ топотряда, с выделенными на них особенностями. Также пошагово приведена обработка радарограмм.

По результатам зимних полевых выездов можно предложить следующие рекомендации по производству полевых работ контрольно-индикационным прибором ПИКОР-Лед.

Рекомендации по производству полевых работ

Полевые работы по определению толщины льда можно производить двумя основными способами. Первый способ описан в Руководстве по эксплуатации прибора Пикор-Лед 2М и представляет собой измерения толщины льда на площадке небольшого размера. При этом для более точных значений рекомендуется периодическое покачивание радара в вертикальной плоскости для лучшего подавления внутренних шумов приемо-передающего тракта. Этот способ имеет ряд принципиальных ограничений. Во первых, алгоритмы автоматического определения толщины льда строятся на базе простых моделей зондируемой среды, и не будут корректно работать в случае несоответствия реальной среды этим моделям. Во вторых, ручная и автоматическая обработка сигнала, полученного при зондировании в одной «точке» сильно затруднена за счет наличия в сигнале кратных отражений и паразитных (воздушных) отражений и невозможности их распознания и эффективного удаления. В третьих, небольшая площадь исследований не позволяет выявить аномальные зоны вокруг исследуемой площадки, а также сделать заключения об общей картине. Все эти ограничения снимаются с помощью применения специальной системы наблюдений - способа непрерывного профилирования (НП) на постоянной базе, с дальнейшей обработкой данных на стационарном компьютере.

Для применения способа профилирования на местности намечаются прямолинейные профили, проходящие через исследуемые участки. Длина профиля должна быть не менее 3м, желательно более 10м. При возможности начать и/или закончить профиль на берегу, заход на берег обеспечить не менее 5м (лучше – 10м). При длине профиля менее 10м не следует располагать профиль через сугробы или участки с существенным изменением особенностей рельефа (например, выходом на берег). После разметки положения профилей следует пройти каждый профиль с включенным прибором в режиме «Запись» - т.е. записать поле отраженного сигнала по каждому профилю. При движении по профилю следует стараться держать равномерное (без ускорений) движение. При движении мимо особых мест (лунки бурения, сугробы, особенности рельефа) следует помечать эти места метками; метки могут быть одинарными, двойными – или более сложными. Подобная система кодирования применяется для легкого распознавания типа помеченной особенности по коду метки. Например, одинарные метки использовать только для пометок движения прибора мимо пробуренных лунок, двойные (быстрое двойное нажатие кнопки «метка») – для маркировки сугробов, тройные – для прочих особенностей микрорельефа.

После проведения измерений по профилю, следует записать информацию о длине профиля, имя записанного файла, высоту прибора над дневной поверхностью, перечень меток, визуальную информацию и описание различных особенностей по профилю. Если глубина снега значительно меняется на протяжении профиля, рекомендуется с некоторым шагом по профилю замерить толщину снега, и определить его тип (мягкий – жесткий – утоптанный; есть ли наст и сколько слоев; мокрый-сухой и прочее, что привлечет внимание). Вся эта информация значительно снизит ошибки при дальнейшей обработке материала. Если измерения проводятся по системе профилей на одной площади, то следует нарисовать схему взаимного положения профилей и особенностей рельефа. Для простоты обработки данных в случае применения системы профилей профили

располагаются параллельно или перпендикулярно друг к другу. Точки пересечения профилей также рекомендуется помечать метками при съемке данных по профилям.

Профилирование можно производить в пешем варианте при стандартном закреплении прибора на планшете, в варианте буксировки, когда прибор закреплен на буксируемом средстве (санки, акья и т.п.), а также в варианте закрепления прибора на транспортном средстве.

При профилировании рекомендуется использовать следующий набор параметров

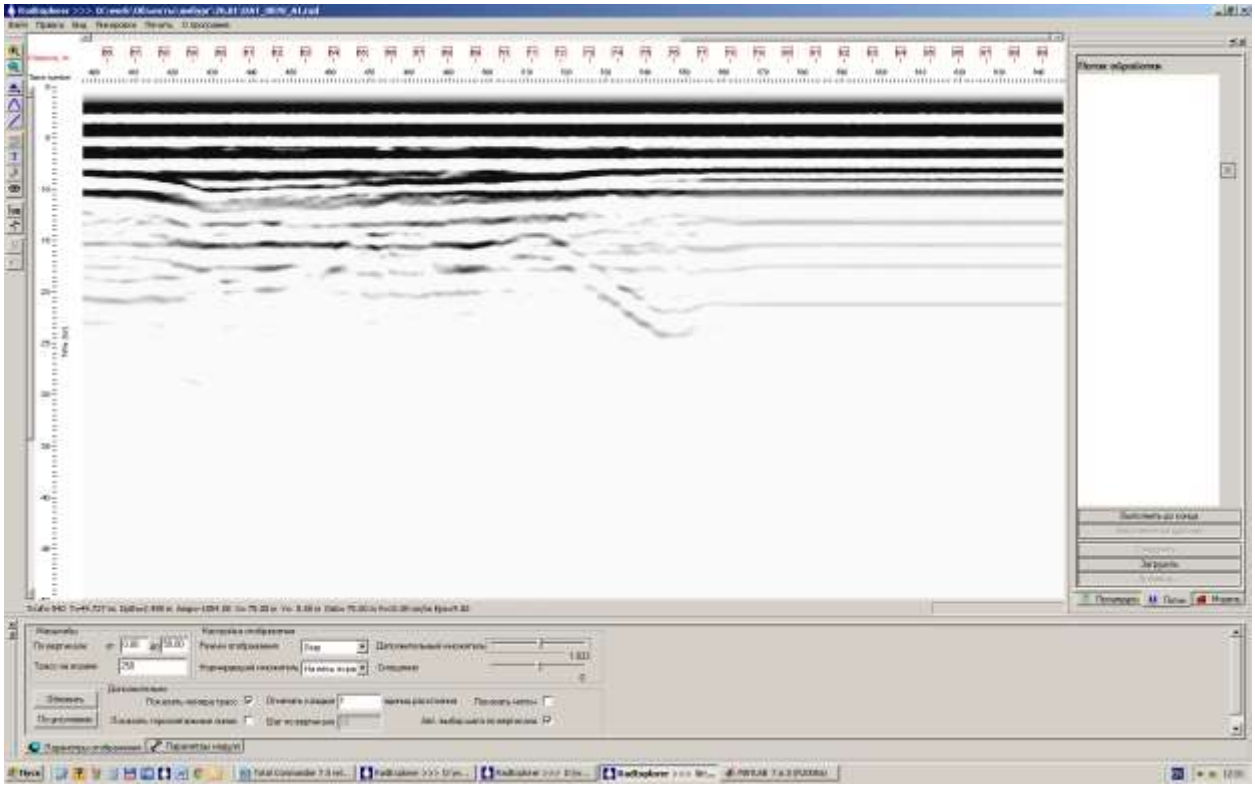
в основном меню		
Кнопка «Вид»	подсвечена	(требуется установить)
в окне параметров		
Кнопка «АВТОМАСШТАБ»	не подсвечена	(по умолчанию)
Поправка дальности	0.0	(требуется установить)
Начальная дальность	0.0	(требуется установить)
Масштаб	1	(по умолчанию)
Усиление	3	(по умолчанию)
Алгоритм	Алгоритм 1	(по умолчанию)

При проведении съемки в пешеходном режиме рекомендуется в начале и конце профиля несколько раз медленно (период - 5с или более) опустить антенну до поверхности и поднять на рабочую высоту в режиме записи. Отсечь эту часть записи от основной отсутствием движения в течение 5с.

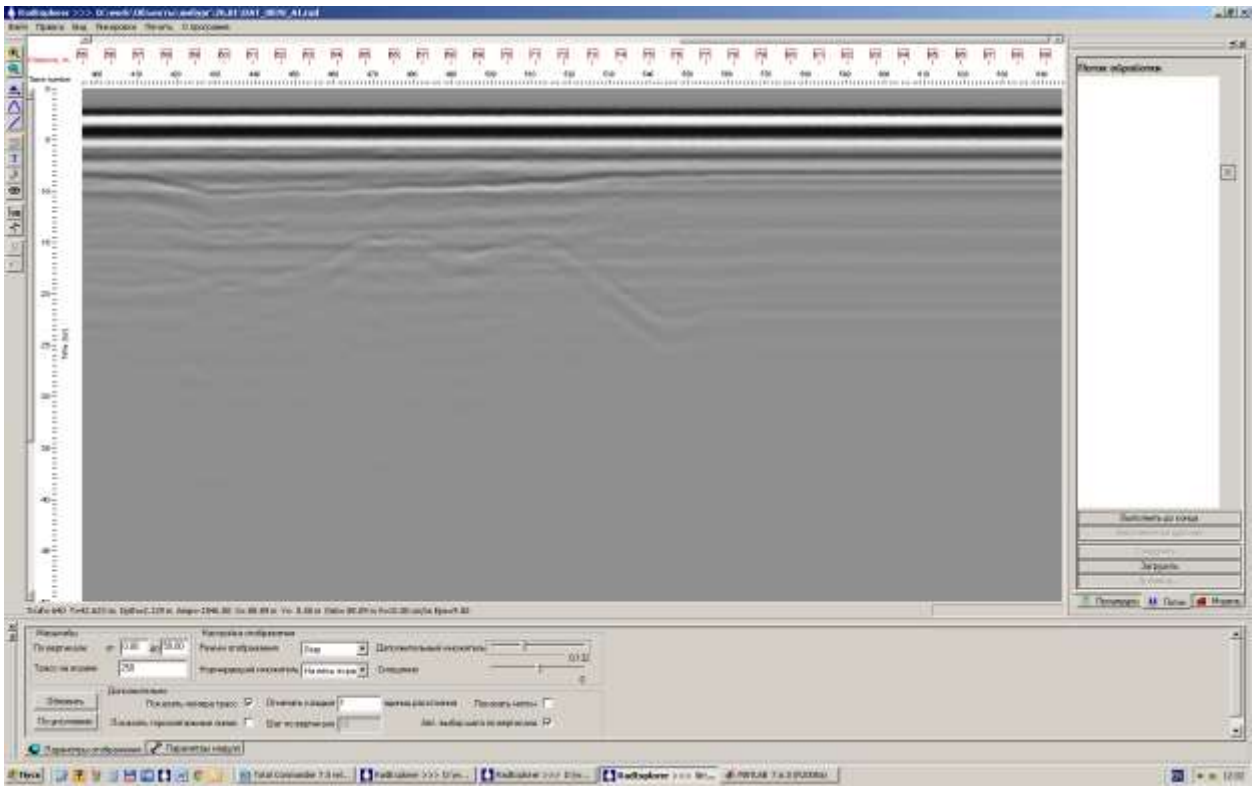
При проведении съемки в варианте закрепления антенны на т/с в отрыве от поверхности в начале и конце работ записать файл с медленным (5с период) троекратным опусканием до поверхности и подниманием до антенны какого-нибудь плоского отражателя.

Графическое приложение

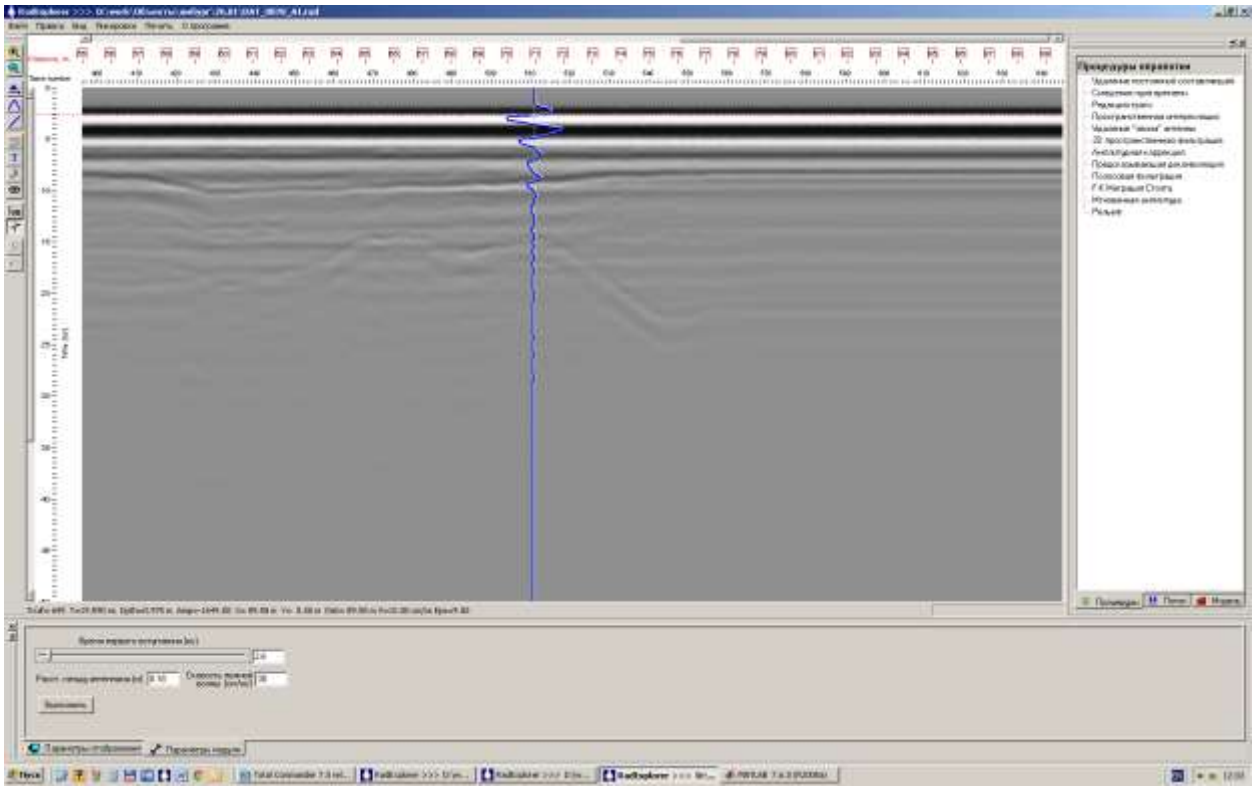
1) **Серия рисунков, иллюстрирующих стандартный ход обработки и анализа данных для определения толщины льда и/или промерзшей части грунта в ручном режиме в программном пакете RadExplorer**



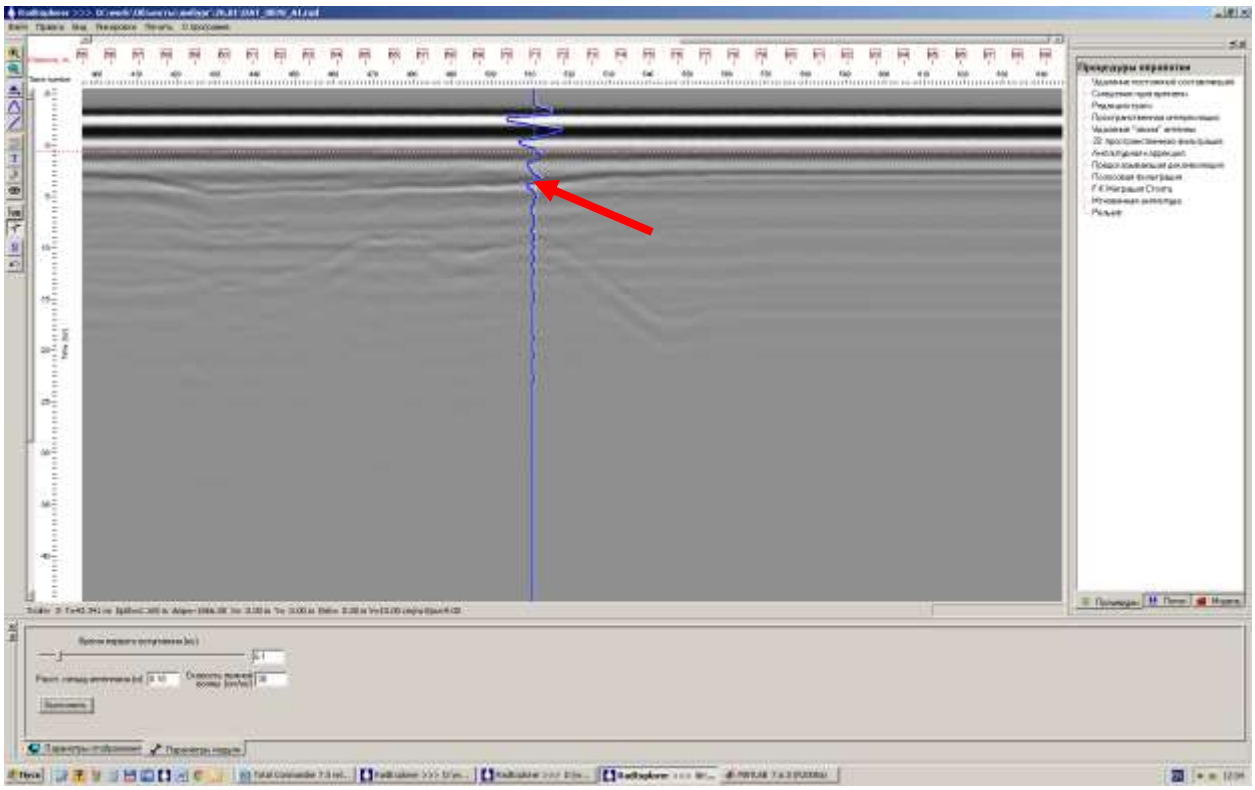
а) Начальные данные. Радар ProEx, антенный блок 500МГц.



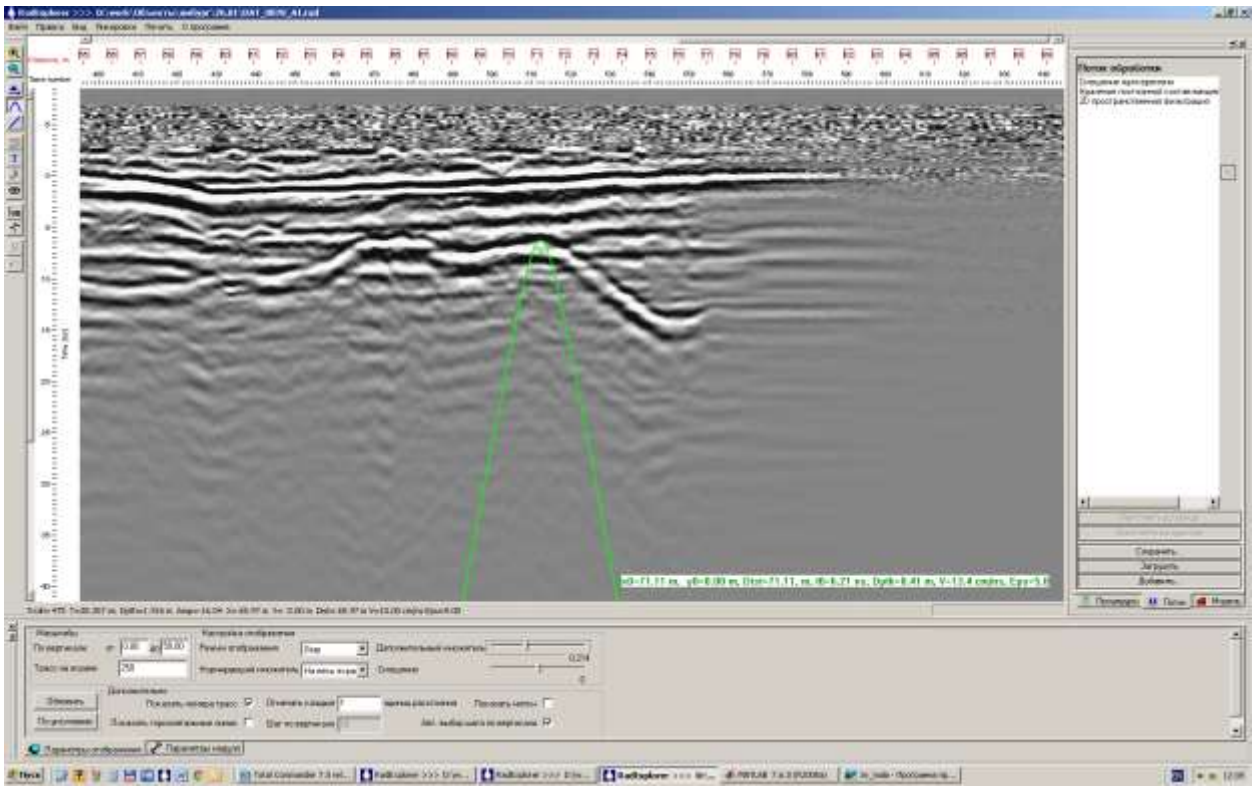
б) Изменение порогов отображения (аналог яркость/контраст)



в) Установка положения «0» на начало излучения. (Как правило, для более точной пикировки границ положение «0» и последующие фазы устанавливают не на самое начало, а на первую смену фазы импульса). Анализ радиопортрета единичного кадра.



г) Установка положения «0» на первое отражение (от границы воздух-снег), поскольку антенный блок работает в отрыве от поверхности. По второму отражению (указано красной стрелкой) можно определить толщину снежного покрова (взяв табличное значение диэлектрической проницаемости 2). Если в данном месте были проведены измерения толщины снега, то можно измерить значение диэлектрической проницаемости для данного типа снега. Для сухого снега эти значения могут меняться в пределах 1 до 3.



д) Применение процедур

Установка положения «0» на второе отражение (граница снег-лед)

Удаление постоянной составляющей

Вычитание результата горизонтальной медианной фильтрации

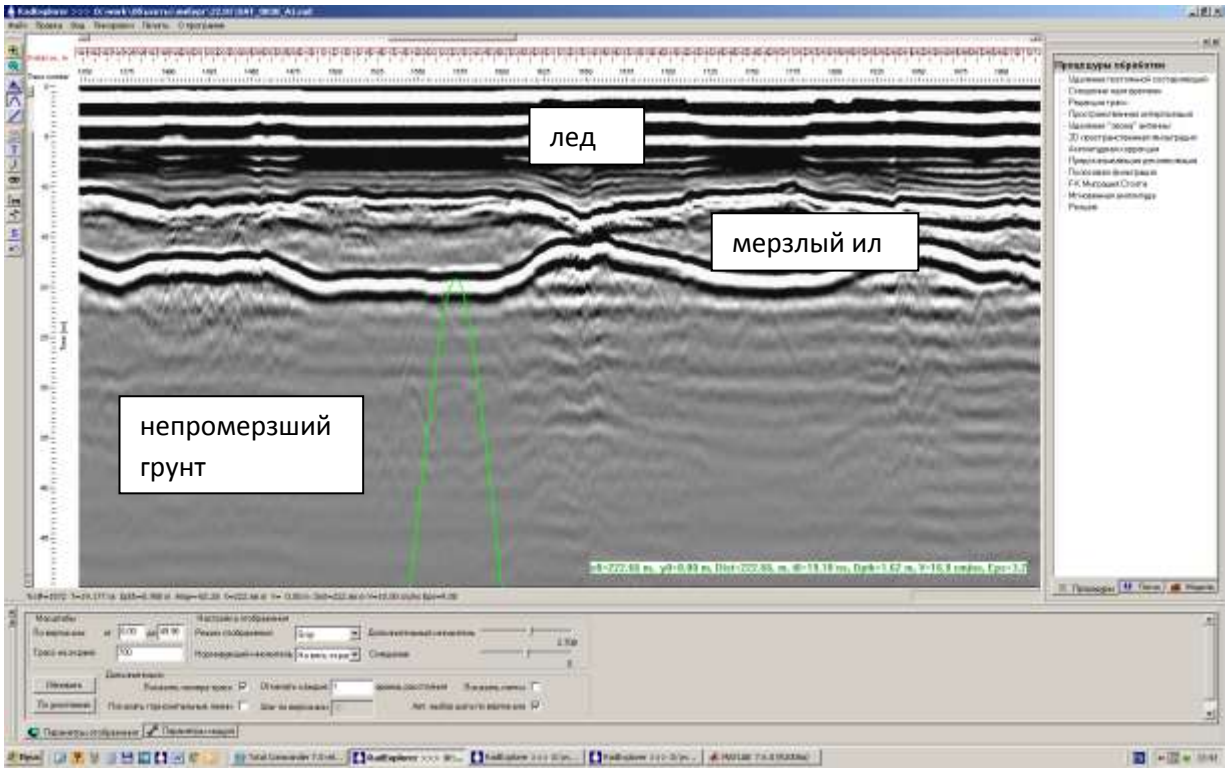
Определение толщины промерзшей части при установке табличного значения диэлектрической проницаемости «3.2» для льда или 3.5-6 для промерзшего грунта.

При бурении на данном участке была определена следующая структура

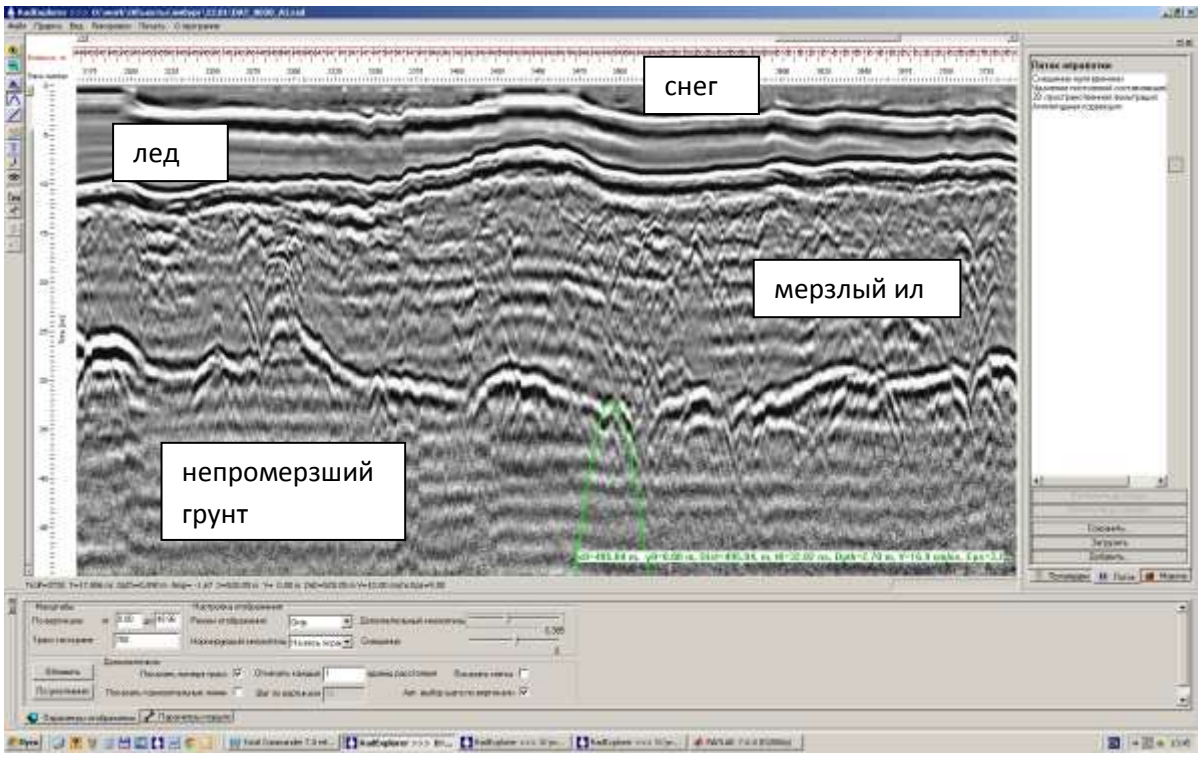
1) Снег, толщина 45см
2) Лед 5см
3) Мерзлый грунт (ил) 35см
4) Непромерзший ил толщиной более 50см

По данным бурения и обработки георадиолокационных данных георадара ProEx с АБ-500 были определены значения диэлектрической проницаемости для снега ~1.8, и 4-5 для мерзлого ила.

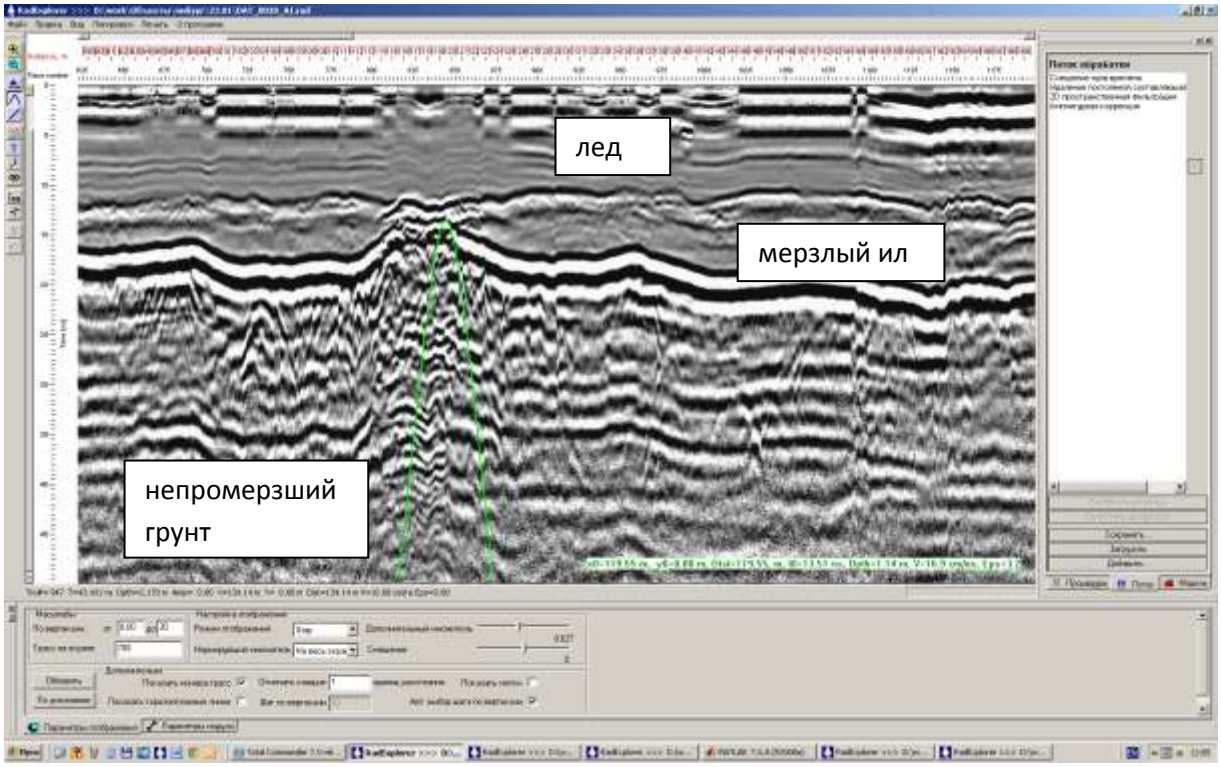
2) **Примеры записей радарограмм в типичных условиях – «лужи» в районе базы. «Лужи» представляют собой мелкие заболоченные озера; при температурных условиях января лужи промерзают до дна, включая слой ила, общая толщина промерзшего слоя составляет до 2,5м и более.**



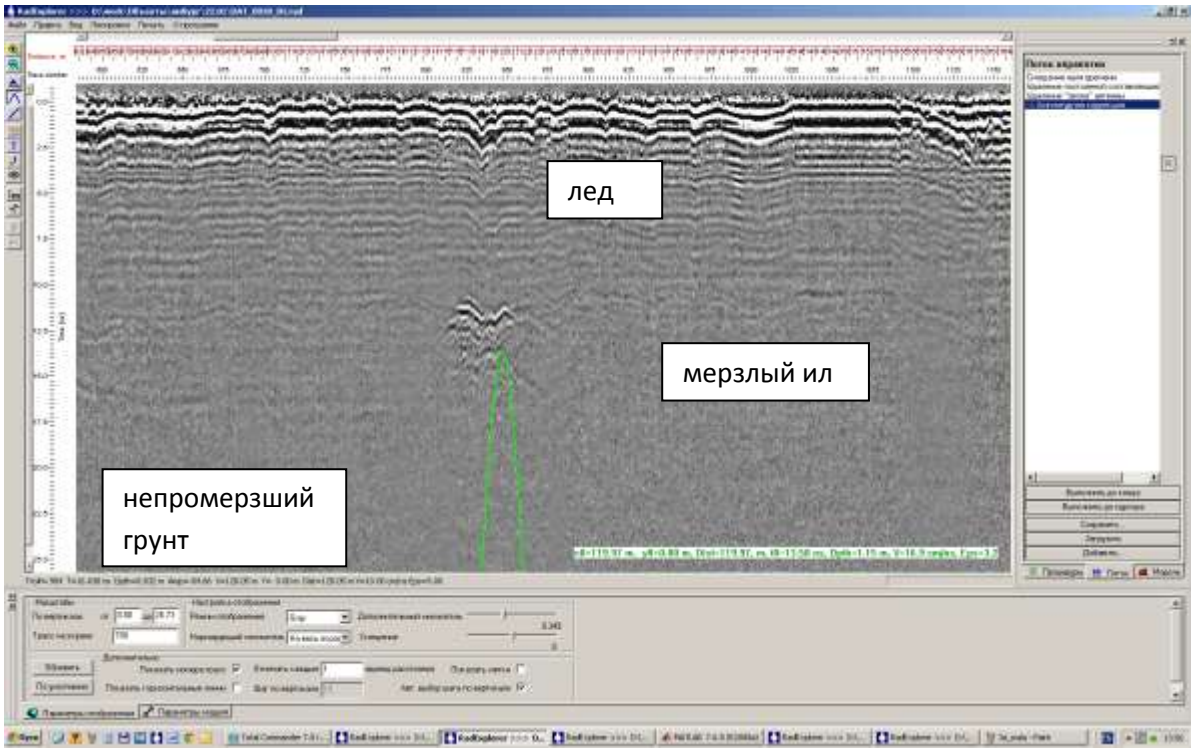
а) Георадар ProEx, АБ-500. Толщина льда 0,95м, толщина промерзшего слоя с илом 1,6м. Участок обработки подсвечен зеленой гиперболой на границе мерзлый ил - непромерзший грунт.



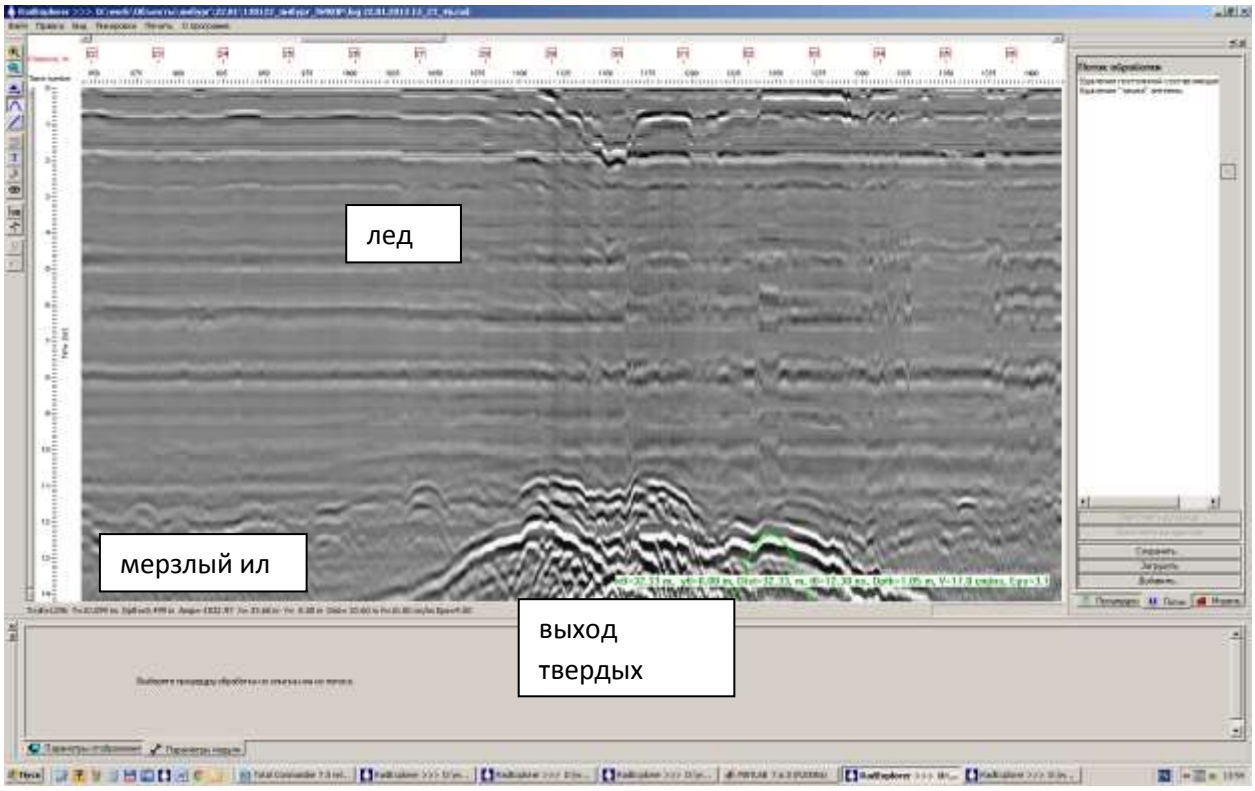
б) Георадар ProEx, АБ-500. Суммарная толщина промерзшей толщи со снегом составляет 2.7м, что во временной области соответствует 35нс. Для уверенного выделения границы интервал записи должен превышать 40нс.



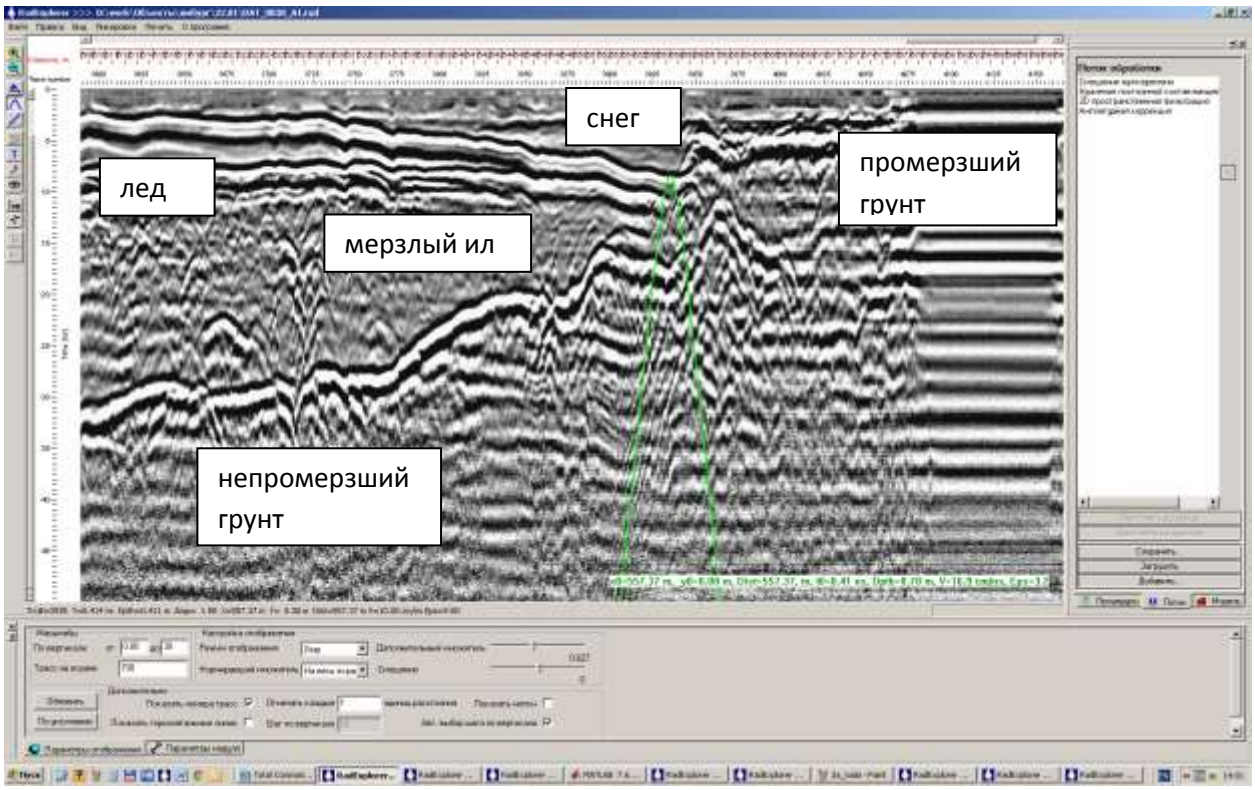
в) Георадар ProEx, АБ-500. Участок отсутствия слоя ила (около зеленой гиперболы). Потенциально опасный участок.



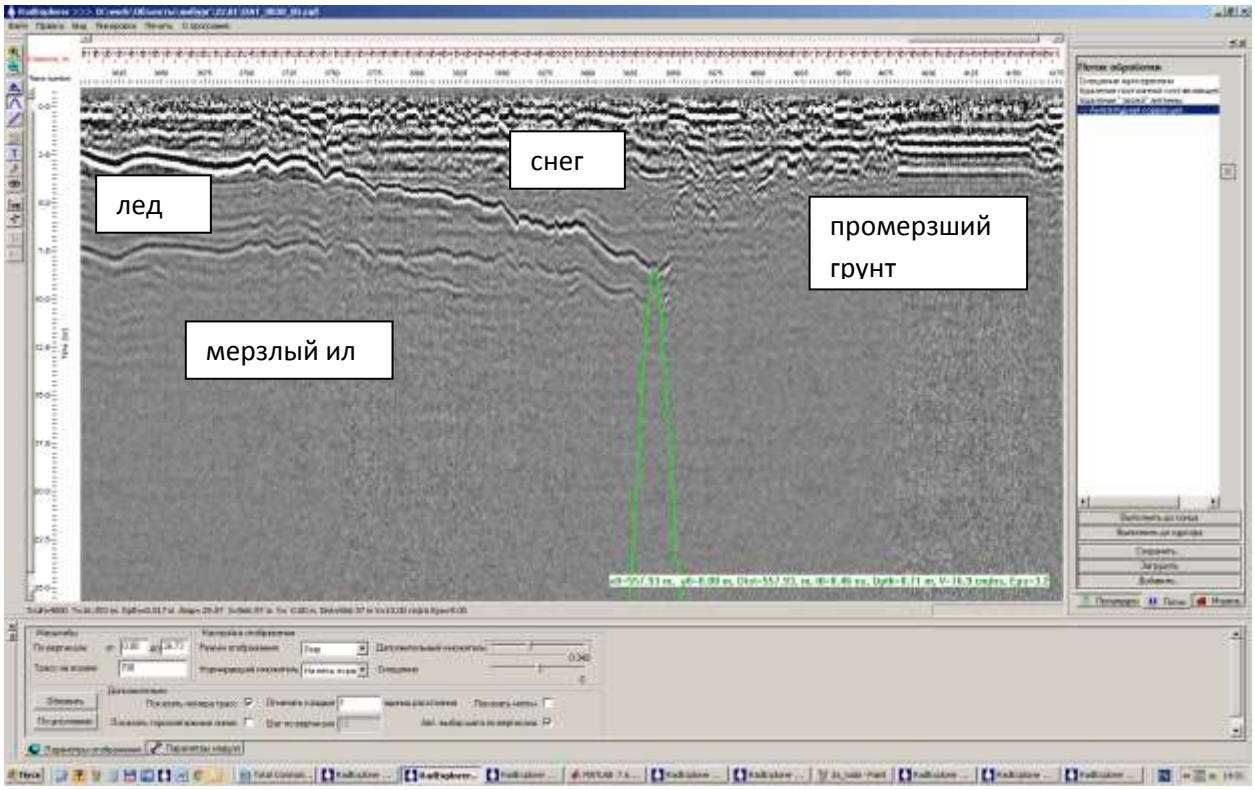
г) Георадар ProEx, АБ-1600. Тот же участок. Динамического диапазона антенного блока недостаточно для получения отражения от подошвы льда.



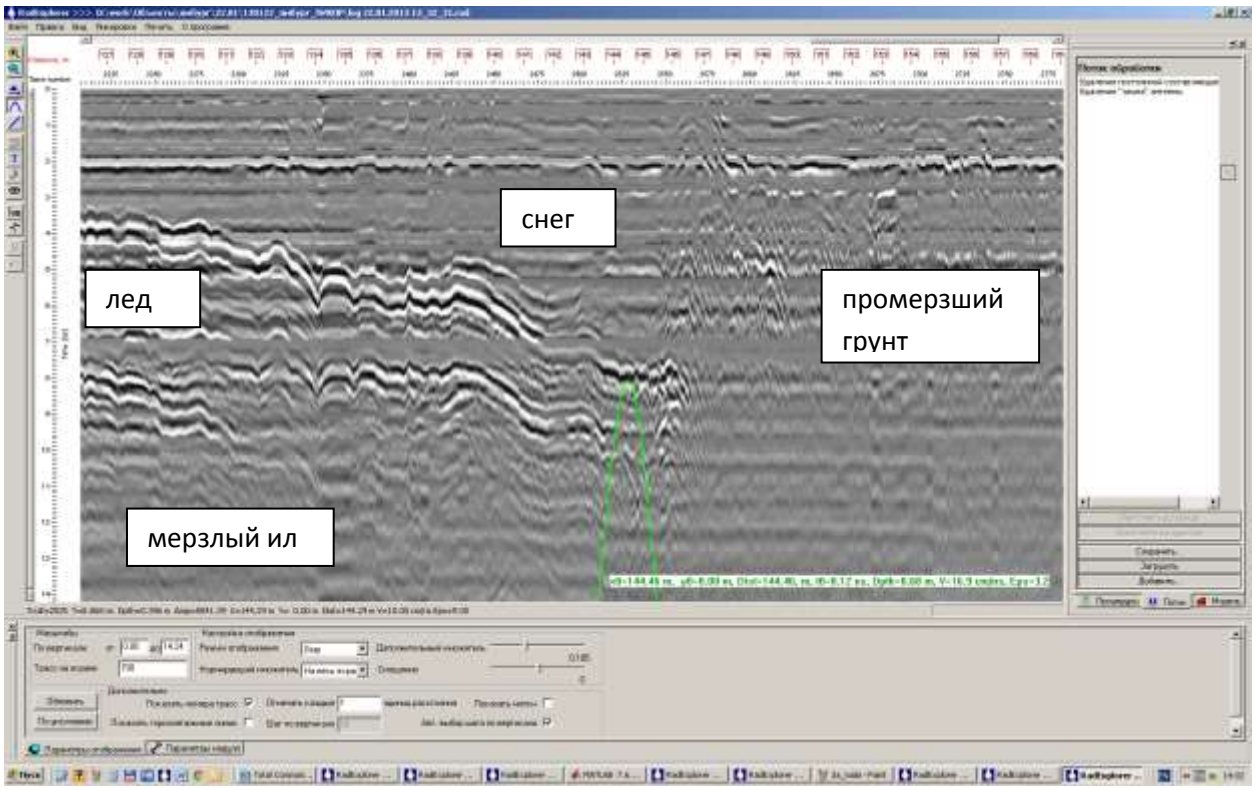
д) Прибор ПИКОР-Лед. Тот же участок. Более уверенное выделение отражения от подошвы льда.



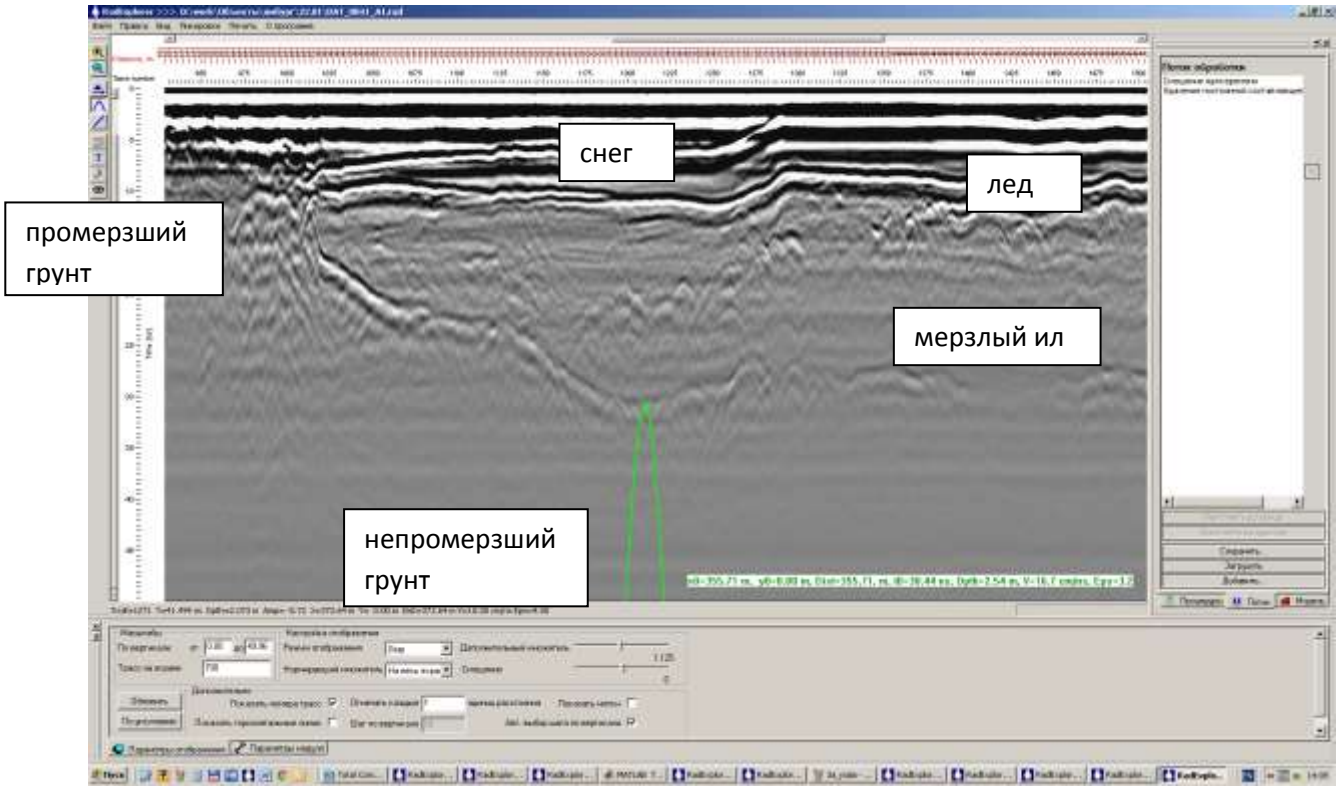
е) Георадар ProEx, АБ500. Пример записи выхода профиля с заболоченного озера на берег.



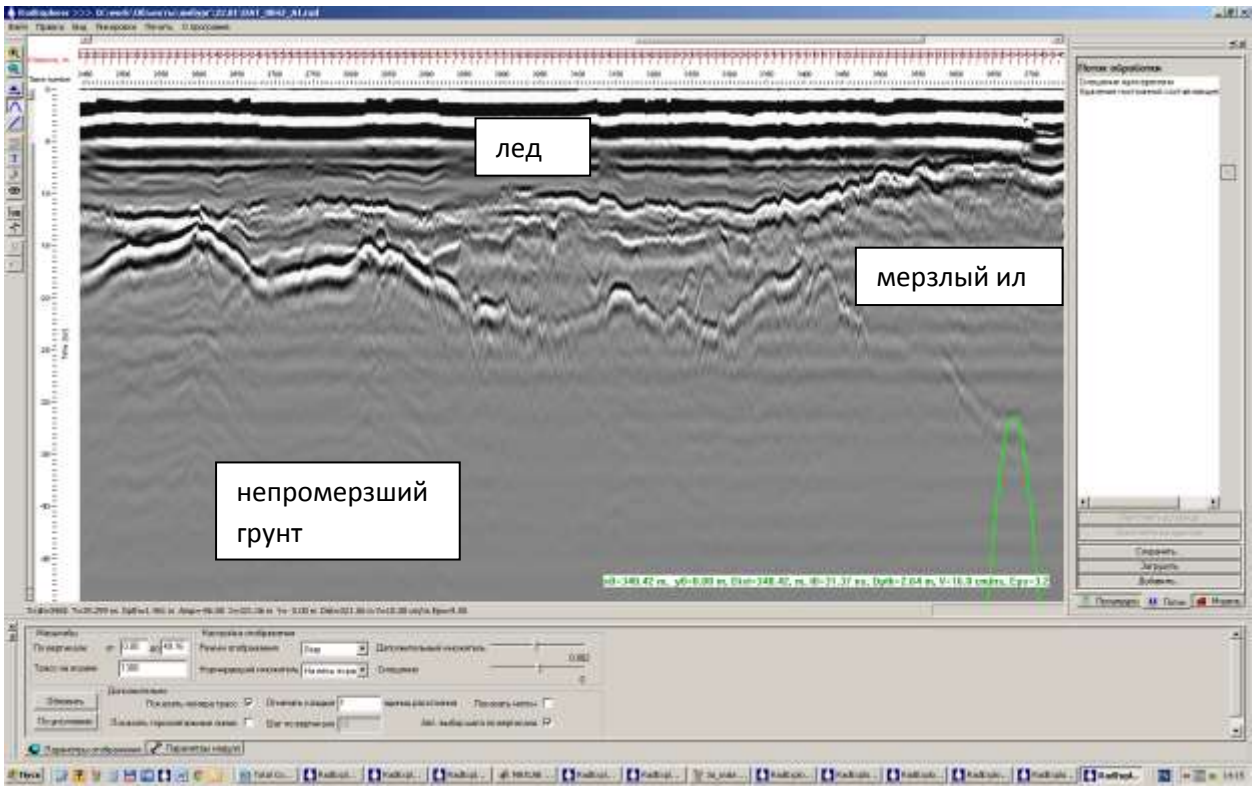
ж) Георадар ProEx, АБ1600. Тот же участок.



з) Прибор ПИКОР-Лед. Тот же участок

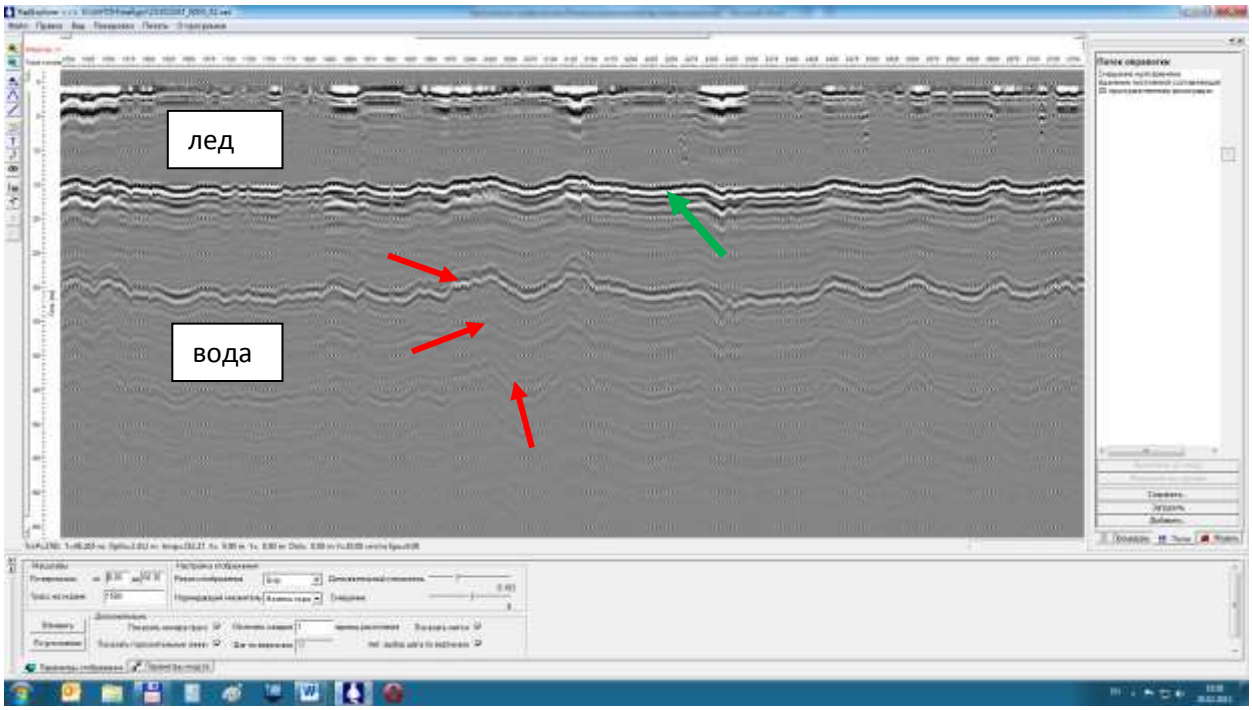


и) Георадар ProEx, АБ500. Пример записи выхода профиля с берега на заболоченное озеро.

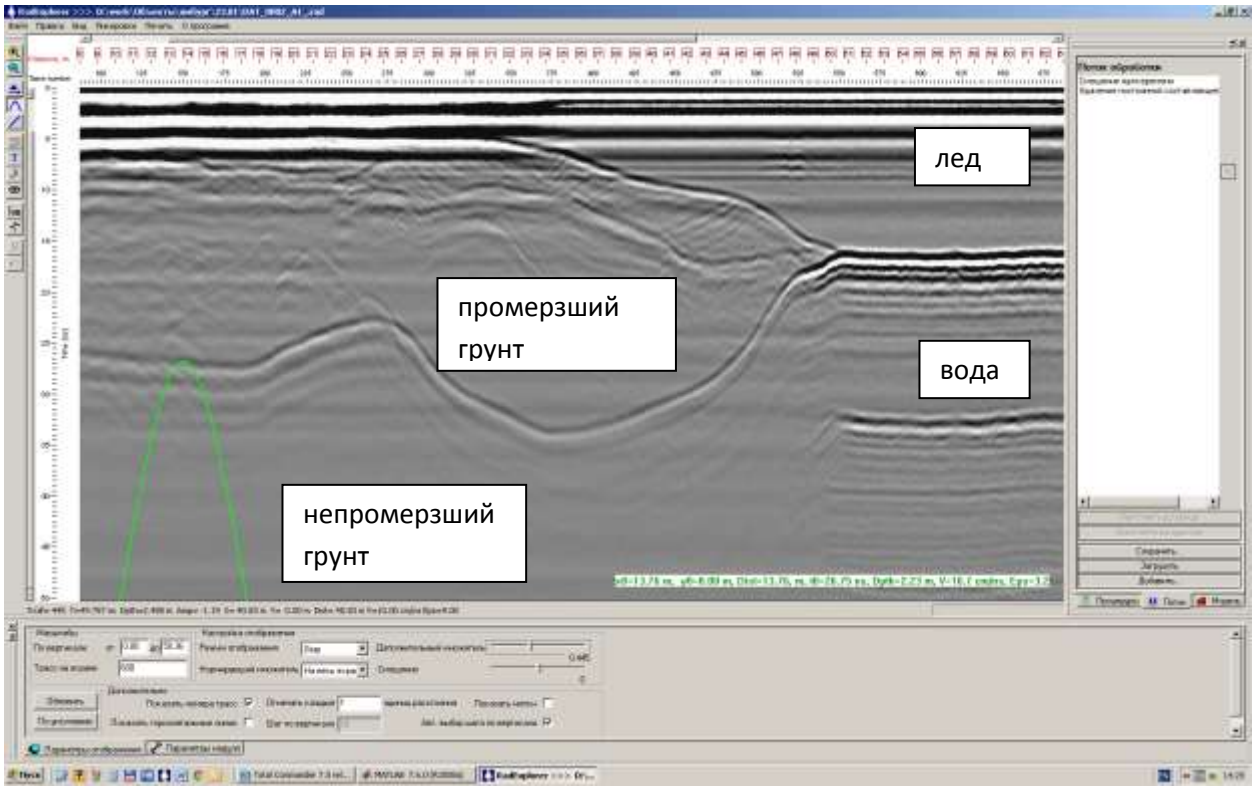


к) Георадар ProEx, АБ500. Пример записи на мелководном участке озера.

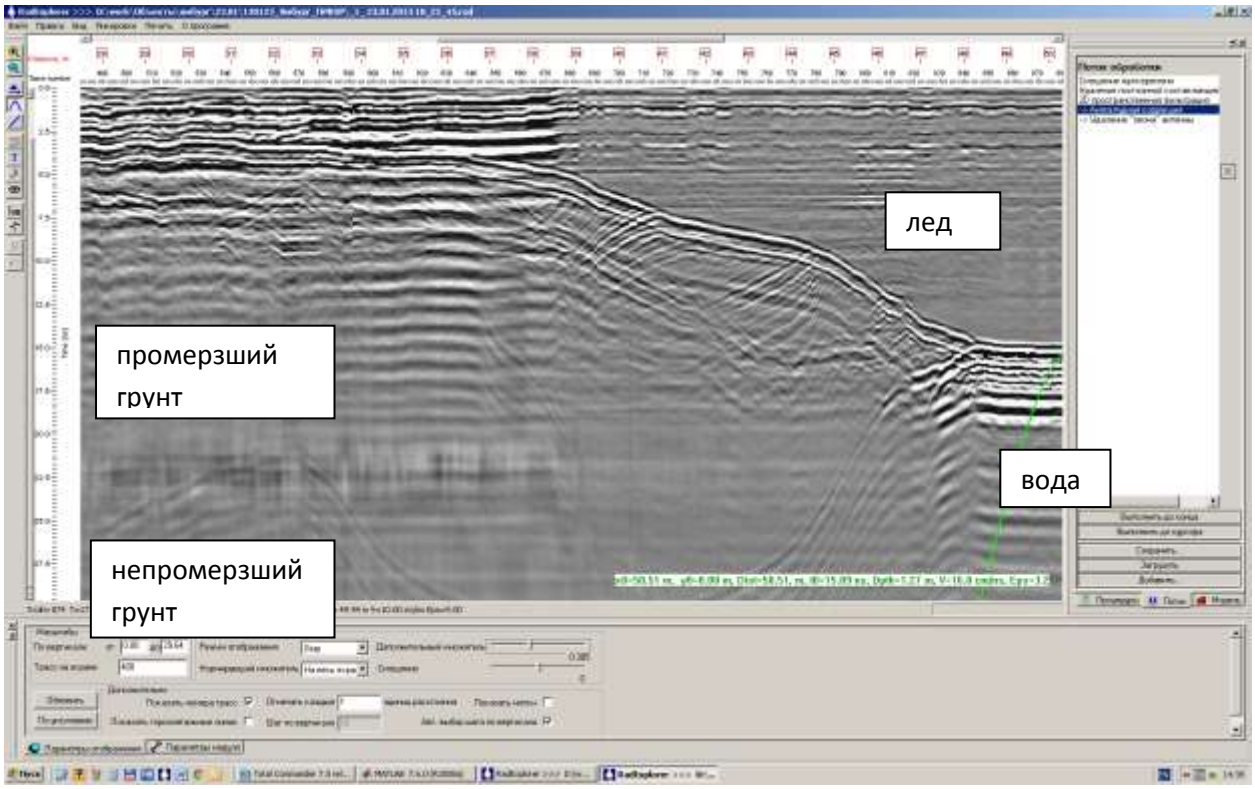
3) **Примеры записей радарограмм в типичных условиях – озера в районе базы партии. При температурных условиях января озера промерзают на глубину около 1м.**



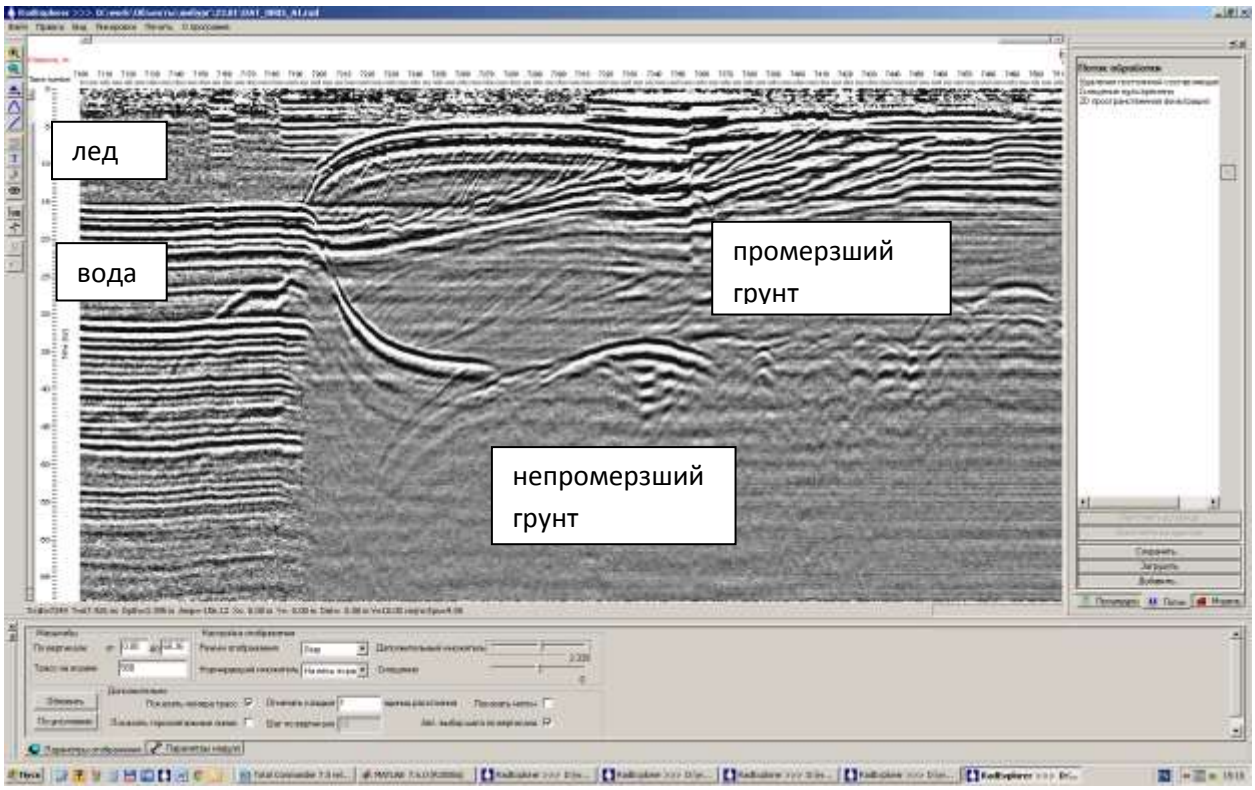
а) Георадар ProEx, АБ500. Типичная запись георадиолокационного профиля по замерзшему озеру. На радарограмме выделяется (зеленой стрелкой) отражение от подошвы льда и характерные кратные и неполнократные переотражения (красными стрелками).



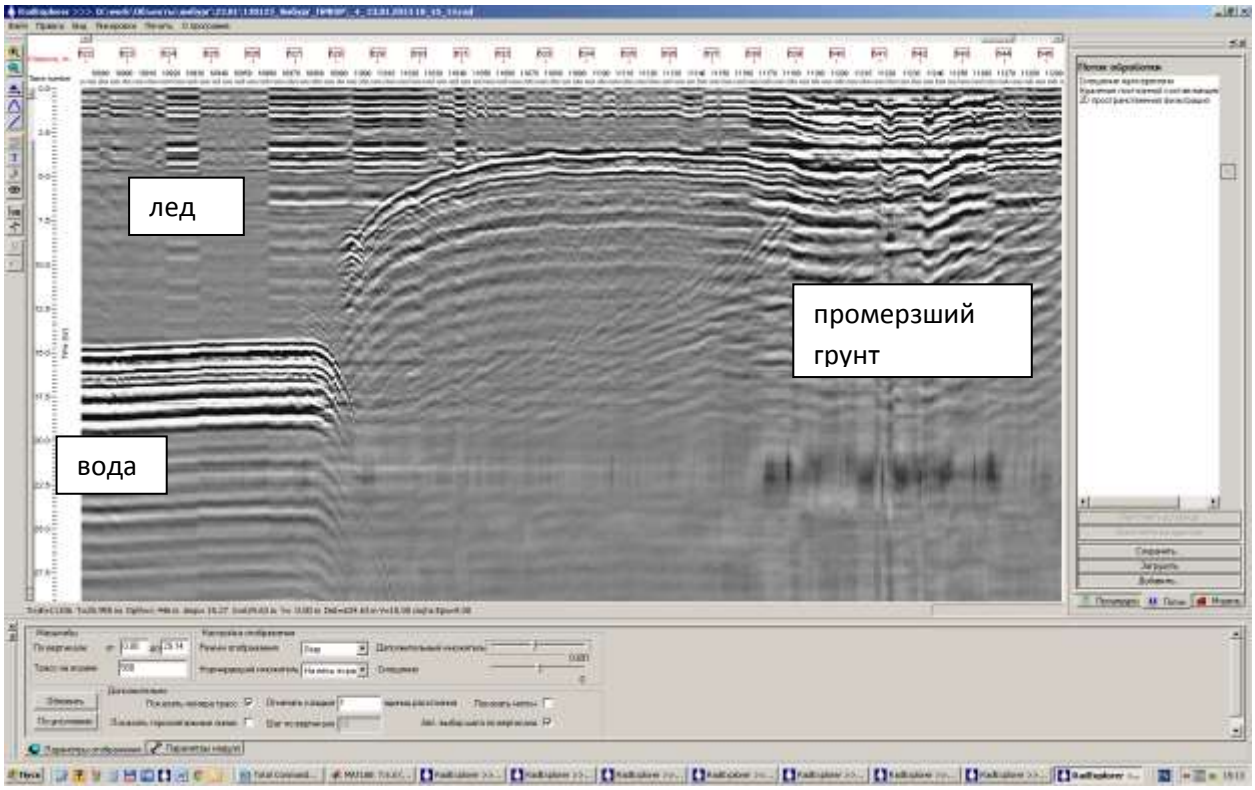
б) Георадар ProEx, АБ500. Запись выхода профиля с берега на лед замерзшего озера.



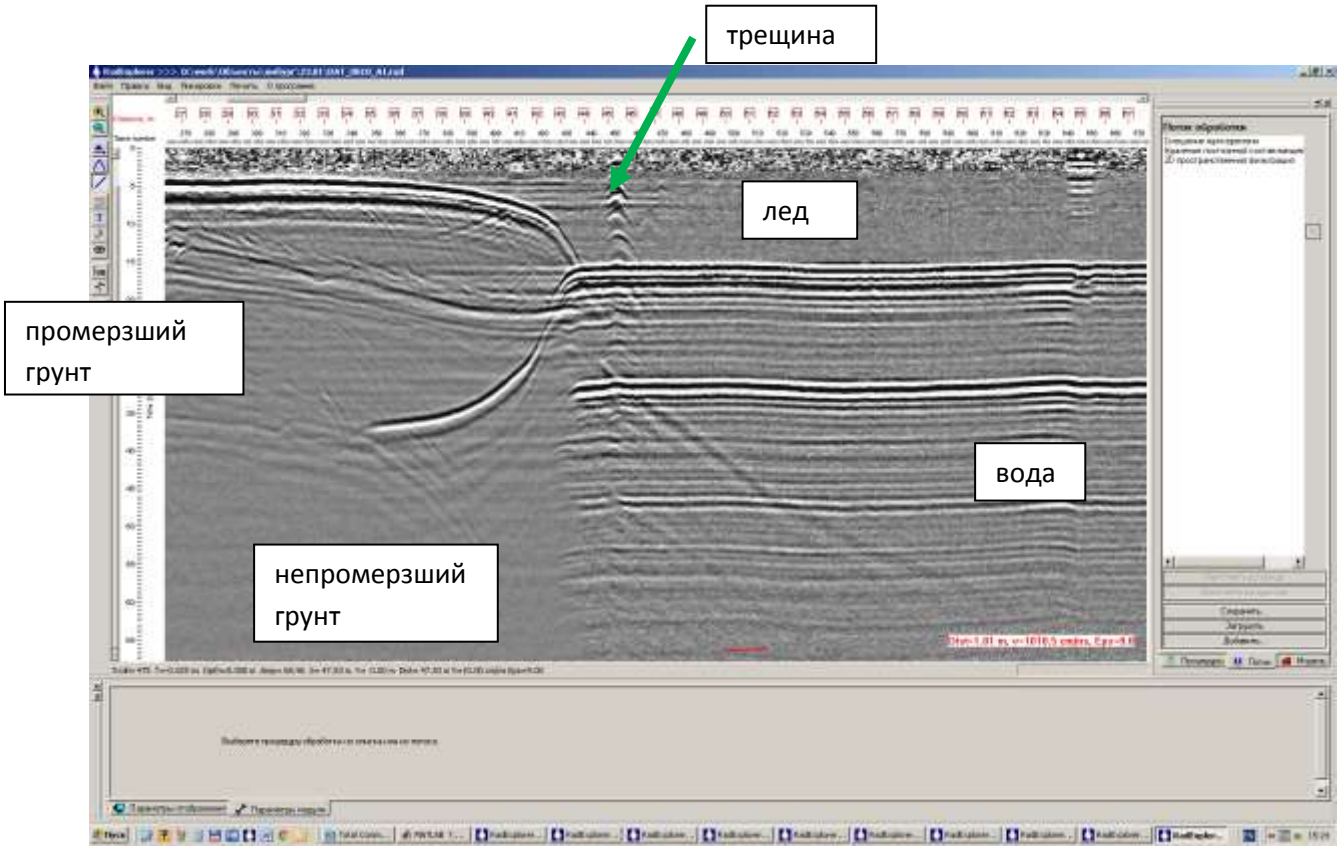
в) Прибор ПИКОР-Лед. Тот же участок.



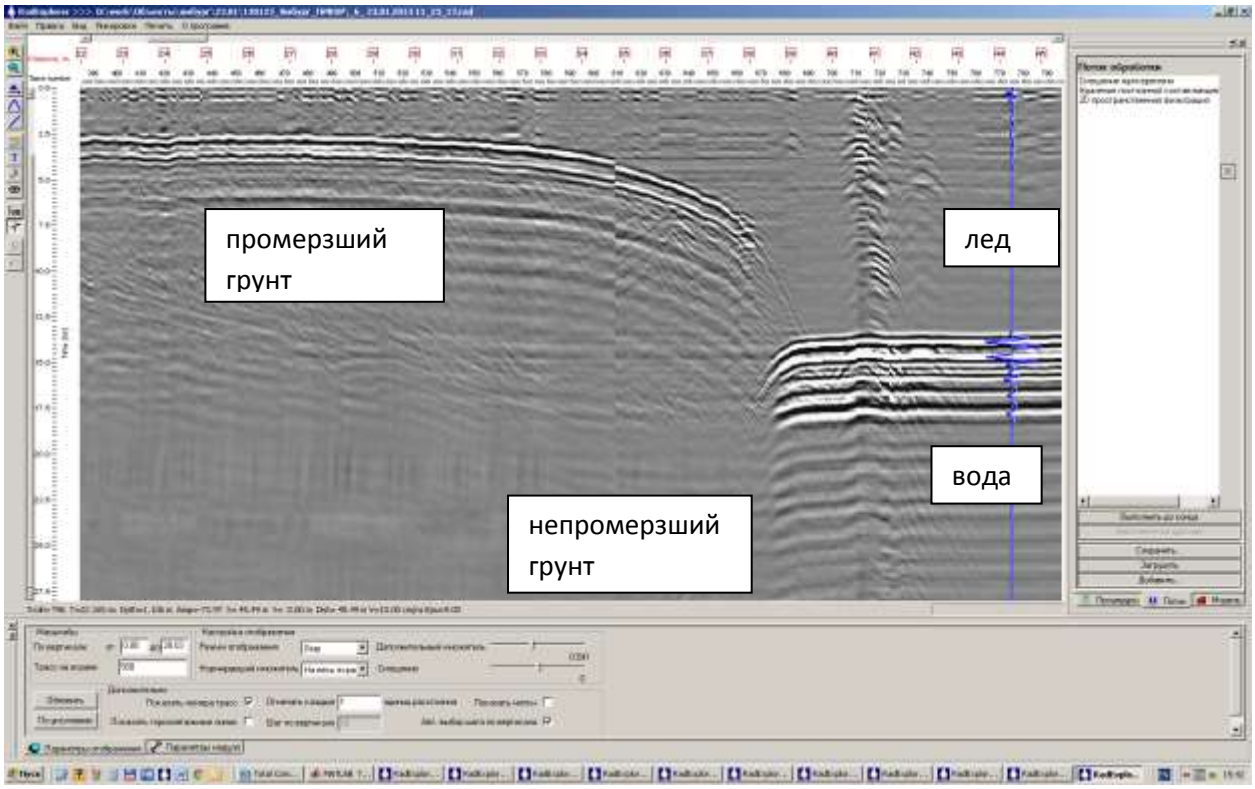
г) Георадар ProEx, АБ500. Запись выхода профиля со льда замерзшего озера на берег.



д) Прибор ПИКОР-Лед. Тот же участок.

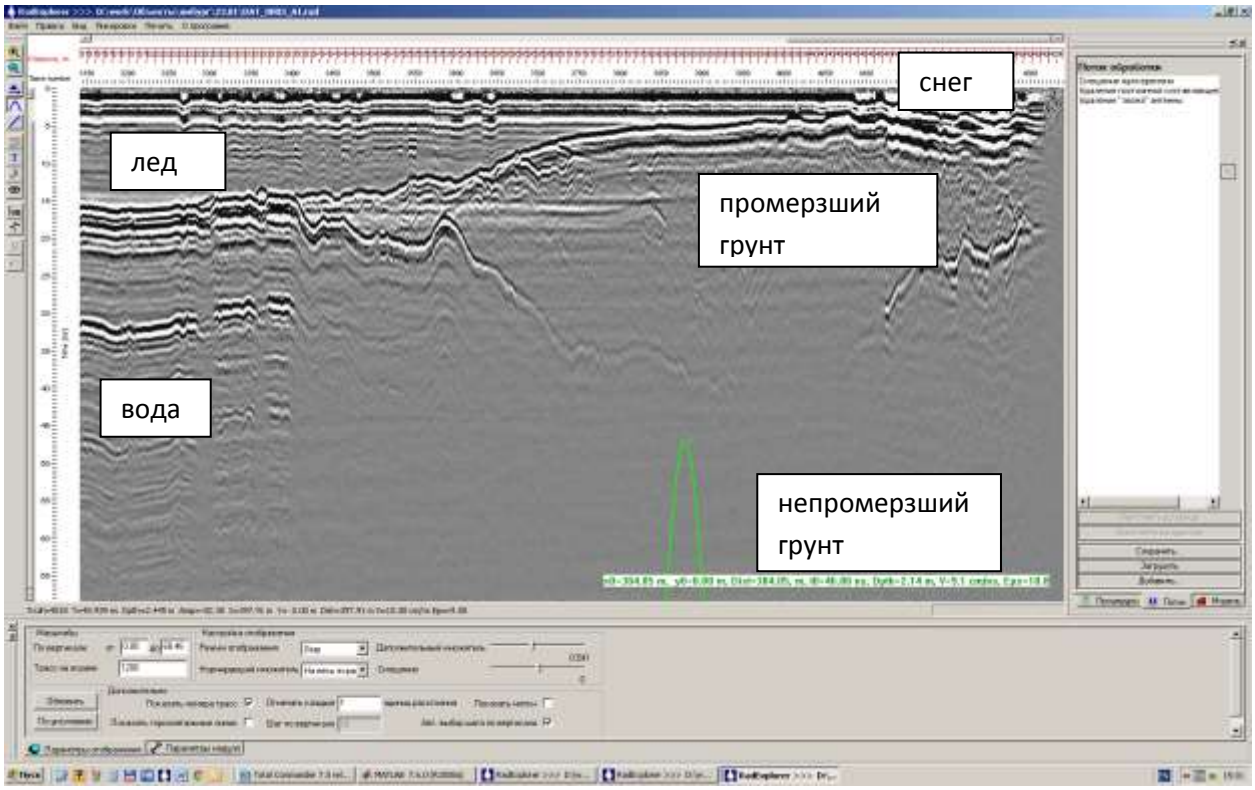


е) Георадар ProEx, АБ500. Запись выхода профиля с берега на лед замерзшего озера. Хорошо выделяется вертикальная трещина отрыва льда у берега. Потенциально опасный участок.

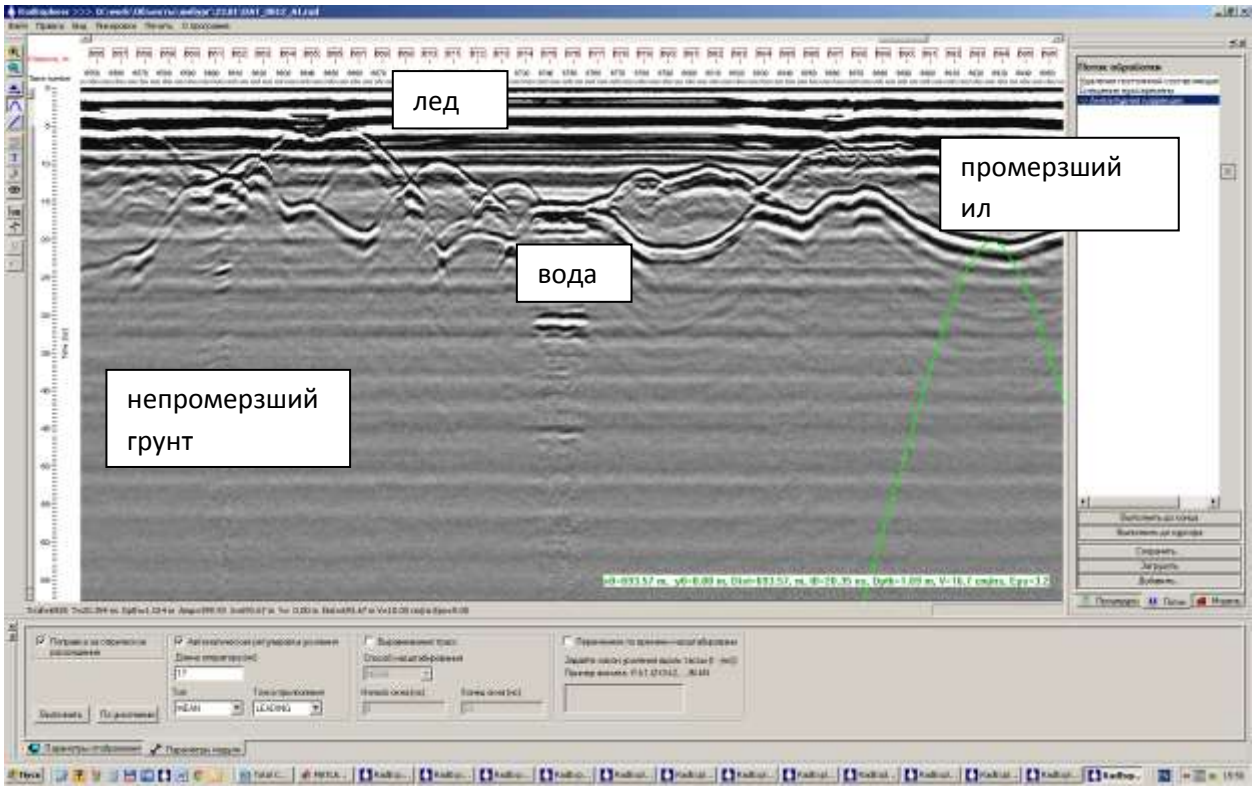


ж) Прибор ПИКОР-Лед. Тот же участок.

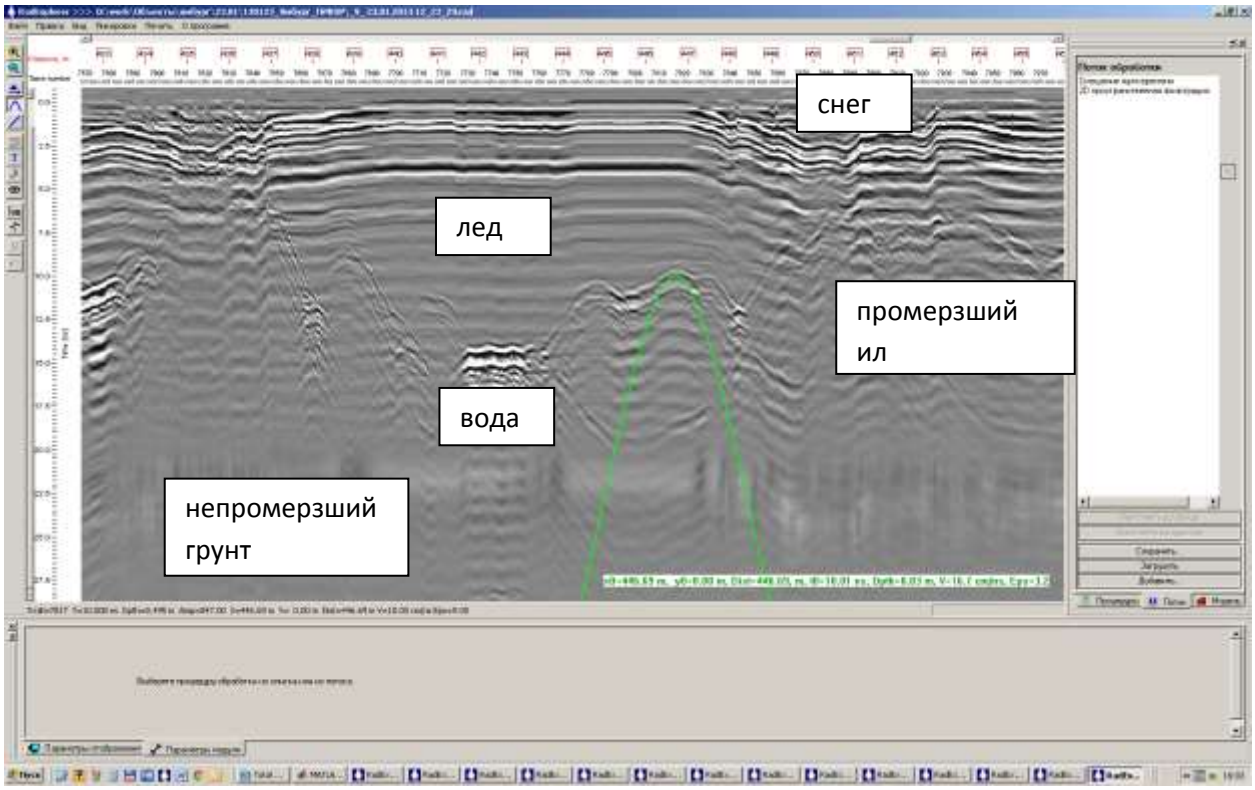
4) **Примеры записей радарограмм в типичных условиях – болота вокруг озер в районе базы партии. При температурных условиях января болота промерзают на глубину около до 2.5м.**



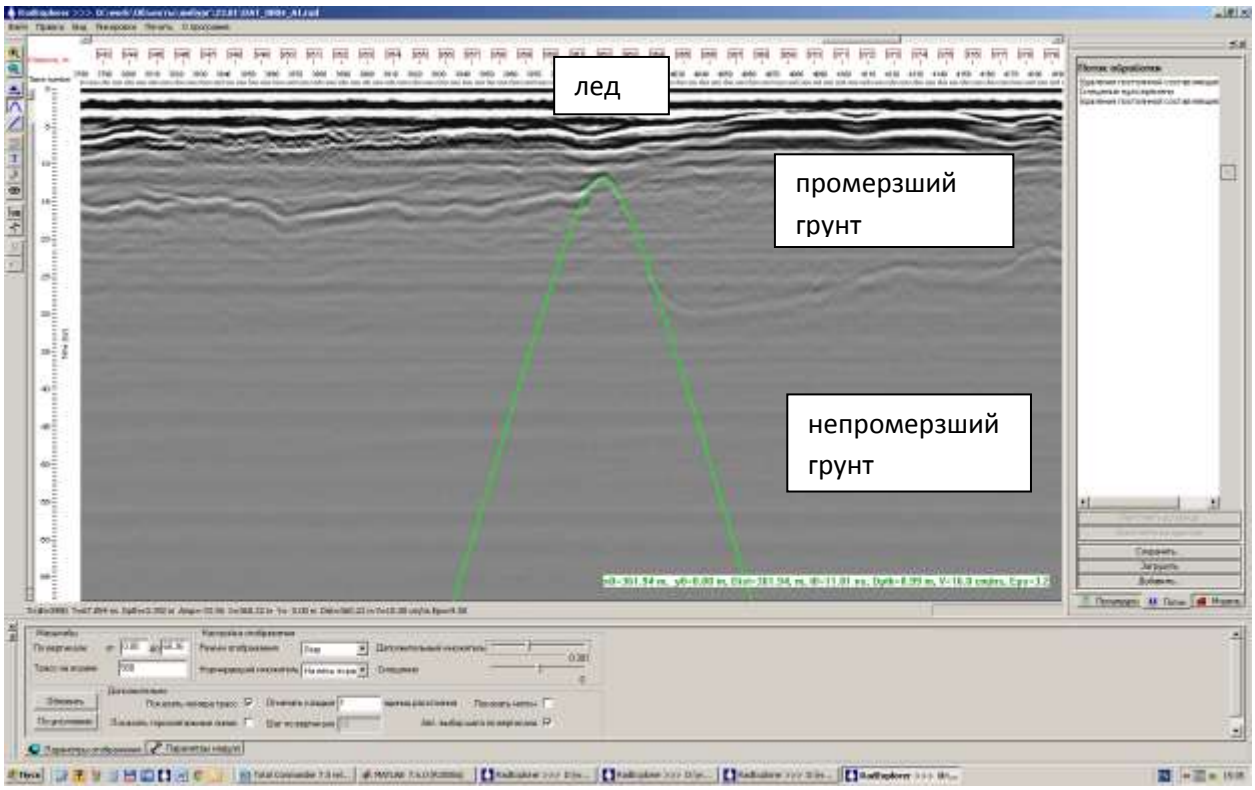
а) Георадар ProEx, АБ500. Запись выхода профиля со льда замерзшего озера на берег. Хорошо виден участок высокого уровня затухания отражения от нижней границы.



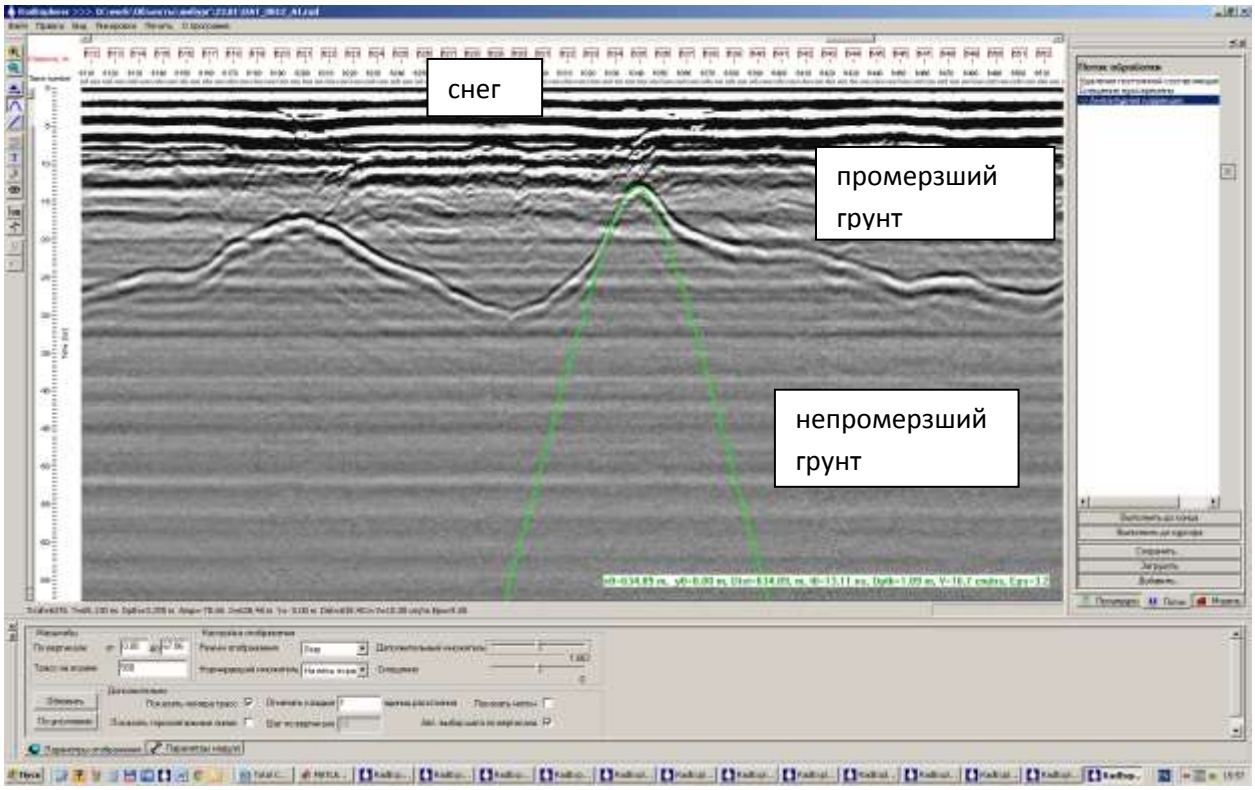
б) Георадар ProEx, АБ500. Потенциально опасное место. Строение однозначно определить не удается.



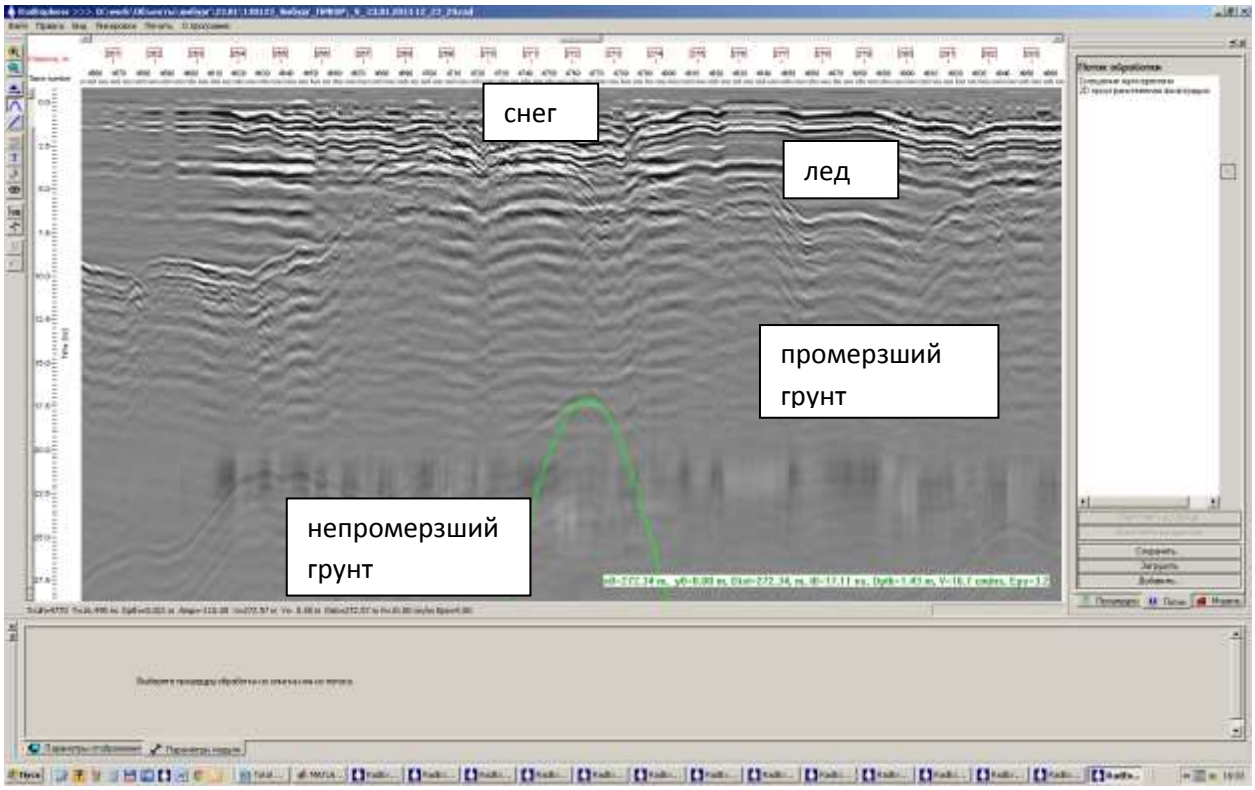
в) Прибор ПИКОР-Лед. Тот же участок.



г) Георадар ProEx, АБ500. Потенциально опасный участок.

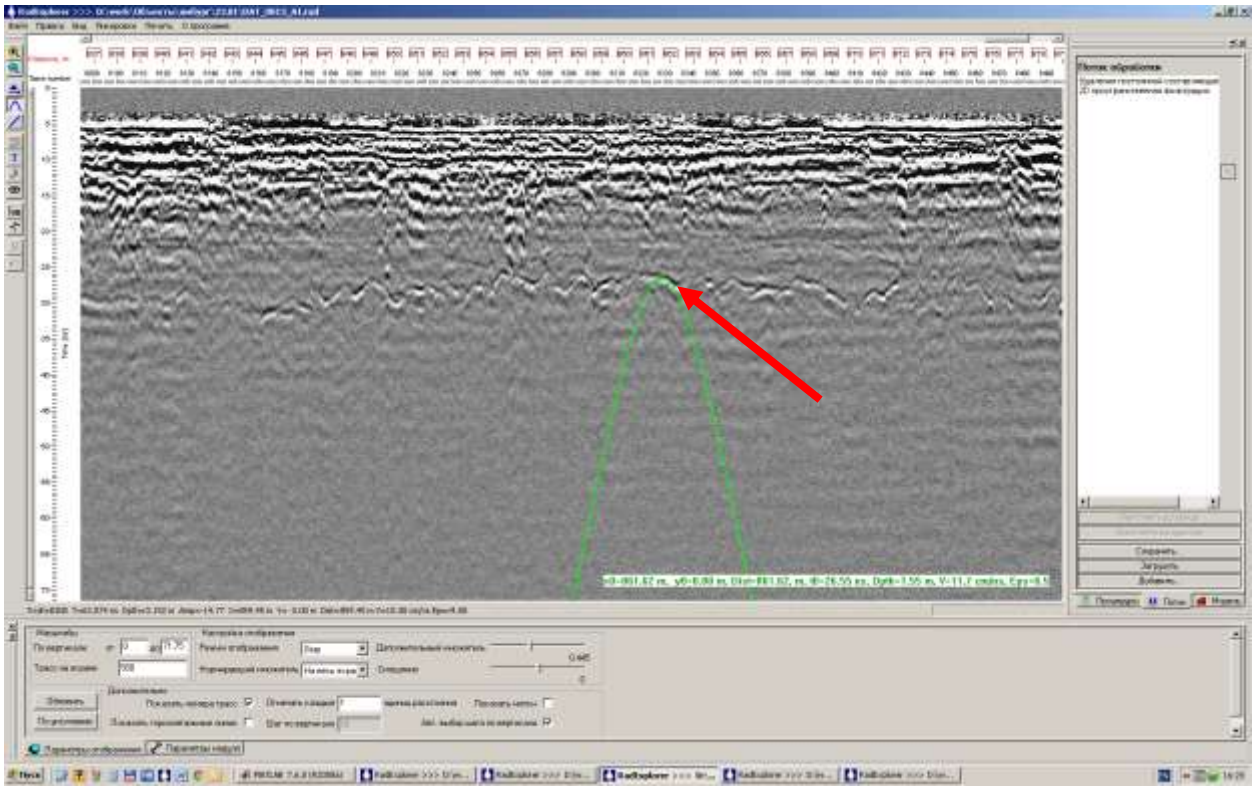


д) Георадар ProEx, АБ500. Потенциально опасный участок.

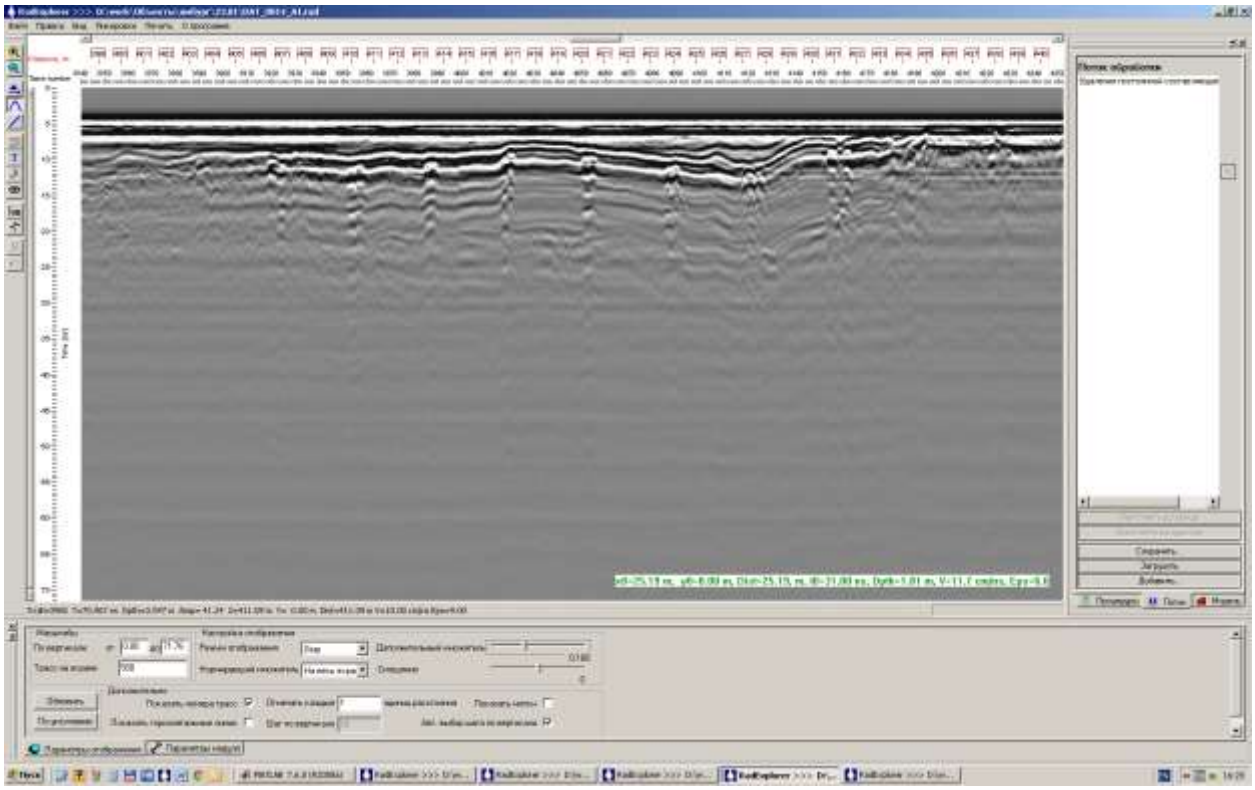


е) Прибор ПИКОР-Лед. Тот же участок

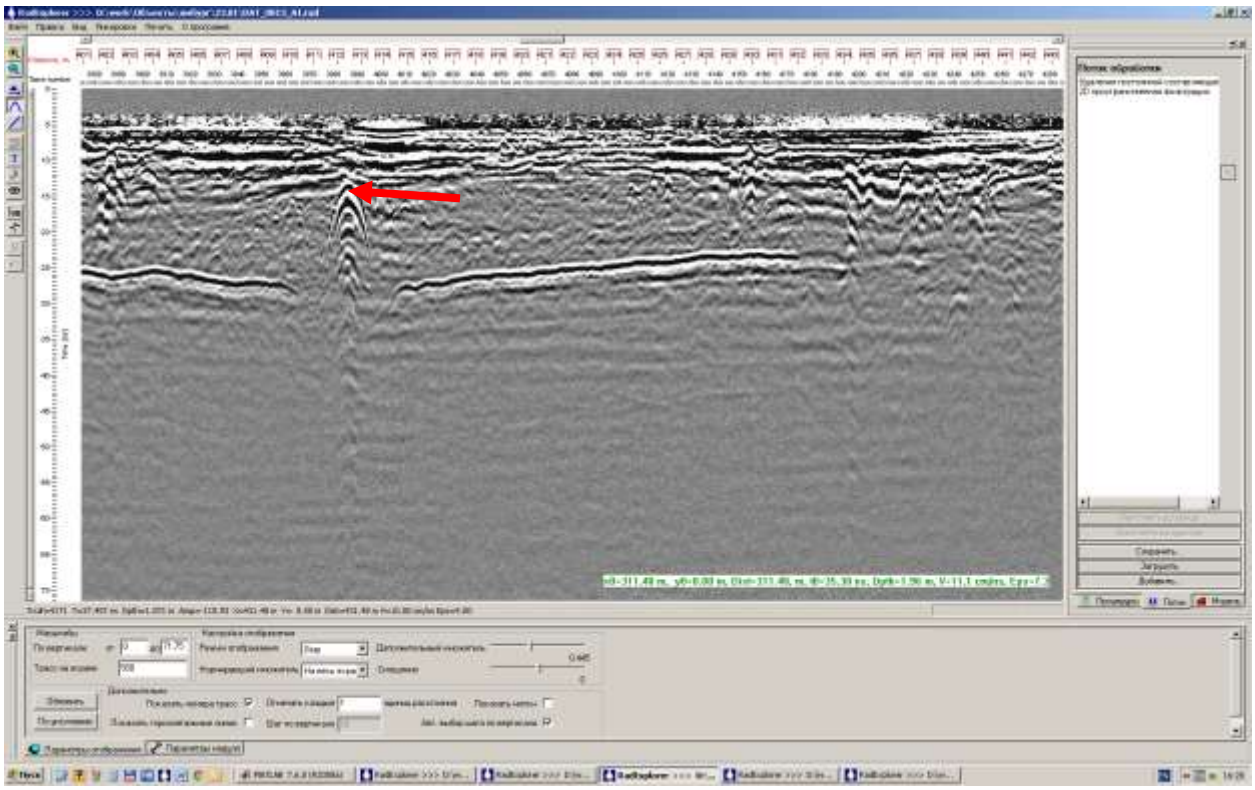
5) Примеры записей радарограмм по дорогам и над локальными объектами



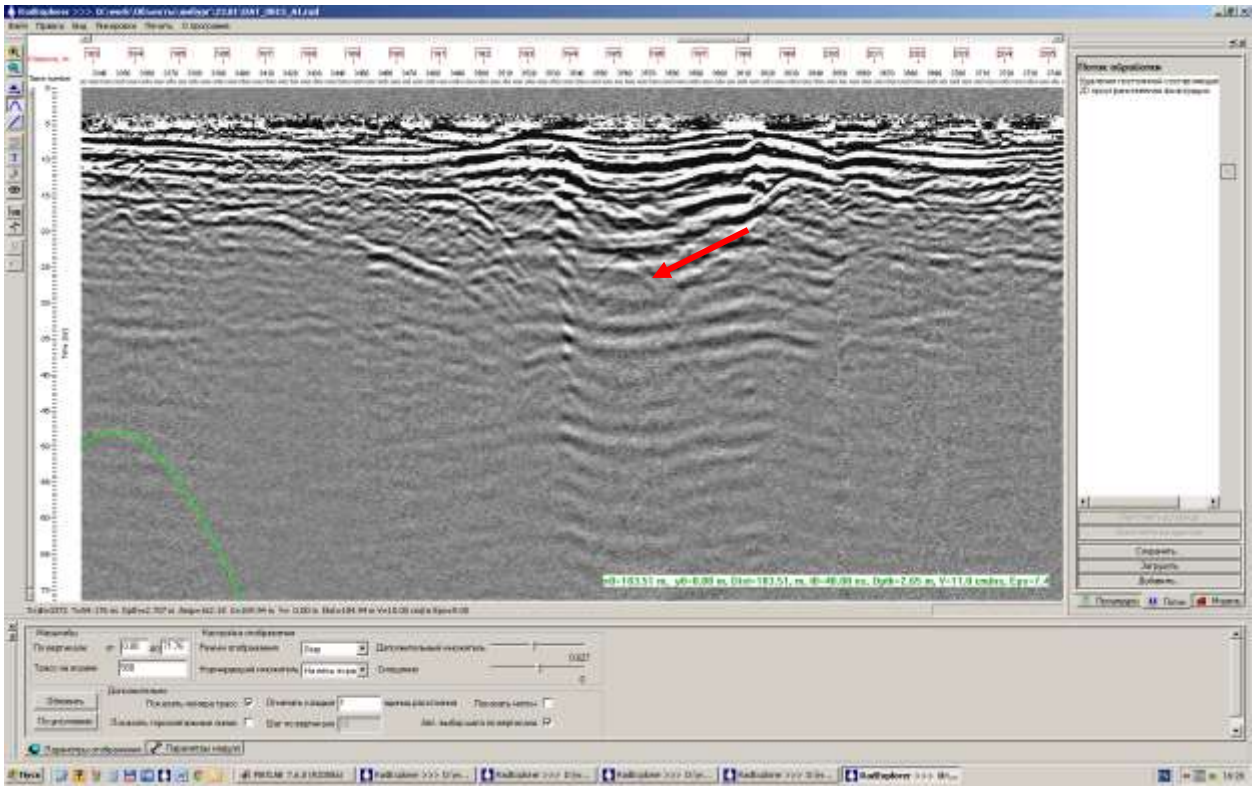
а) Георадар ProEx, АБ500. Радарограмма по грунтовой дороге. Граница в насыпных грунтах на глубине 1,6м - отмечено красной стрелкой- возможно основание насыпных грунтов.



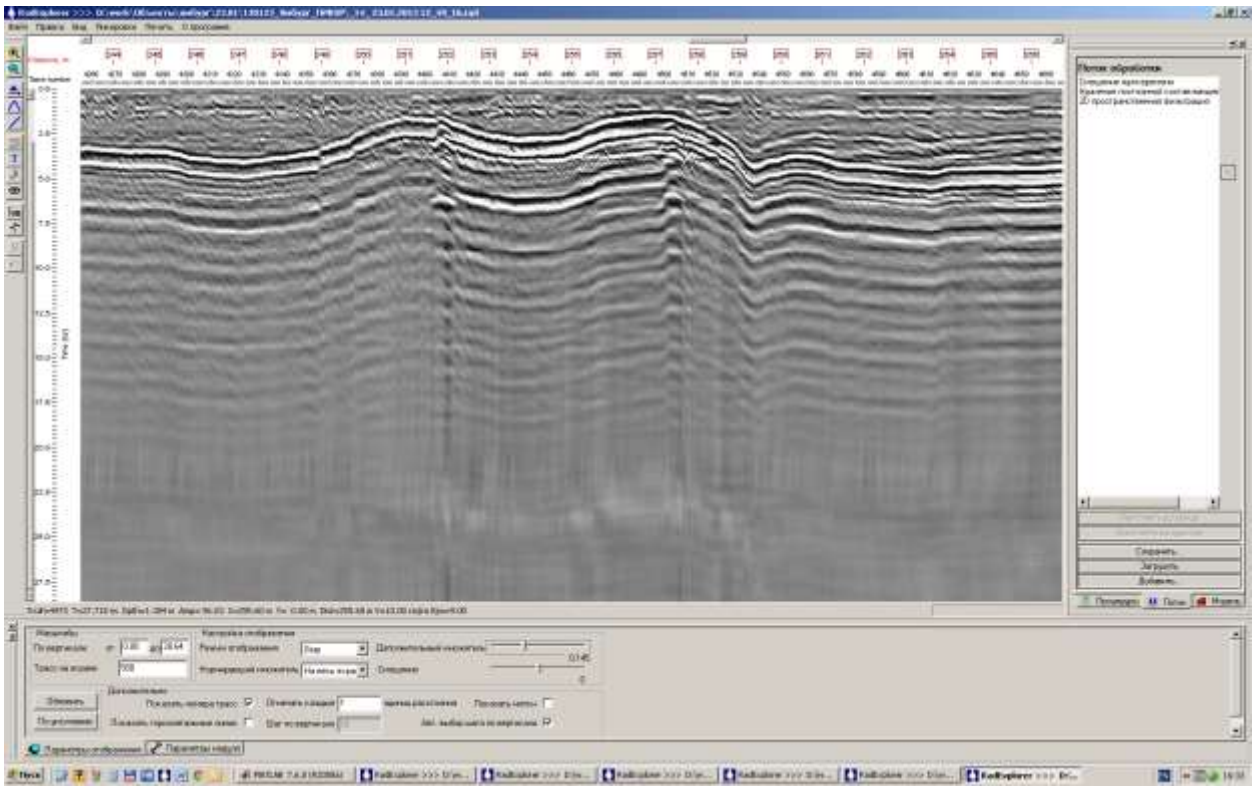
б) Георадар ProEx, АБ500. Радарограмма по грунтовой дороге. Под снегом выделяются дорожные плиты (отражения от стыков плит).



в) Георадар ProEx, АБ500. Радарограмма по грунтовой дороге. Локальный объект в теле насыпной части (указан красной стрелкой).

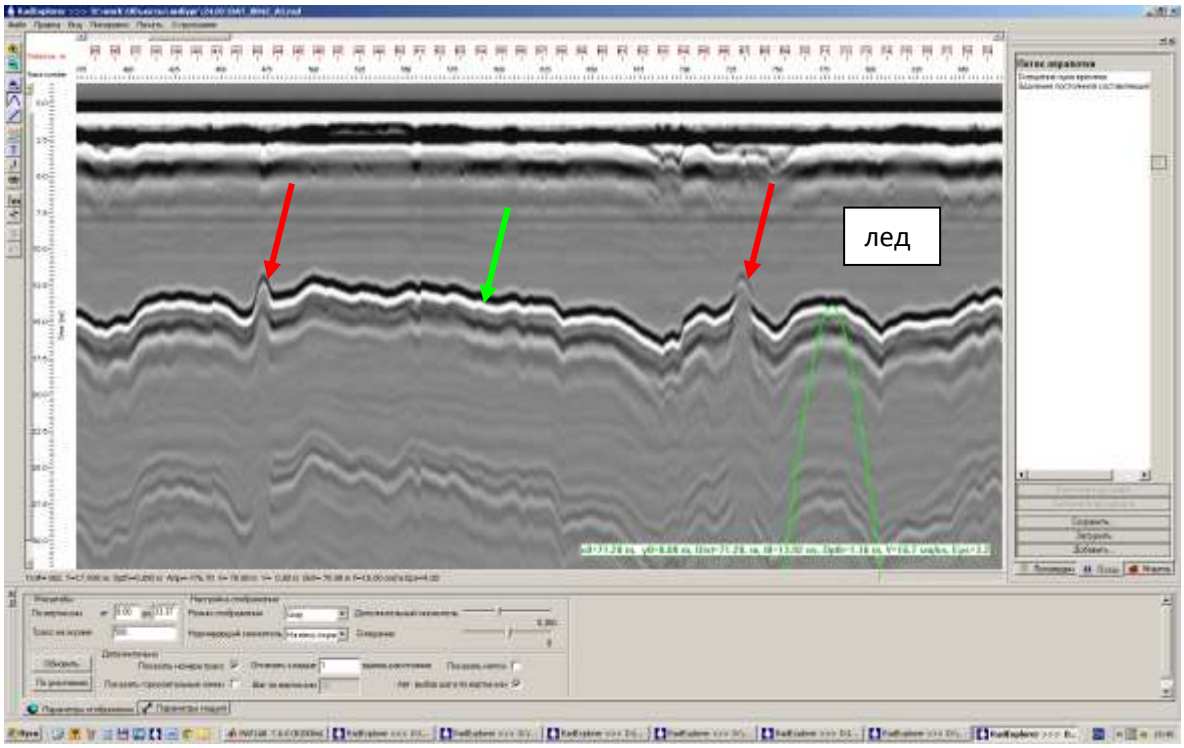


г) Георадар ProEx, АБ500. Радарограмма по насыпи через газопровод. Ветка газопровода выделяется в виде характерной гиперболической фазы (указана красной стрелкой).

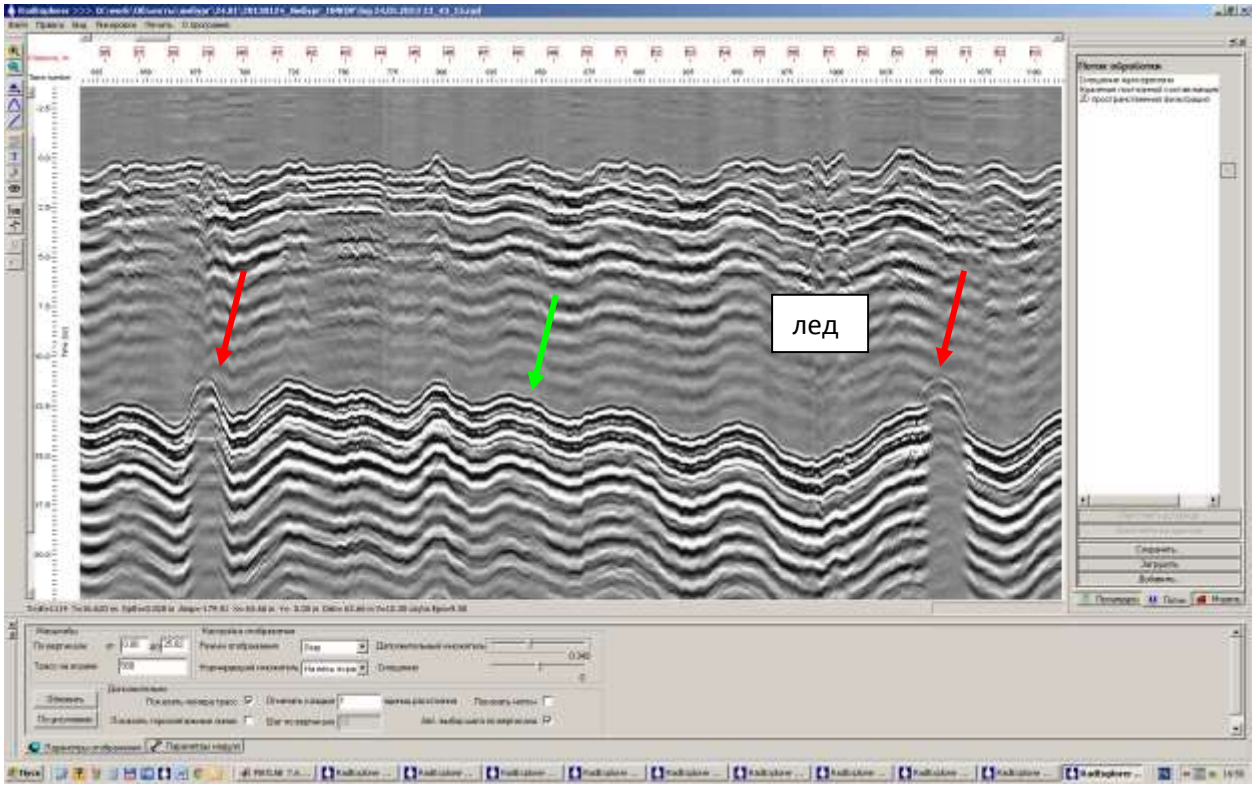


д) Прибор ПИКОР-Лед. Тот же участок. Высокий уровень затухания сигнала на высоких частотах не позволяет определить наличие и глубину газопровода.

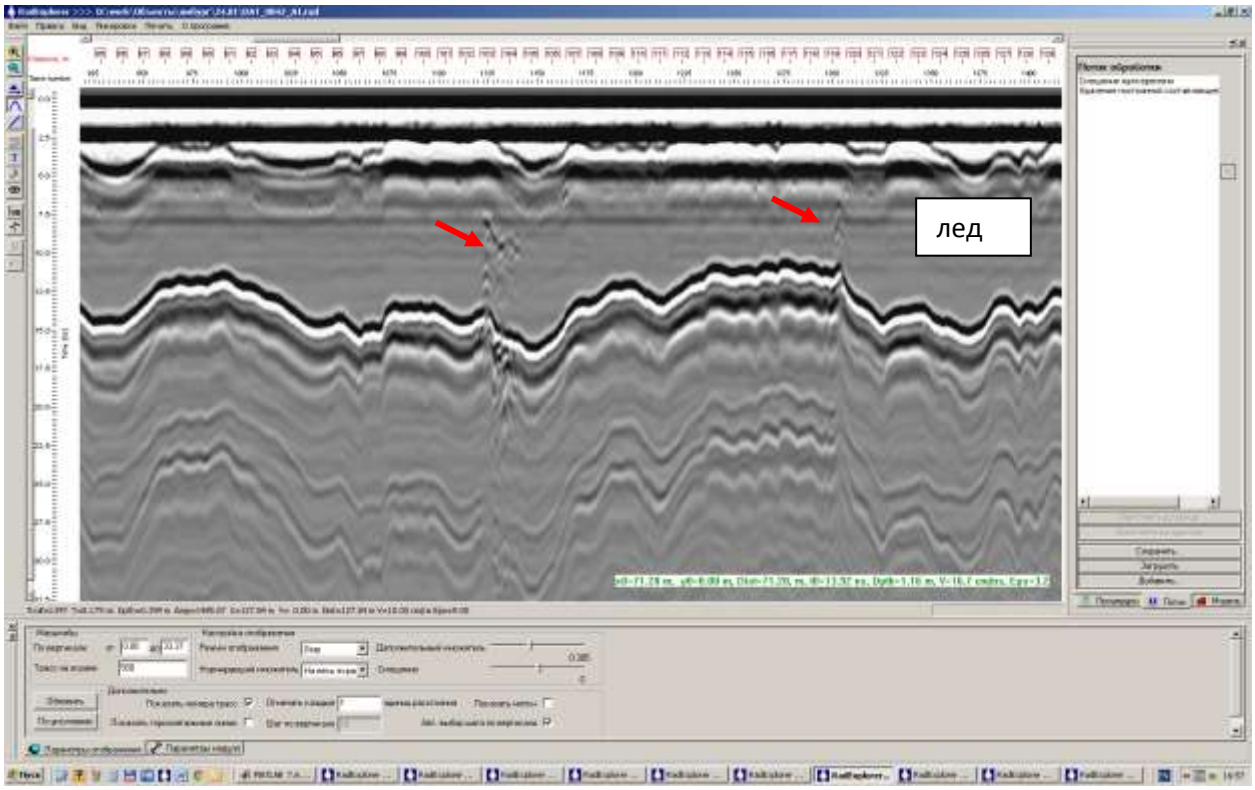
6) Примеры записей радарограмм по льду на реке Обь



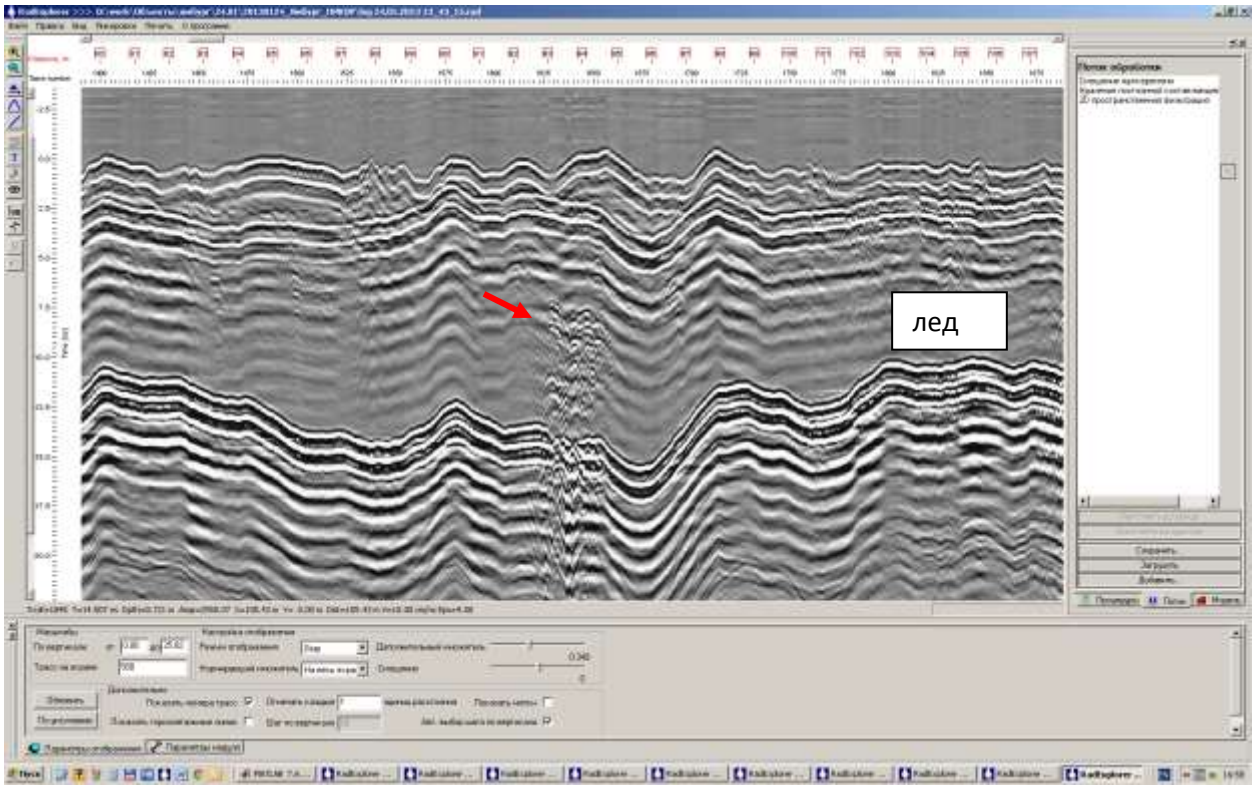
а) Георадар ProEx, АБ500. Радарограмма по льду р. Обь. Зеленой стрелкой указана нижняя граница льда. Красными стрелками – трещины во льду.



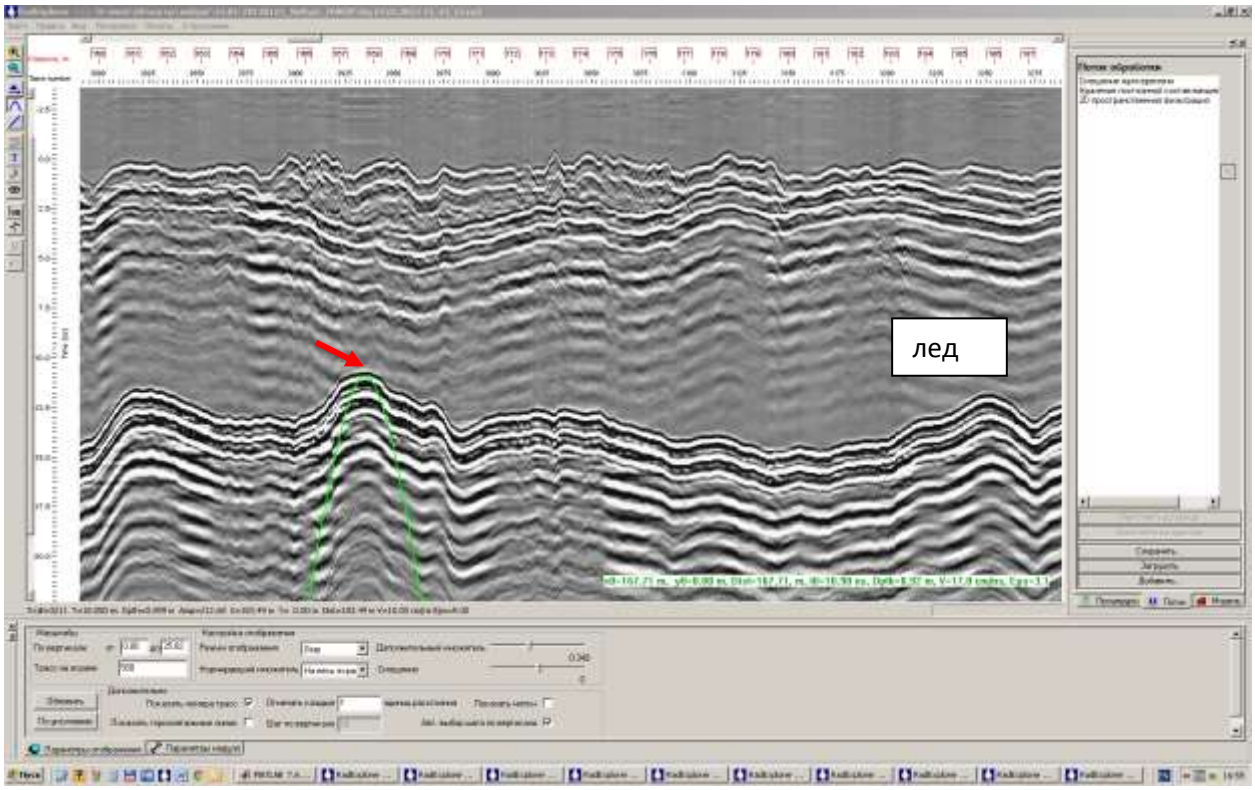
б) Прибор ПИКОР-Лед. Тот же участок. Зеленой стрелкой указана нижняя граница льда. Красными стрелками – трещины во льду.



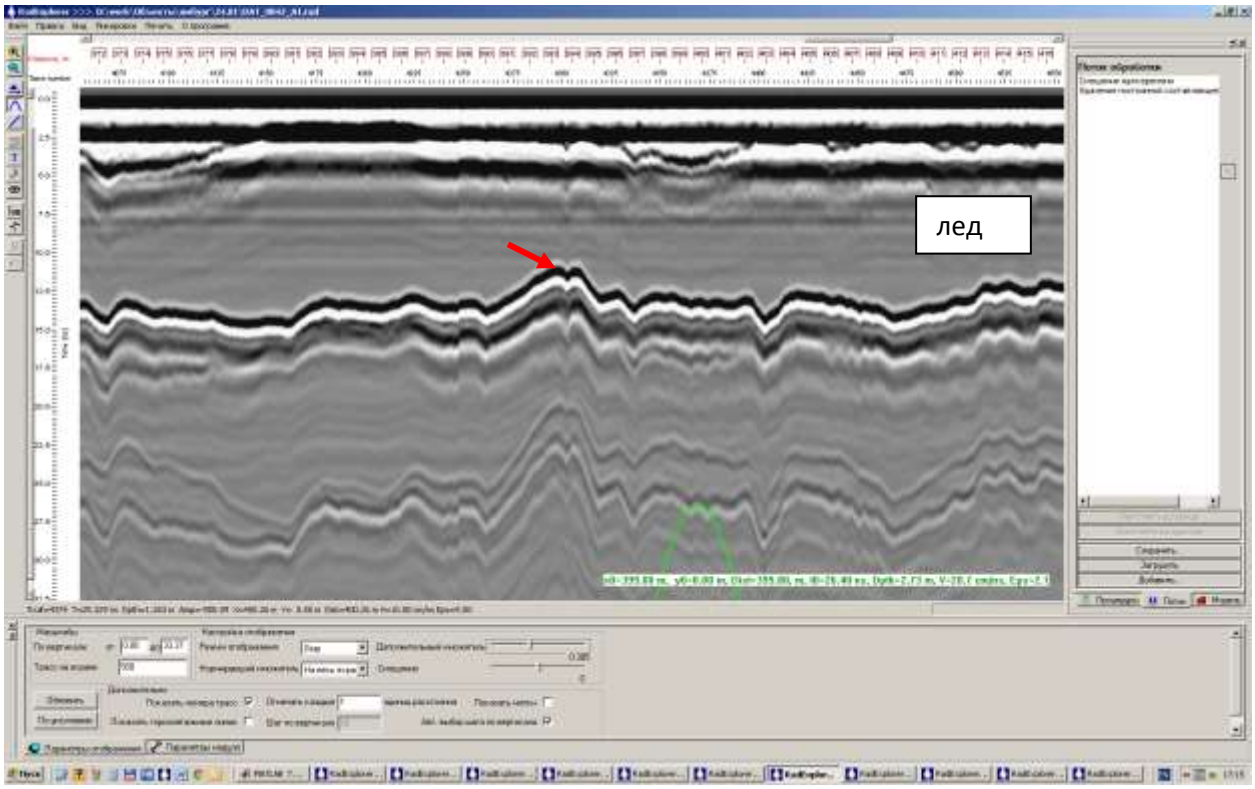
в) Георадар ProEx, АБ500. Радарограмма по льду р. Обь. Красными стрелками показаны внутренние трещины во льду



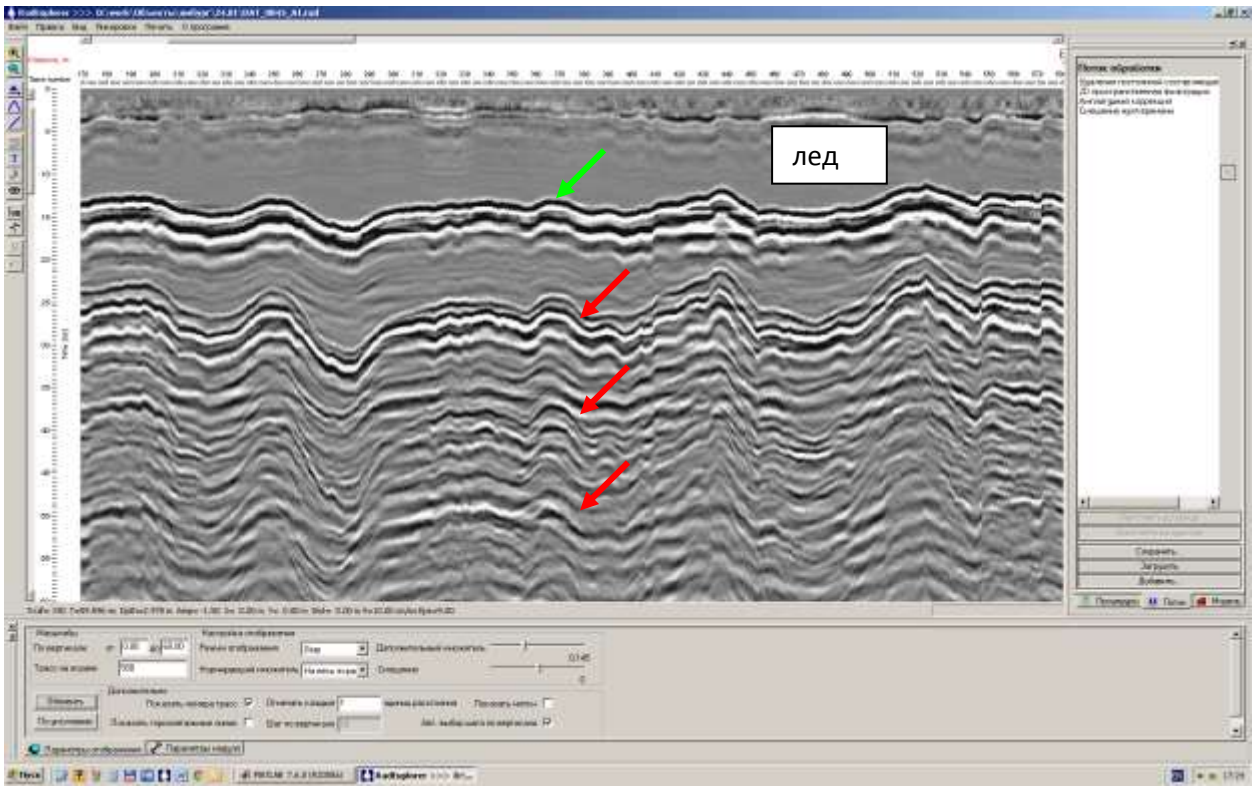
г) Прибор ПИКОР-Лед. Тот же участок. Красной стрелкой показана внутренняя трещина во льду



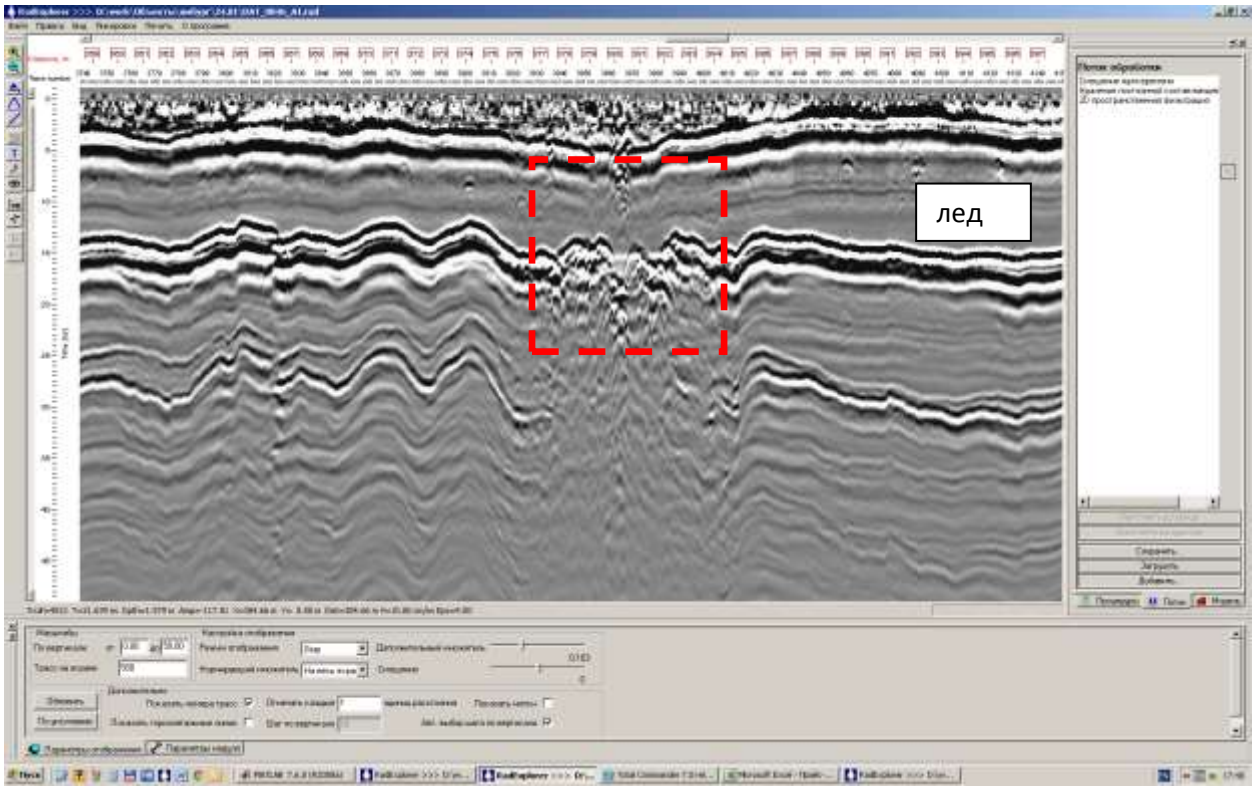
д) Прибор ПИКОР-Лед. Радарограмма по льду р. Обь. Красной стрелкой показано уменьшение толщины льда. Потенциально опасное место.



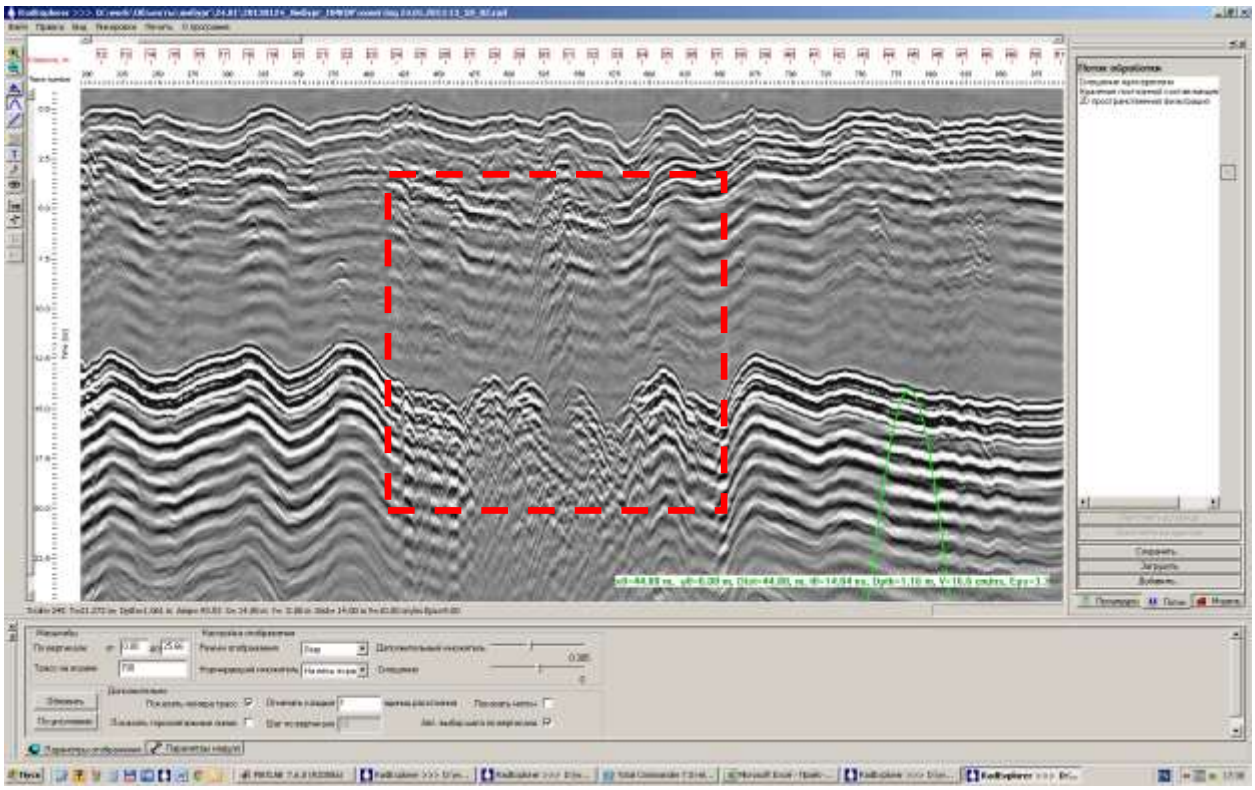
е) Георадар ProEx, АБ500. Радарограмма по льду р. Обь. Красной стрелкой показано уменьшение толщины льда. Потенциально опасное место.



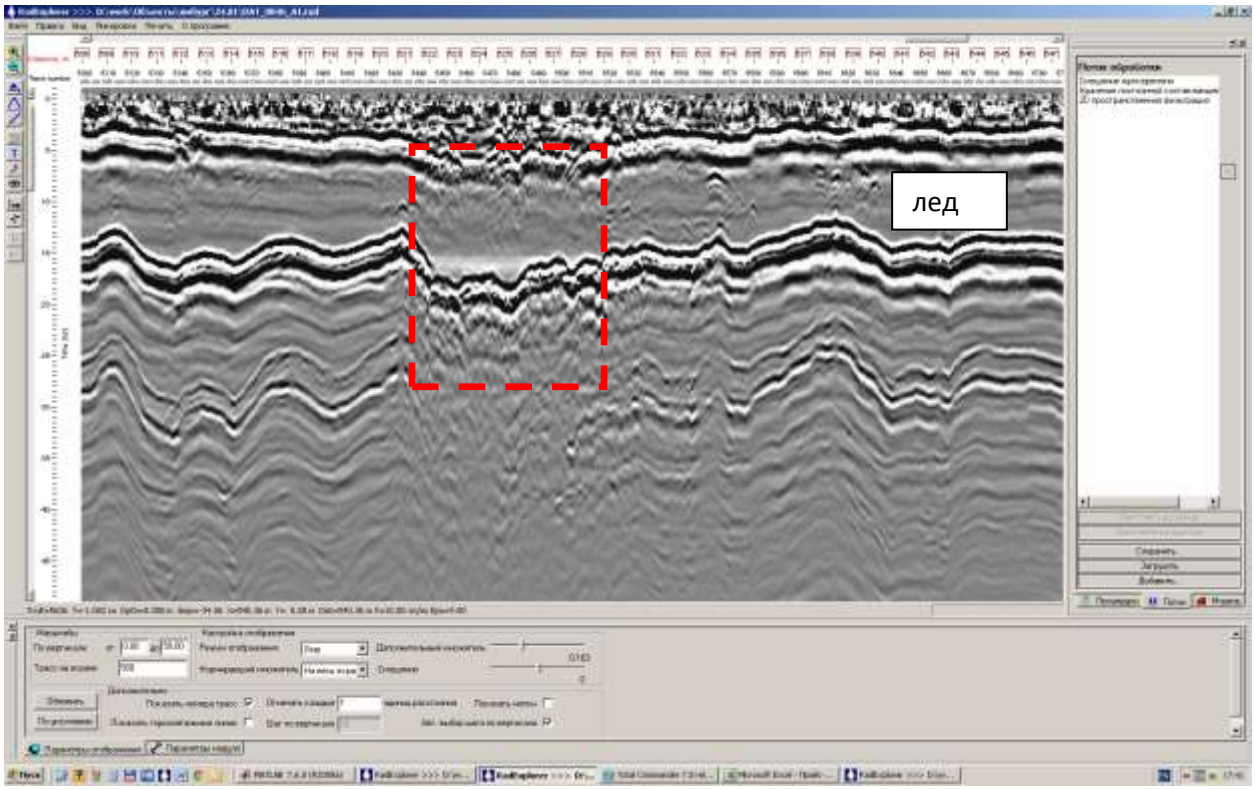
ж) Георадар ProEx, АБ500. Радарограмма по льду р. Обь. Зеленой стрелкой указано отражение от низа льда, красными – кратные отражения.



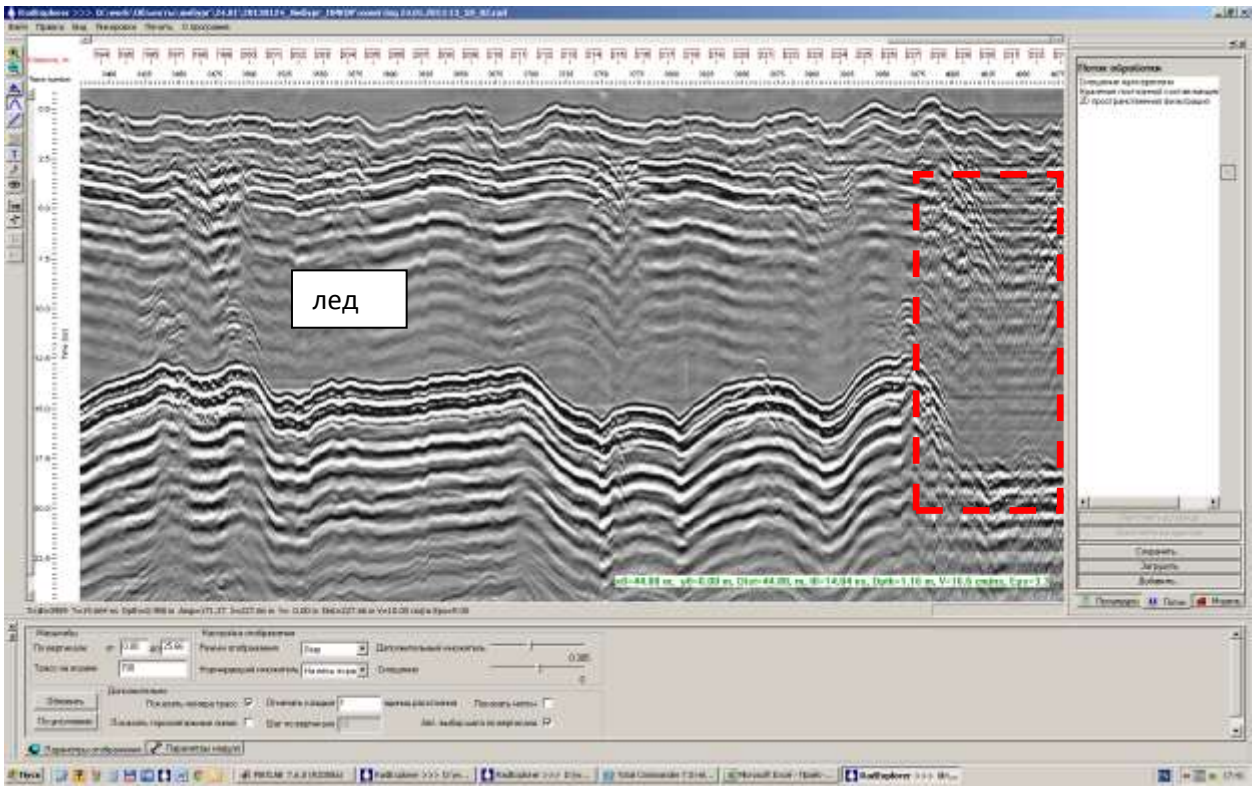
з) Георадар ProEx, АБ500. Радарограмма по льду р. Обь. Красным оконтурен участок льда, имеющий аномальное строение. Предположительно – участок льда нарушенной структуры – торос.



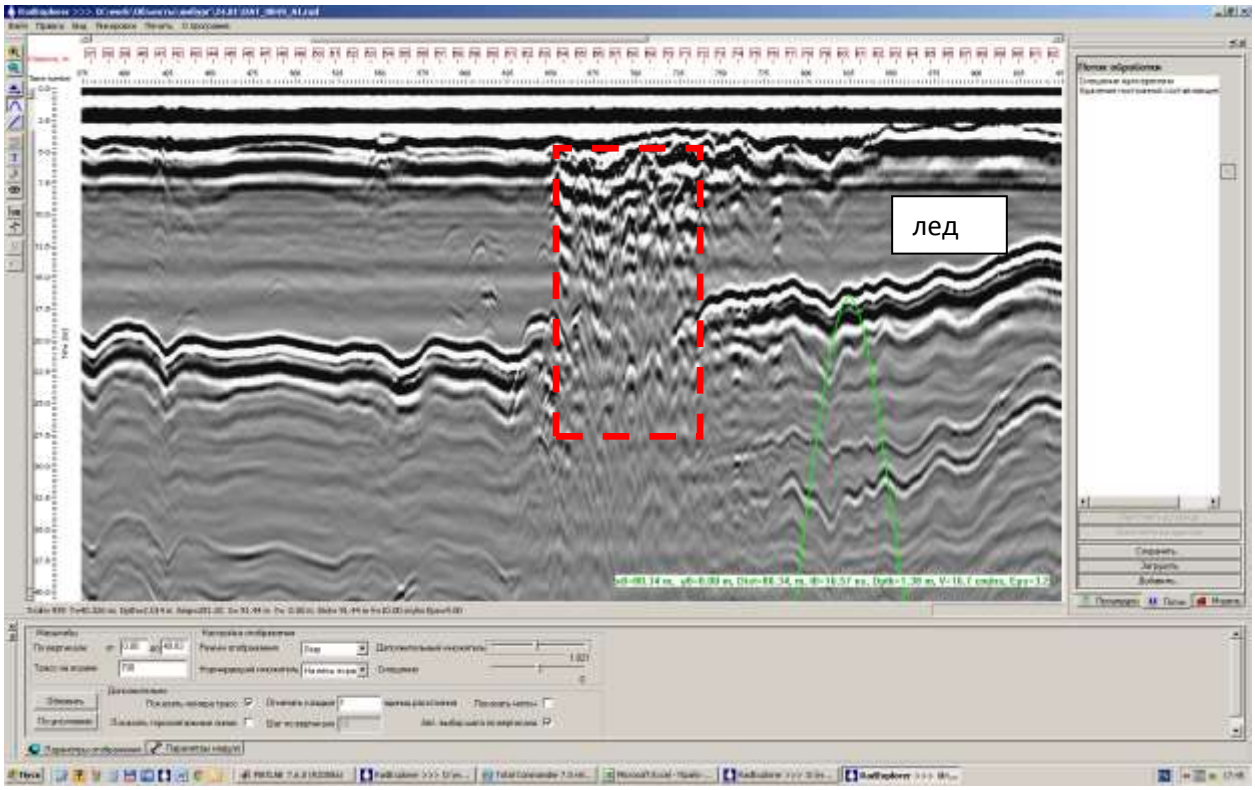
и) Прибор ПИКОР-Лед. Тот же участок. Красным оконтурен участок льда нарушенной структуры – торос.



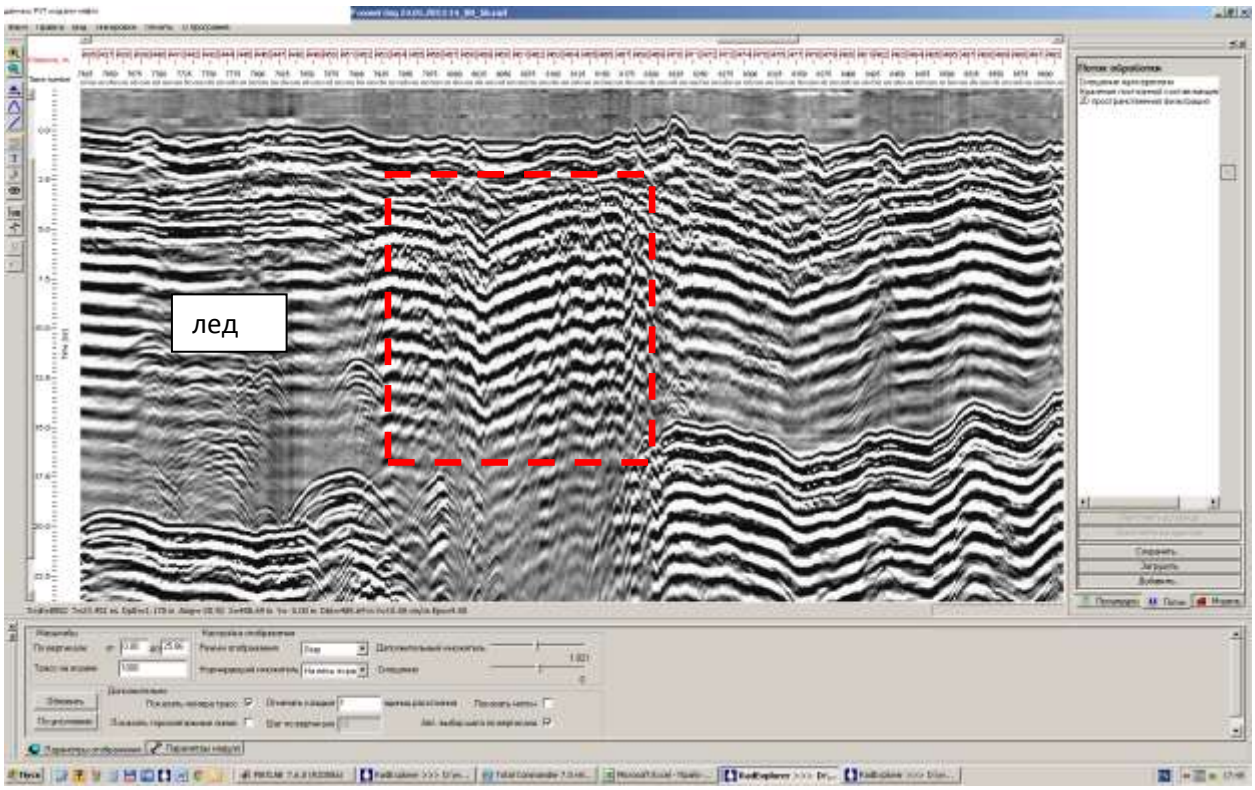
к) Георадар ProEx, АБ500. Радарограмма по по льду р. Обь. Красным оконтурен участок льда нарушенной структуры – торос.



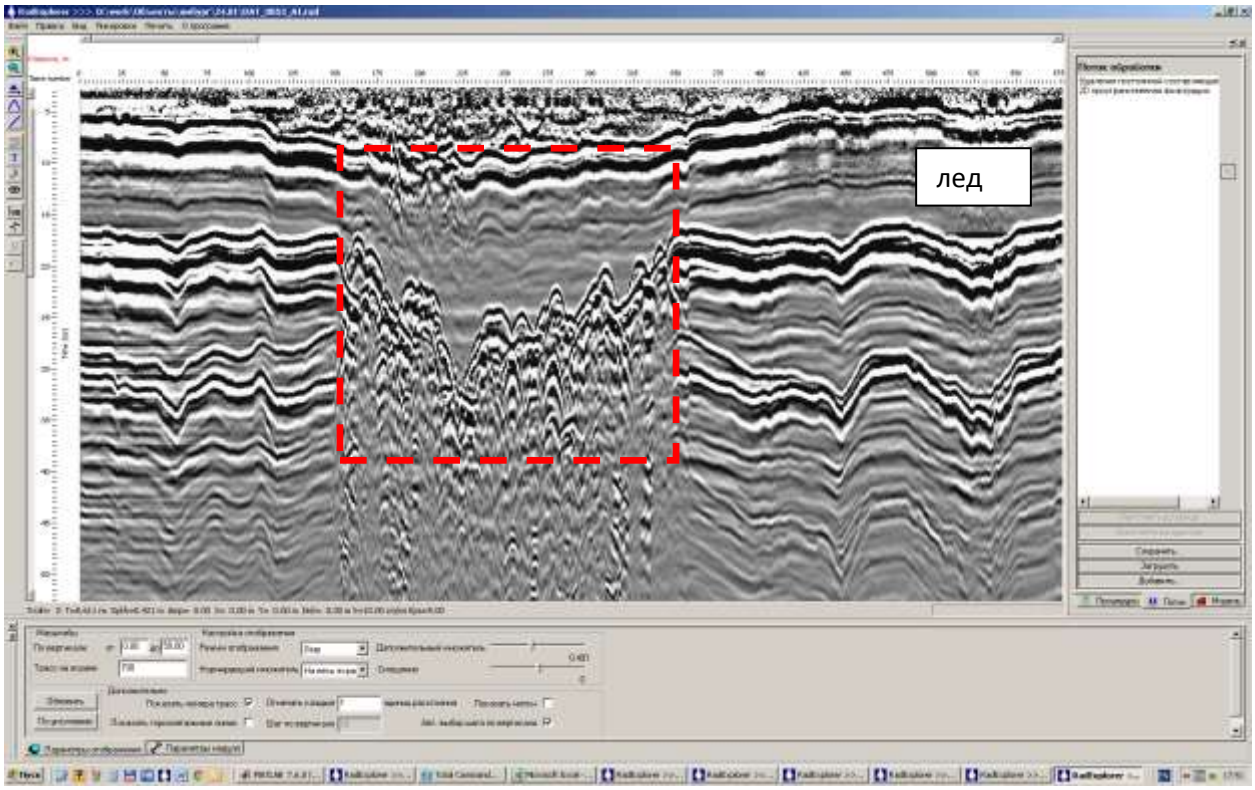
л) Прибор ПИКОР-Лед. Тот же участок. Красным оконтурен участок льда нарушенной структуры – торос.



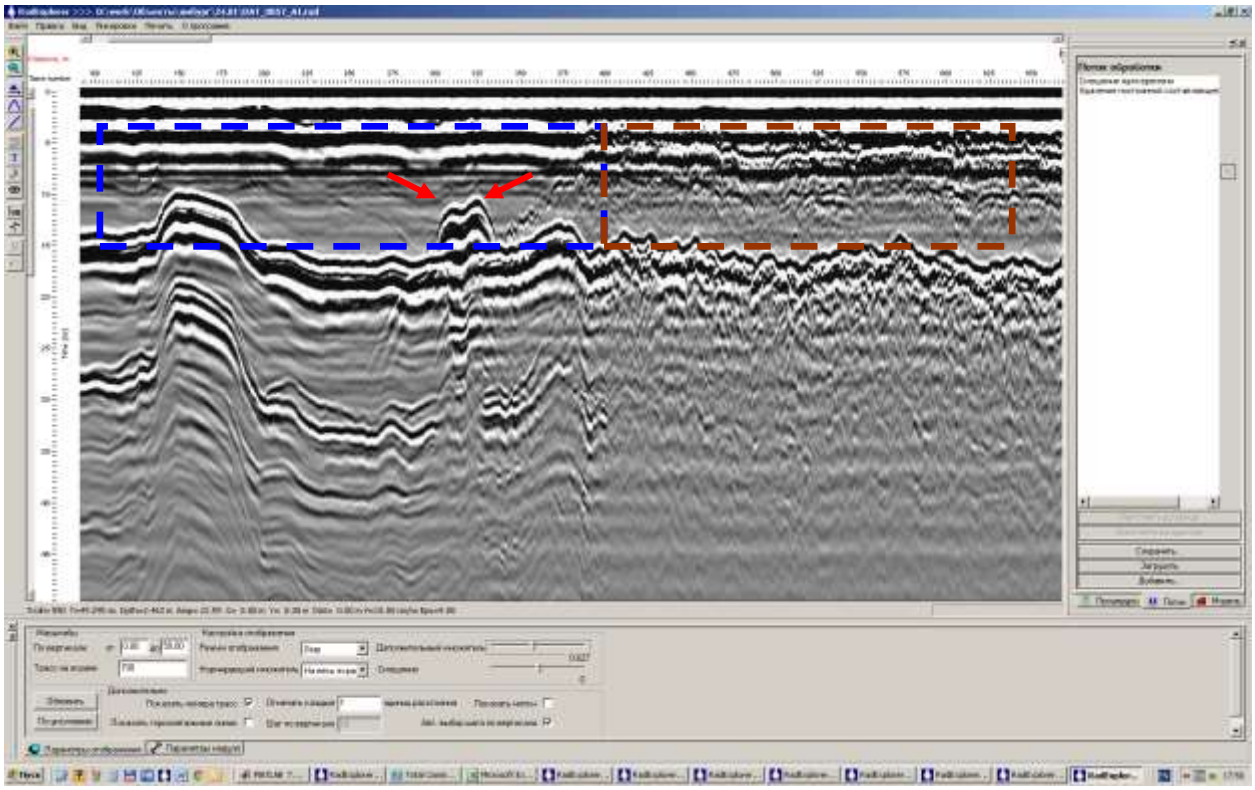
м) Георадар ProEx, АБ500. Радарограмма по льду р. Обь. Красным оконтурен участок льда нарушенной структуры – торос.



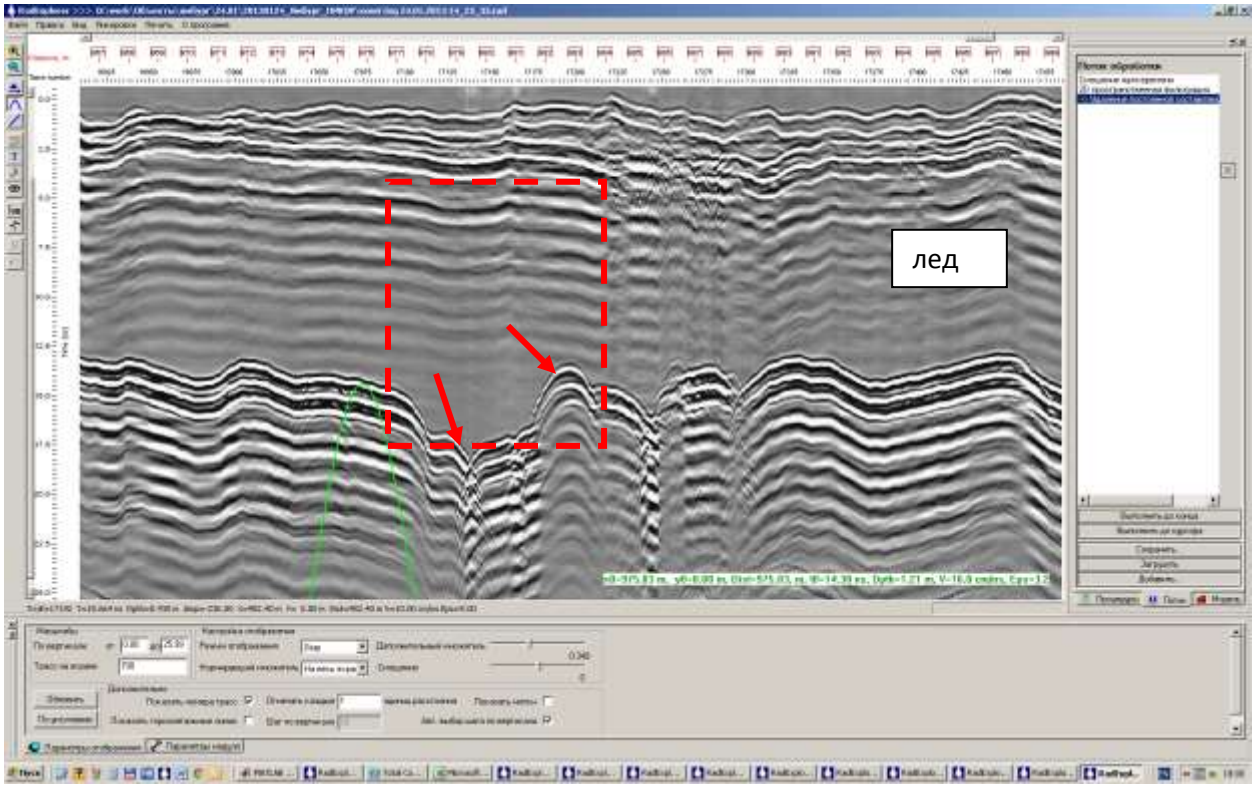
н) Прибор ПИКОР-Лед. Тот же участок. Красным оконтурен участок льда нарушенной структуры – торос.



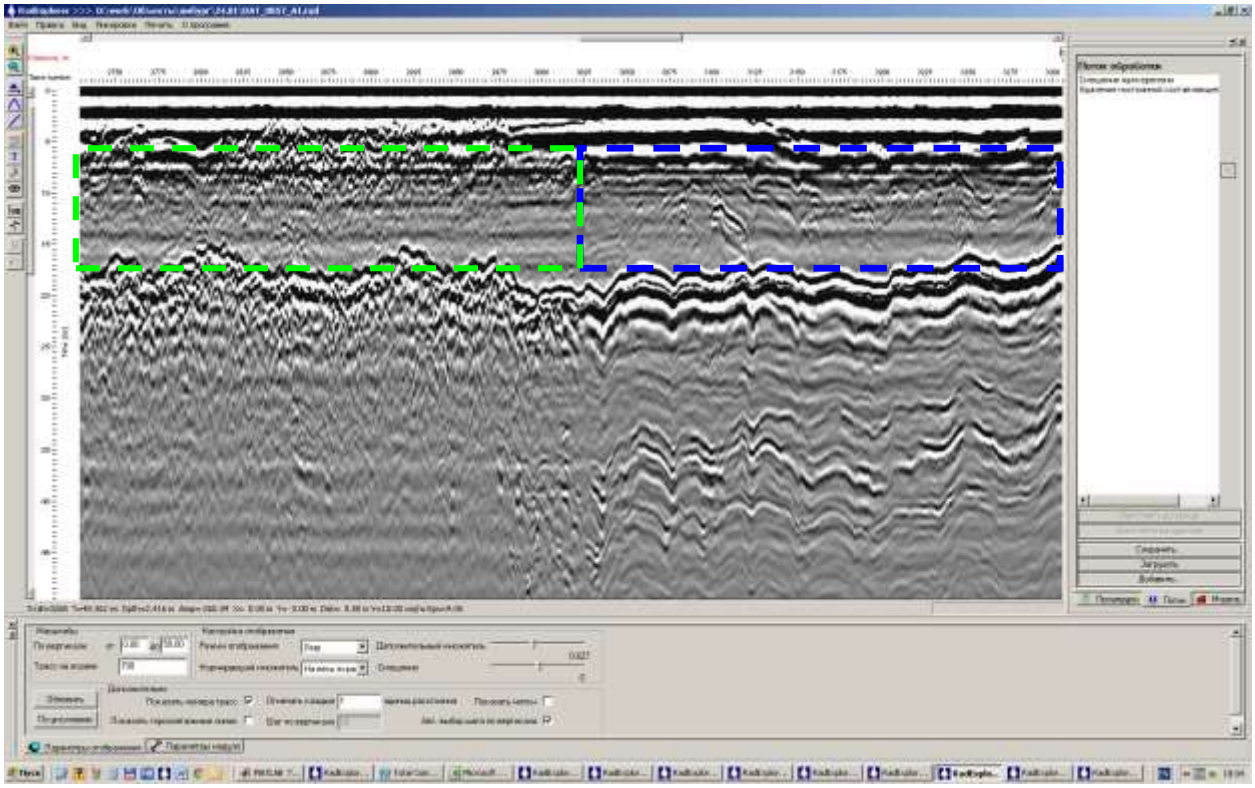
о) Георадар ProEx, АБ500. Радарограмма по льду р. Обь. Красным оконтурен участок льда нарушенной структуры – торос.



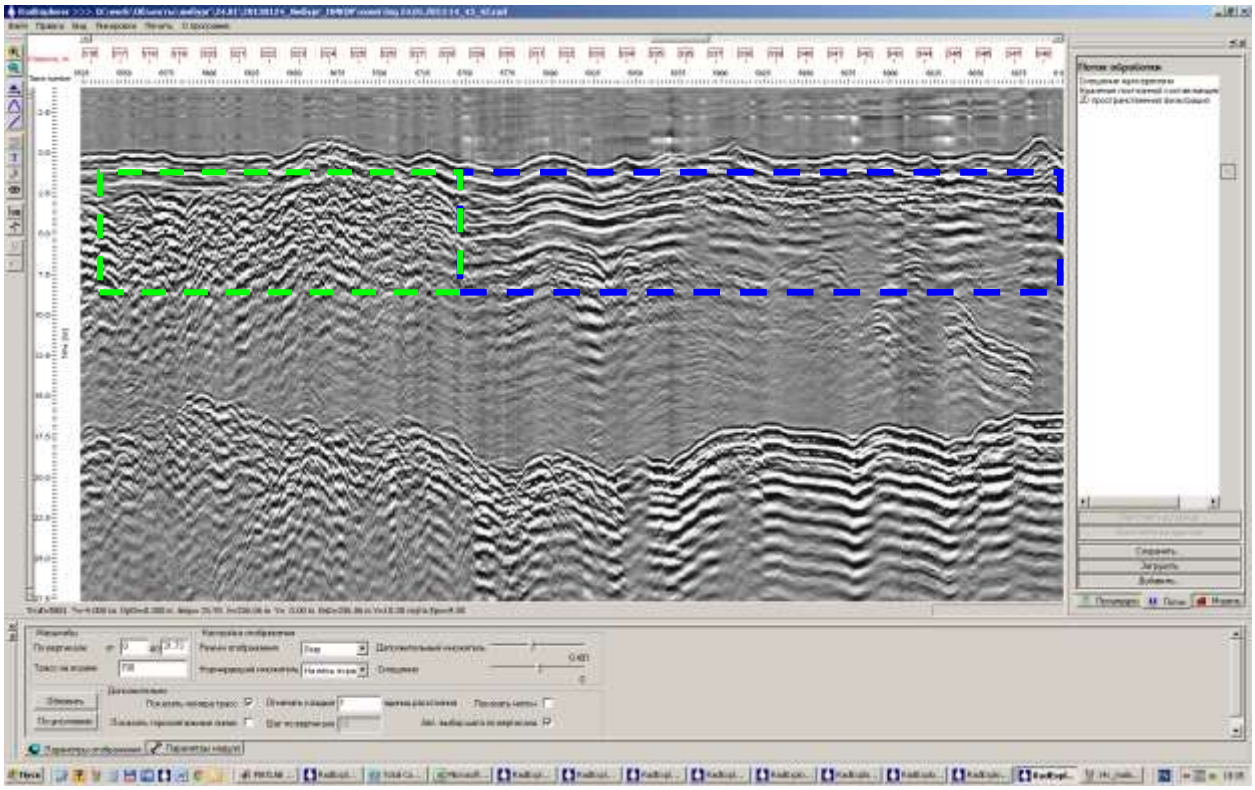
п) Георадар ProEx, АБ500. Радарограмма по прибрежной части р.Обь. Выход со льда на заболоченный берег. Коричневым выделен лед над болотистым местом; синий – подо льдом вода. Красными стрелками – трещины во льду.



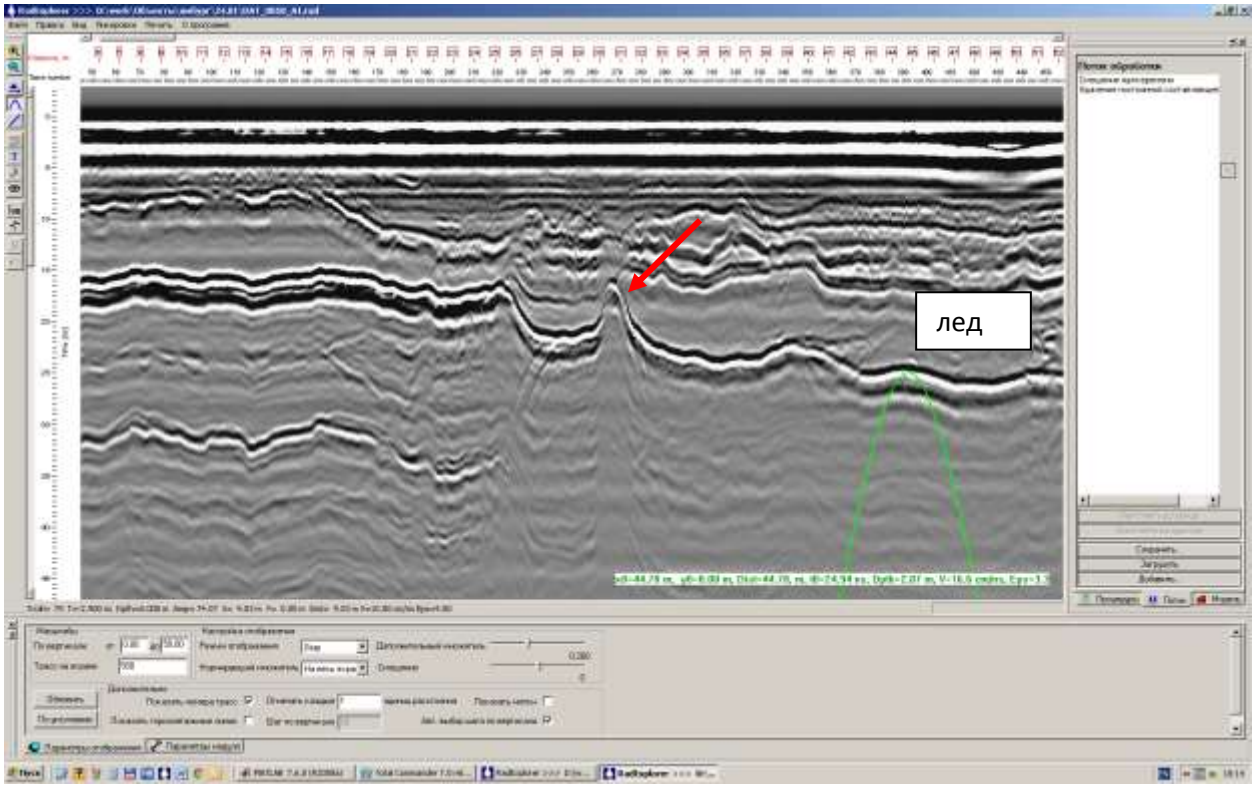
р) Прибор ПИКОР-Лед. Радарограмма по прибрежной части р.Обь. Красным выделен участок локального увеличения толщины льда, красными стрелками – особенности нижней границы льда.



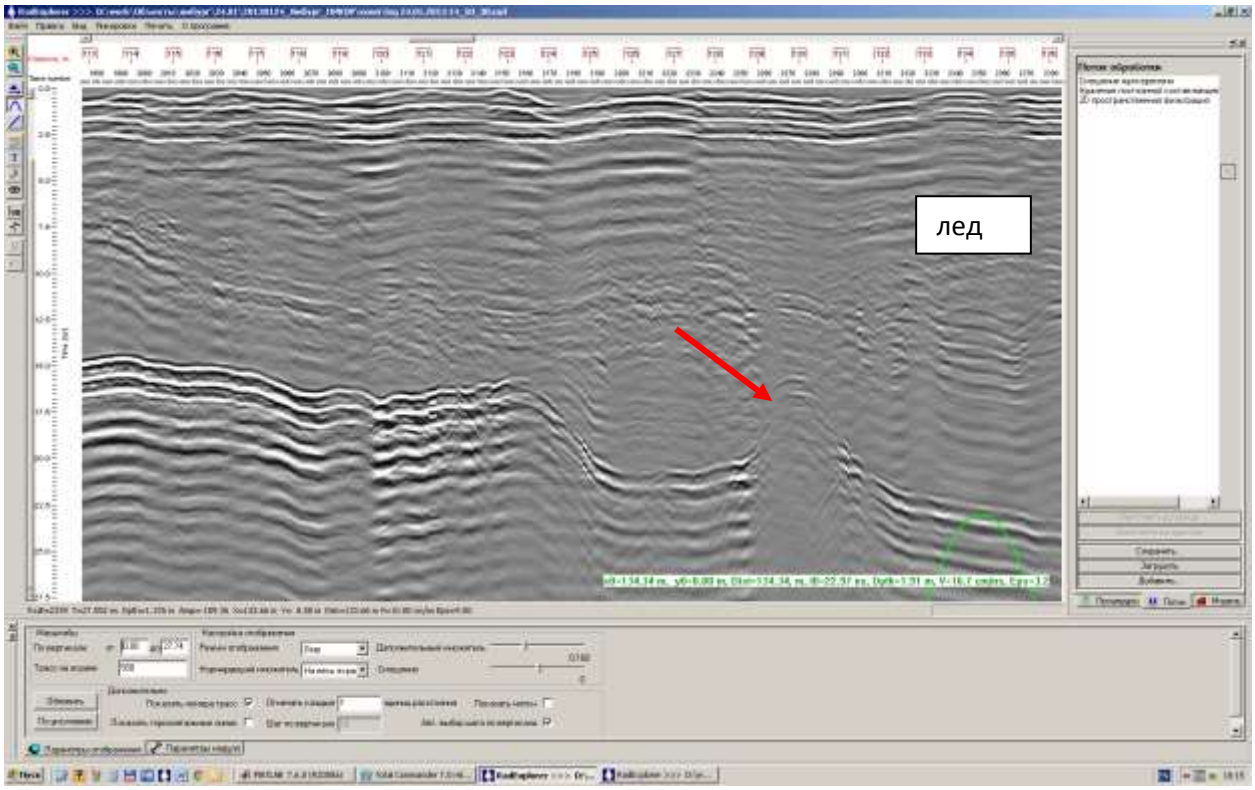
с) Георадар ProEx, АБ500. Радарограмма по прибрежной части. Зеленым выделен лед болотистым местом, синим – подо льдом вода.



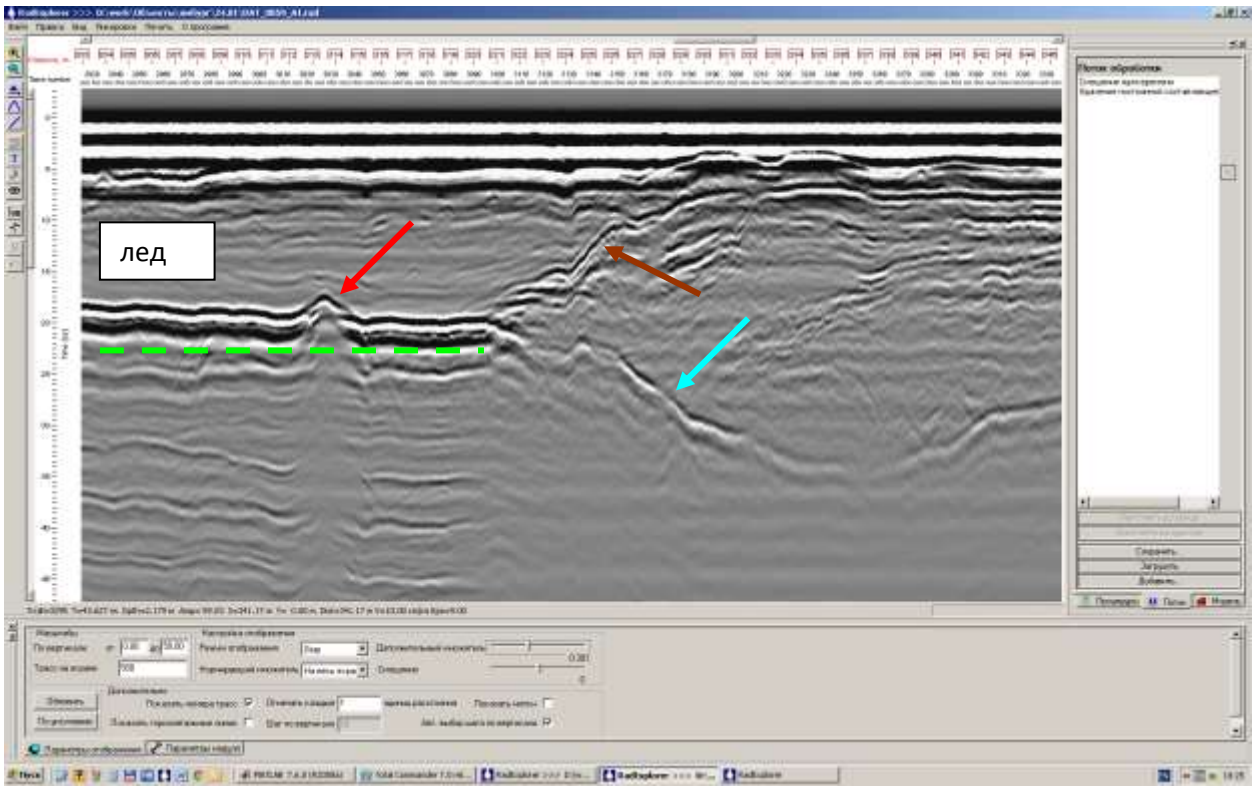
т) Прибор ПИКОР-Лед. Тот же участок. Зеленым выделен лед болотистым местом, синим – подо льдом вода.



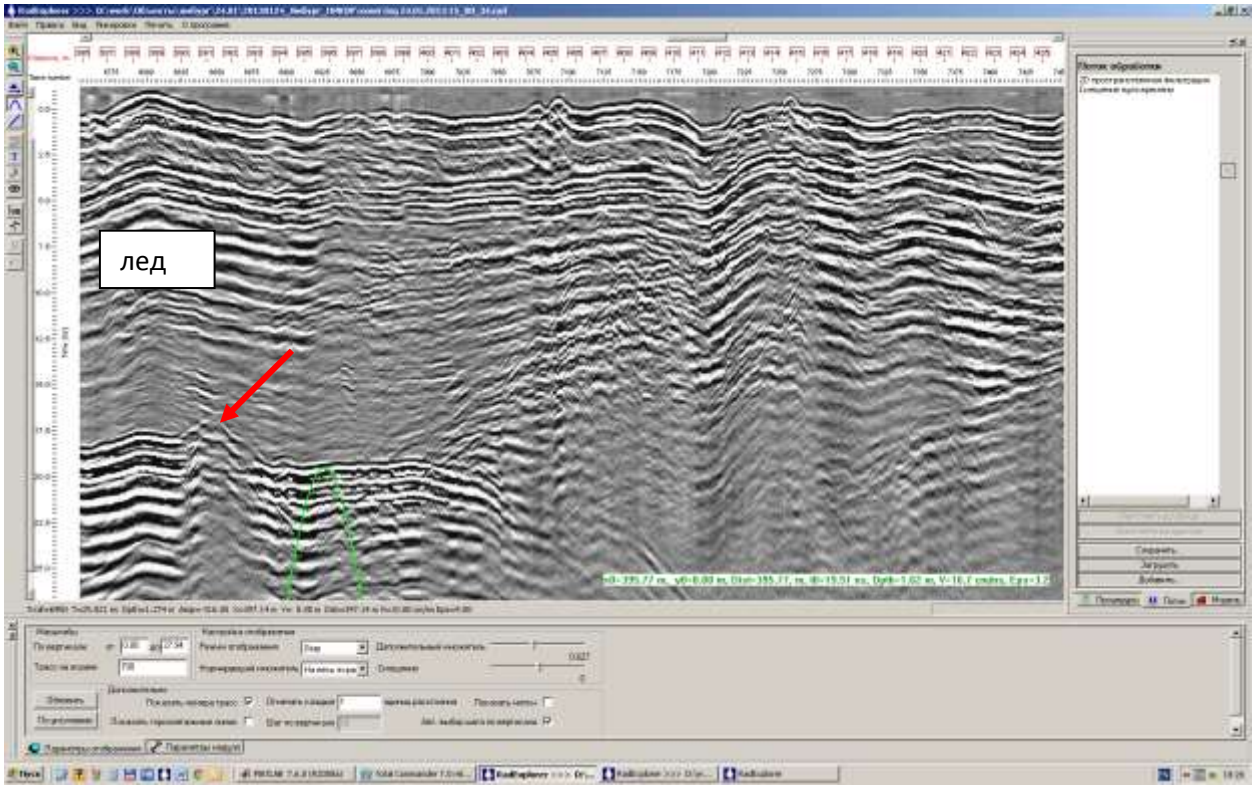
у) Георадар ProEx, АБ500. Профиль по льду при подходе к берегу. Красной стрелкой указана трещина отрыва.



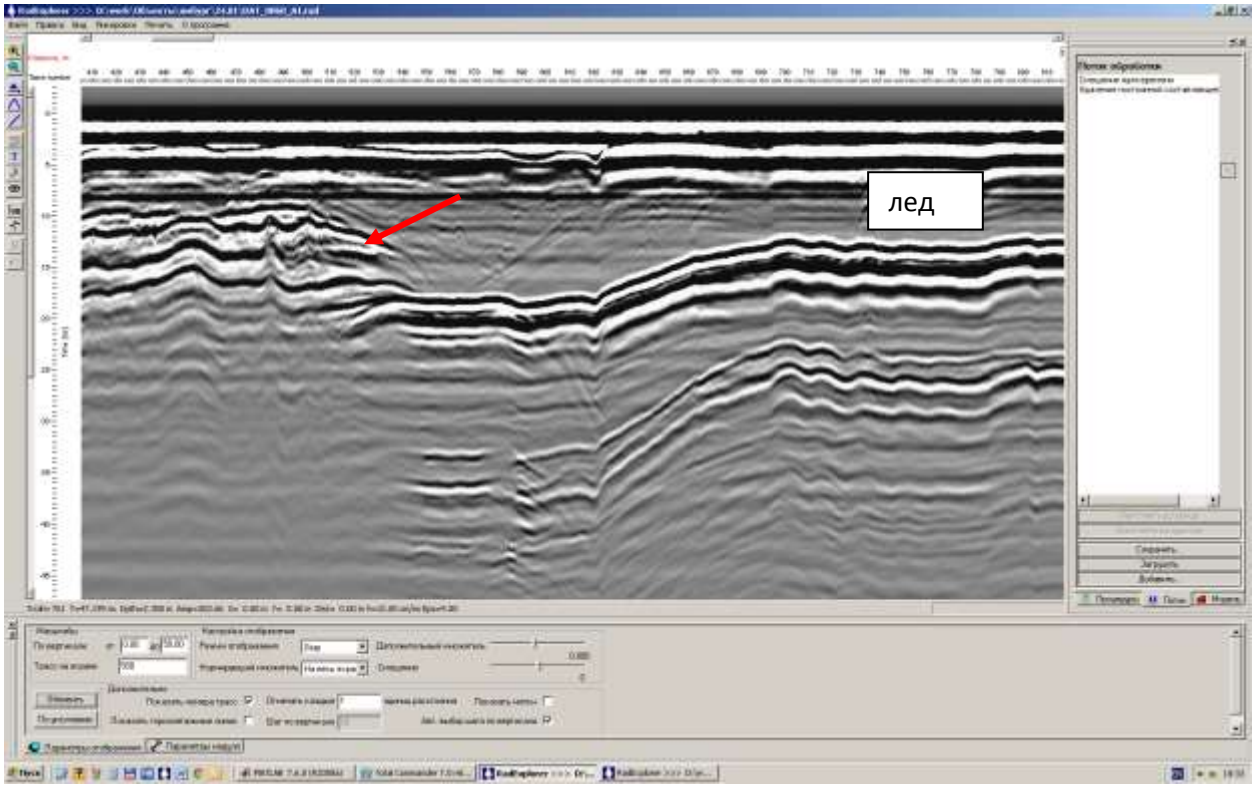
ф) Прибор ПИКОР-Лед. Тот же участок. Красной стрелкой указана трещина отрыва.



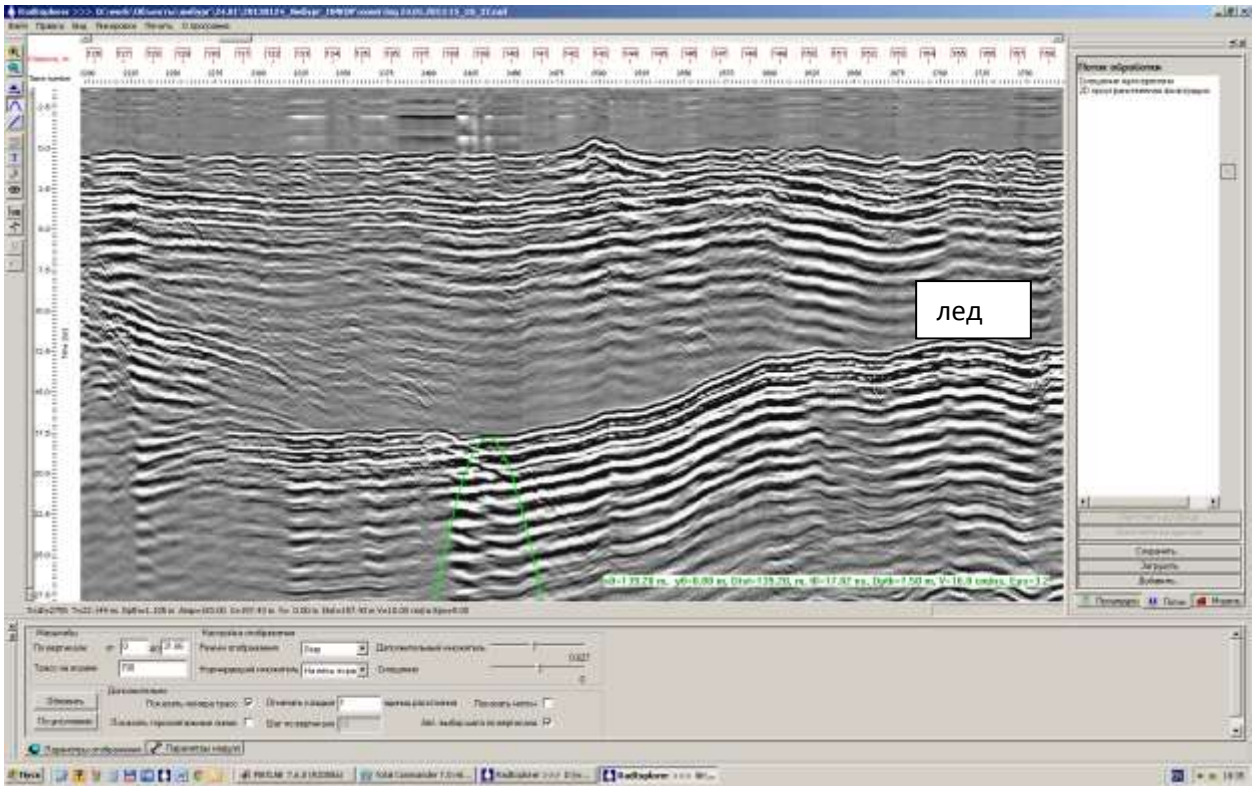
х) Георадар ProEx, АБ500. Выход со льда на берег. Зеленый пунктир – подошва льда. Коричневым цветом указано отражение от берега. Синяя стрелка – граница сезонного промерзания под берегом. Красной стрелкой указана трещина отрыва.



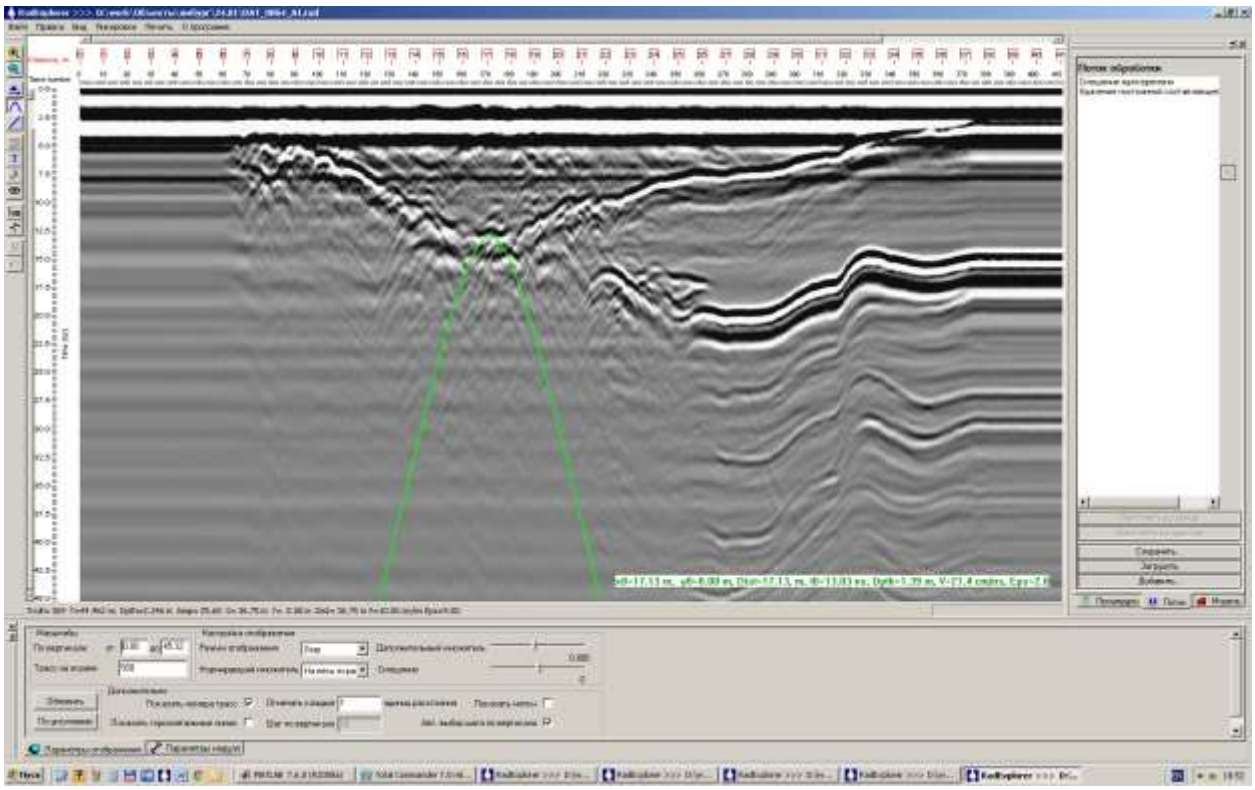
ц) Прибор ПИКОР-Лед. Тот же участок. Красной стрелкой указана трещина отрыва.



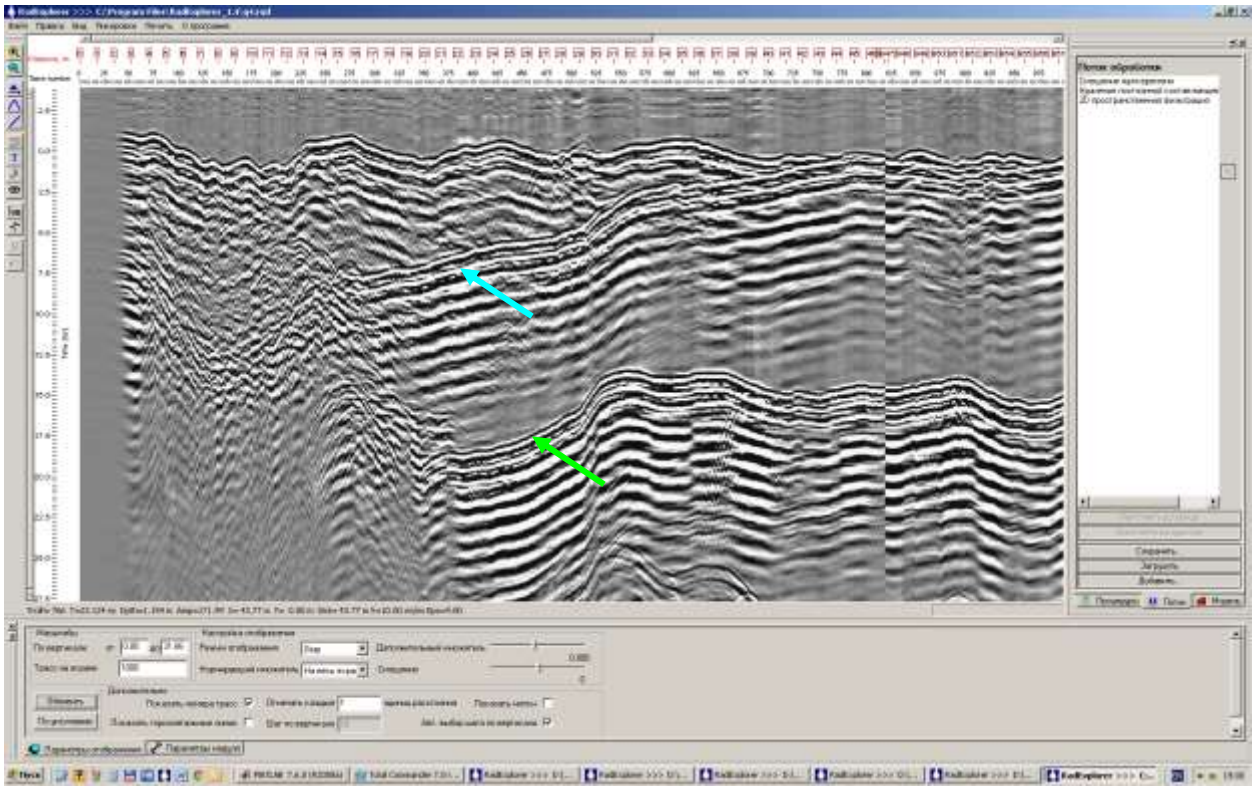
ч) Георадар ProEx, АБ500. Профиль с берега на лед. Красная стрелка указывает на отражение от берега.



ш) Прибор ПИКОР-Лед. Тот же участок.



щ) Георадар ProEx, АБ500. Сход с берега на лед речки. Зеленая гипербола показывает толщину снега под берегом – 1,4м.



э) Георадар ProEx, АБ500. Сход с берега на лед речки. Голубая стрелка – подошва снега, зеленая – подошва льда.