

Решение проблемы кабельного выноса в системе «ФАРА»

Клим Д. Ратников (*k.ratnikov@fara-systems.com*), Алексей Б. Федоров (*a.fedorov@fara-systems.com*)
Михаил В. Лавреев (*m.lavreev@fara-systems.com*)

ТОО «FARA Systems»
<http://www.fara-systems.com>
2021

Кабельный вынос является одной из главных проблем применения метода радиоволнового просвечивания. Рассматривается сущность явления и некоторые подходы к предотвращению его влияния. Приводятся результаты экспериментов, которые демонстрируют эффективность устранения этой проблемы и подтверждают практически полное отсутствие эффекта кабельного выноса в системе «ФАРА».

Метод межскважинного радиоволнового просвечивания является высокоэффективным инструментом для проведения геологоразведочных работ на всех стадиях разведки – от обнаружения неизвестных объектов до детального изучения разведанных месторождений полезных ископаемых. Преимуществом метода является быстрое получение наглядной информации о состоянии межскважинного пространства. Полученные данные могут быть использованы для оптимизации расходов при составлении программы бурения на разведочной и эксплуатационной стадиях, а также для оперативной коррекции или закладки уточняющих скважин на этапе ее реализации. Одной из главных проблем применения метода радиоволнового просвечивания является эффект кабельного выноса.

Кабельный вынос объясняется особенностями поведения электромагнитного поля в присутствии локальных длинномерных проводников. При приближении к проводнику электромагнитная волна частично меняет свое направление и распространяется вдоль границы проводника (рис.1). В случае радиоволнового просвечивания в качестве такого проводника может выступать грузонесущий кабель с токопроводящими жилами. Электромагнитная волна, распространяясь вдоль кабеля, создает дополнительный (паразитный) сигнал, который не отличим по параметрам от полезного. Это делает невозможным корректное решение обратной задачи нахождения распределения электропроводящих свойств среды, которое базируется на обработке значений сигнала отклика без учета эффекта кабельного выноса. Введение поправок на влияние кабеля не представляется практически осуществимым, так как распространение поля зависит от множества неизвестных параметров, таких как: состояние скважин, состояние кабеля на глубине, локальные околоскважинные неоднородности проводимости, глобальные свойства окружающей среды, химический состав жидкости наполнения скважин и т.д.

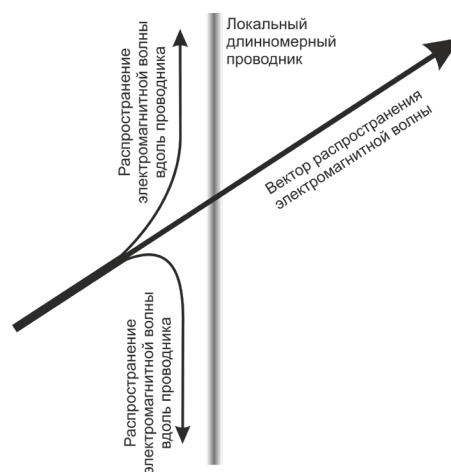


Рис. 1

Классическим способом борьбы с явлением кабельного выноса в радиоволновом просвечивании является исключение проводящих элементов из грузонесущего кабеля. Известно два подхода к решению этой задачи.

1. Использование оптоволоконного неармированного металлом кабеля. С теоретической точки зрения это решение является идеальным, однако, имеет ряд практических недостатков. К ним относится дороговизна, низкая ремонтпригодность кабеля, трудности, связанные с реализацией надежных соединений в условиях больших давлений (больших глубин исследования) и т.д. Все это радикально снижает экономическую эффективность использования метода и, как следствие, его конкурентоспособность на рынке геофизических услуг.

2. Использование независимых зондов, работающих автономно и не имеющих связи с поверхностью. Это позволяет применять обычные грузонесущие кабели (шнуры), не имеющие проводников в своем составе. Подобное решение не позволяет синхронизировать сигналы приемника и передатчика, что кардинально снижает чувствительность системы. Следствием этого является существенное уменьшение дальности регистрации сигнала, т.е. максимально возможного расстояния между скважинами для исследования. Это также негативно отражается на экономической эффективности и конкурентоспособности метода.

В системе «ФАРА» применено принципиально другое решение. Были разработаны специализированные системы фильтров, которые практически полностью устраняют эффект кабельного выноса. При этом используются обычные грузонесущие кабели с токопроводящими жилами, которые характеризуются относительной дешевизной и высокой ремонтопригодностью. Фильтры расположены в нижней части кабеля около зондов приемника и передатчика и не препятствуют прохождению основного информационного сигнала по токопроводящим жилам от зондов к поверхности.

Эффект кабельного выноса наиболее явно проявляется при наличии в исследуемом разрезе непрерывного проводящего пласта. В этом случае при прохождении сквозь пласт электромагнитная энергия поглощается полностью, что приводит к падению регистрируемого сигнала до уровня шумов. Если же регистрируемый сигнал не снижается до уровня шумов, то это свидетельствует о наличии паразитного сигнала, который, с высокой степенью вероятности, является следствием кабельного выноса.

Для проверки эффективности решения был поставлен эксперимент, который заключался в сопоставлении результатов измерений аппаратного комплекса «Фара» с установленной системой фильтров и в ее отсутствии.

Объектом эксперимента была выбрана пара с известным геоэлектрическим разрезом, на которой ранее были проведены измерения методом радиоволнового просвечивания с системой «ФАРА» (рис.2). Глубина скважин превышала 1300 м, расстояние между скважинами в зоне исследования – 250-300м. На разрезе присутствует сплошной проводящий слой, который пересекает первую скважину на глубине около 1200м и вторую – на глубине около 1100м.

Измерения проводились на двух стоянках передатчика в первой скважине, стоянка №1 – на глубине 1020м (над слоем) и стоянка №2 – на глубине 1240м (под слоем). Диапазон глубин измерения приемника составлял от 1050м до 1300м по второй скважине (рис.3).

На рис.4 представлена схема кабельного выноса для стоянки №1 – передатчик расположен выше проводящего пласта. Передатчик излучает электромагнитную энергию по направлению к приемнику. Сплошной проводящий слой полностью ее экранирует и приемник, находящийся ниже проводящего слоя, не регистрирует сигнал. Однако, передат-

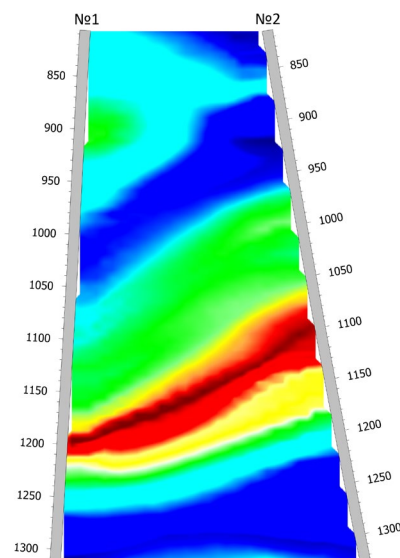


Рис. 2

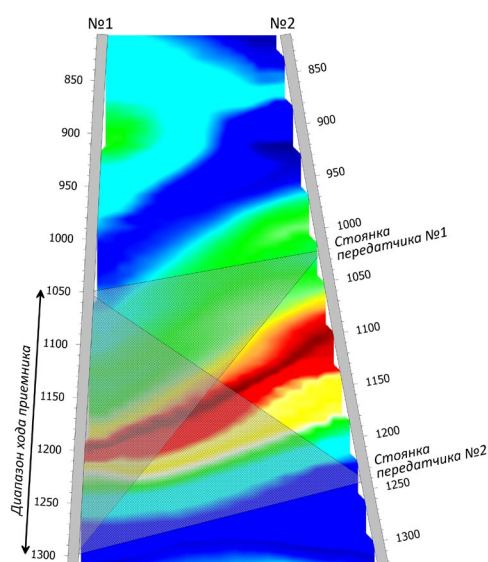


Рис. 3

чик излучает энергию не только по направлению к зонду приемника, но и по направлению к кабелю, расположенному выше зонда приемника. Как итог проявляется эффект кабельного выноса - электромагнитное поле от передатчика частично начинает распространяться вдоль кабеля приемника (рис.1). Распространяясь вниз, вынос проходит по кабелю сквозь слой до зонда приемника. В результате вместо шума (отсутствия сигнала вследствие полного поглощения энергии пластом) регистрируется паразитный сигнал, который технически неотличим от полезного.

На рис. 5-7 представлены графики амплитуды и фазы сигнала, зарегистрированного приемником в диапазоне глубин 1050-1300м для стоянки №1 с использованием системы фильтров (синие кривые) и без нее (красные кривые). Графики фазы позволяют однозначно идентифицировать участки, соответствующие отсутствию сигнала. На этих участках уровень сигнала падает ниже уровня шумов, и происходит регистрация только фонового шумового сигнала системы. При наличии сигнала фазовые значения плавно изменяются по мере продвижения приемника, в то время как в случае отсутствия сигнала (т.е. наличии шумового сигнала) они хаотично изменяются по всему диапазону от -180 до 180 градусов.

Как можно видеть, при наличии фильтров для всех частот на глубине приемника 1070м и ниже фаза имеет хаотичный характер, что является однозначным признаком наличия только шумового сигнала. При этом в случае отсутствия фильтров фаза равномерно изменяется, а амплитуда существенно превышает уровень амплитуды при наличии фильтров.

Некоторое расхождение в глубине верхней границы проводящего пласта (на изображении она соответствует около 1190м, в то время как на кривых шумовой сигнал начинается с 1170м) объясняется наличием антенны длиной 20м, расположенной внизу зонда приемника.

На рис.8 представлена схема кабельного выноса для стоянки №2 – передатчик расположен ниже проводящего пласта. Подобно предыдущему случаю, передатчик излучает электромагнитную энергию, которая полностью экранируется сплошным проводящим слоем. Вблизи передатчика электромагнитная волна излучается по всем направлениям, в том числе и вверх. В результате проявляется эффект кабельного выноса и волна начинает распространяться вверх вдоль кабеля передатчика. После прохождения сквозь слой, согласно принципу Гюйгенса-Френеля, электромагнитная волна создает вторичное поле, которое излучается во все стороны, в том числе, и по направлению к зонду приемника. В результате, как и в предыдущем случае, вместо шума (отсутствия сигнала), регистрируется паразитный сигнал, который технически неотличим от полезного.

На рис. 9-11 представлены графики амплитуды и фазы сигнала, зарегистрированного приемником в диапазоне глубин 1050-1300м для стоянки №2 с использованием системы фильтров (синие кривые) и без нее (красные кривые). Как и в предыдущем случае, характер поведения фазы позволяет однозначно идентифицировать участки шумового сигнала. При наличии фильтров для всех частот на глубине приемника 1090м и выше фаза имеет хаотичный характер, а в случае отсутствия фильтров фаза равномерно изменяется, в то время как амплитуда существенно превышает уровень амплитуды при наличии фильтров.

Представленные результаты демонстрируют разницу сигналов, полученных в условиях штатных измерений (при наличии фильтров), с сигналами, полученными в условиях явно выраженного эффекта кабельного выноса. Результаты являются свидетельством эффективности решения, примененного в системе «ФАРА» для решения проблемы кабельного выноса. Как можно видеть на представленных графиках, паразитный сигнал полностью отсутствует в случае использования системы фильтров.

В заключении авторы выражают благодарность компании Abitibi Geophysics Incorporated за помощь и содействие в проведении экспериментов.

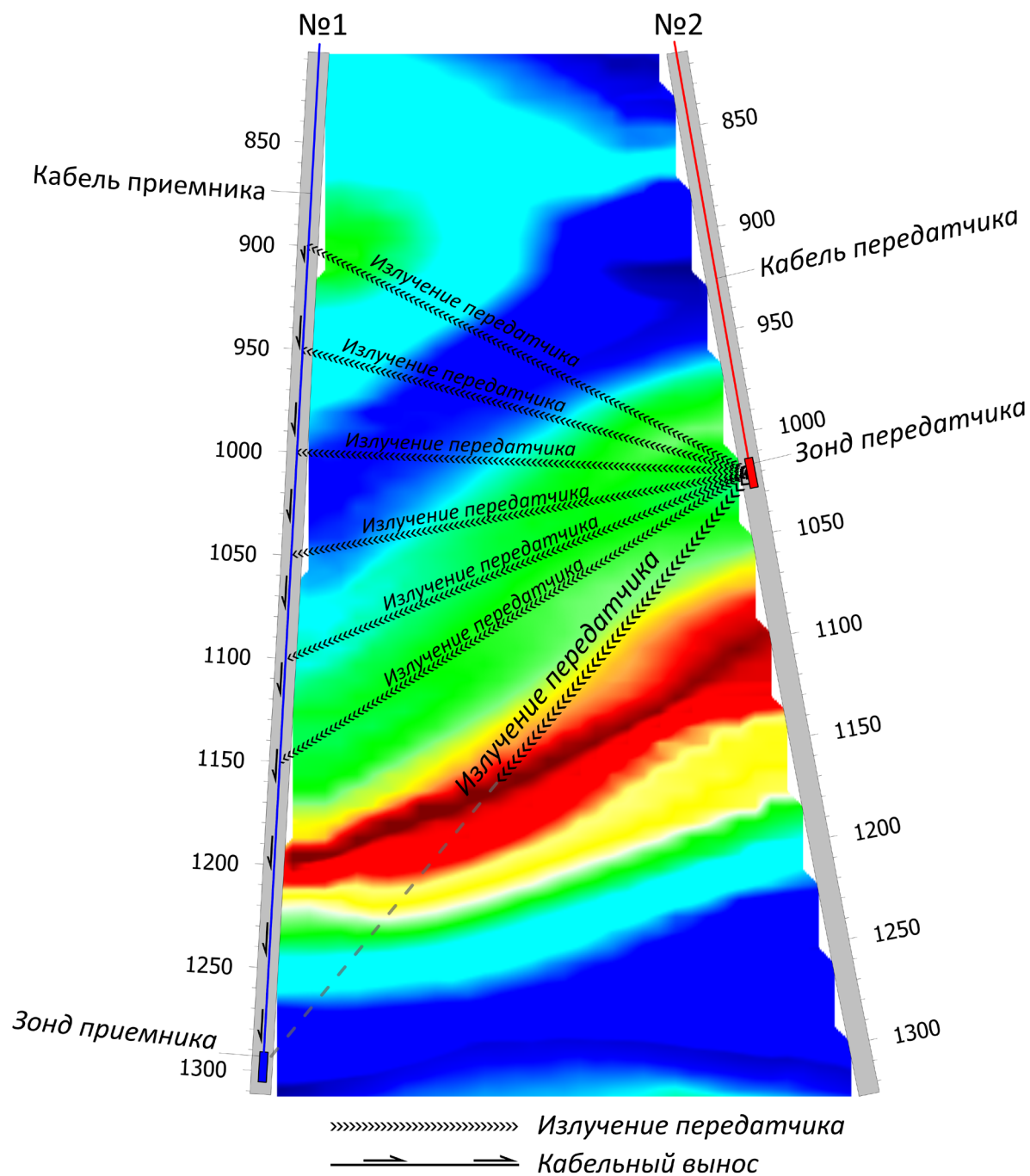


Рис. 4
Схема кабельного выноса для стоянки №1

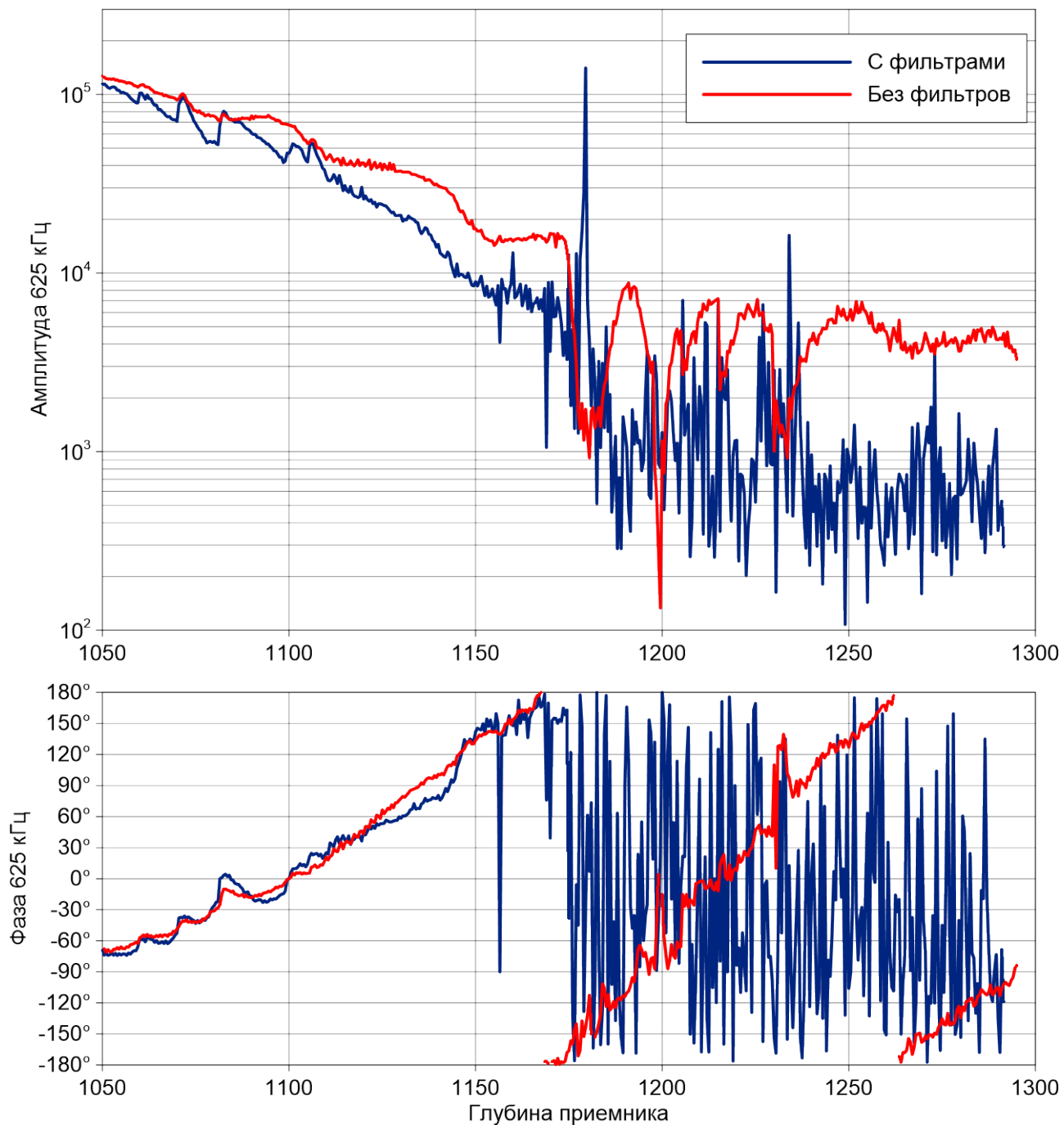


Рис. 5
Графики амплитуды и фазы сигнала приемника.
Частота 625 кГц, стоянка передатчика №1

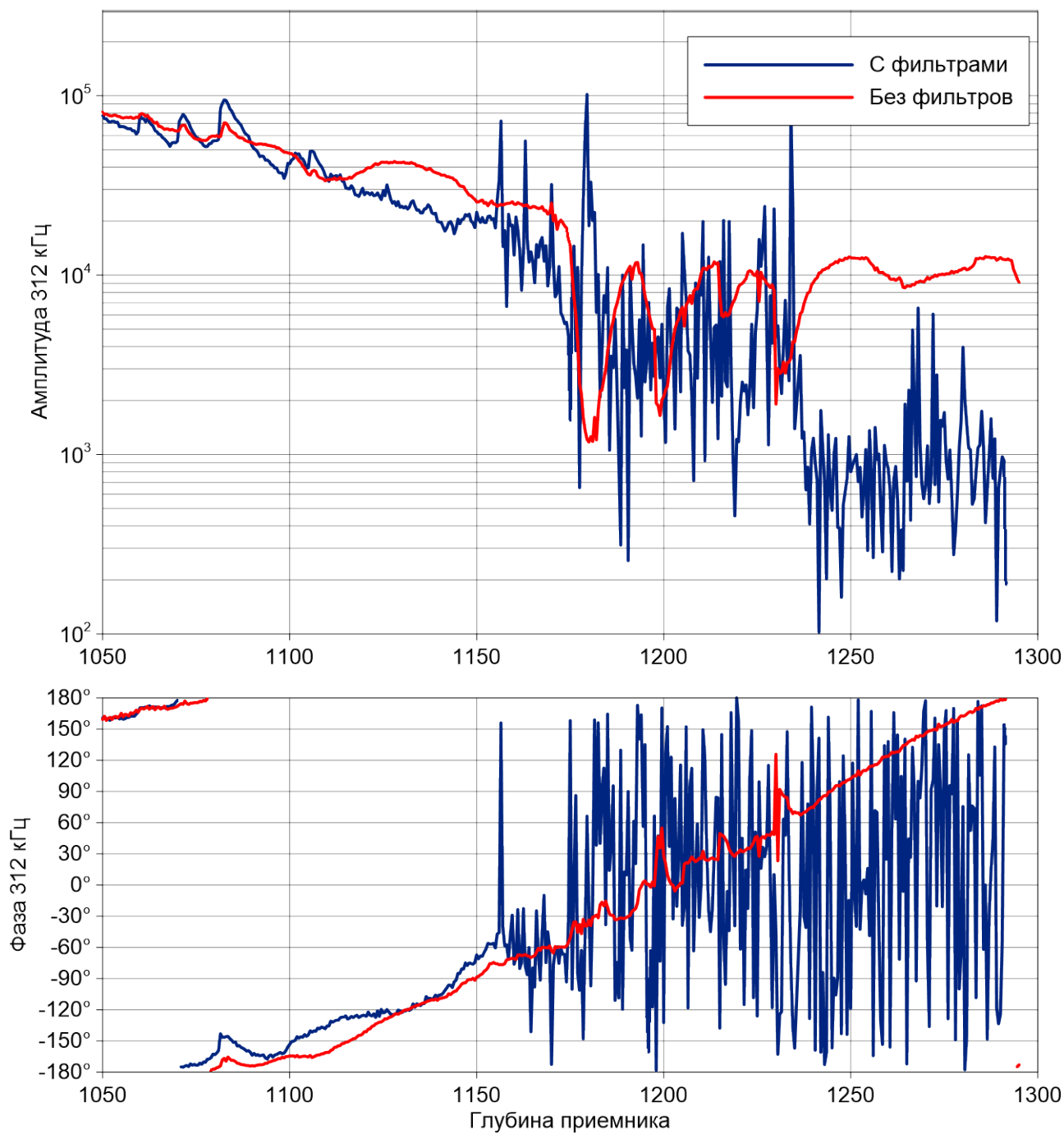


Рис. 6
Графики амплитуды и фазы сигнала приемника.
Частота 312 кГц, стоянка передатчика №1

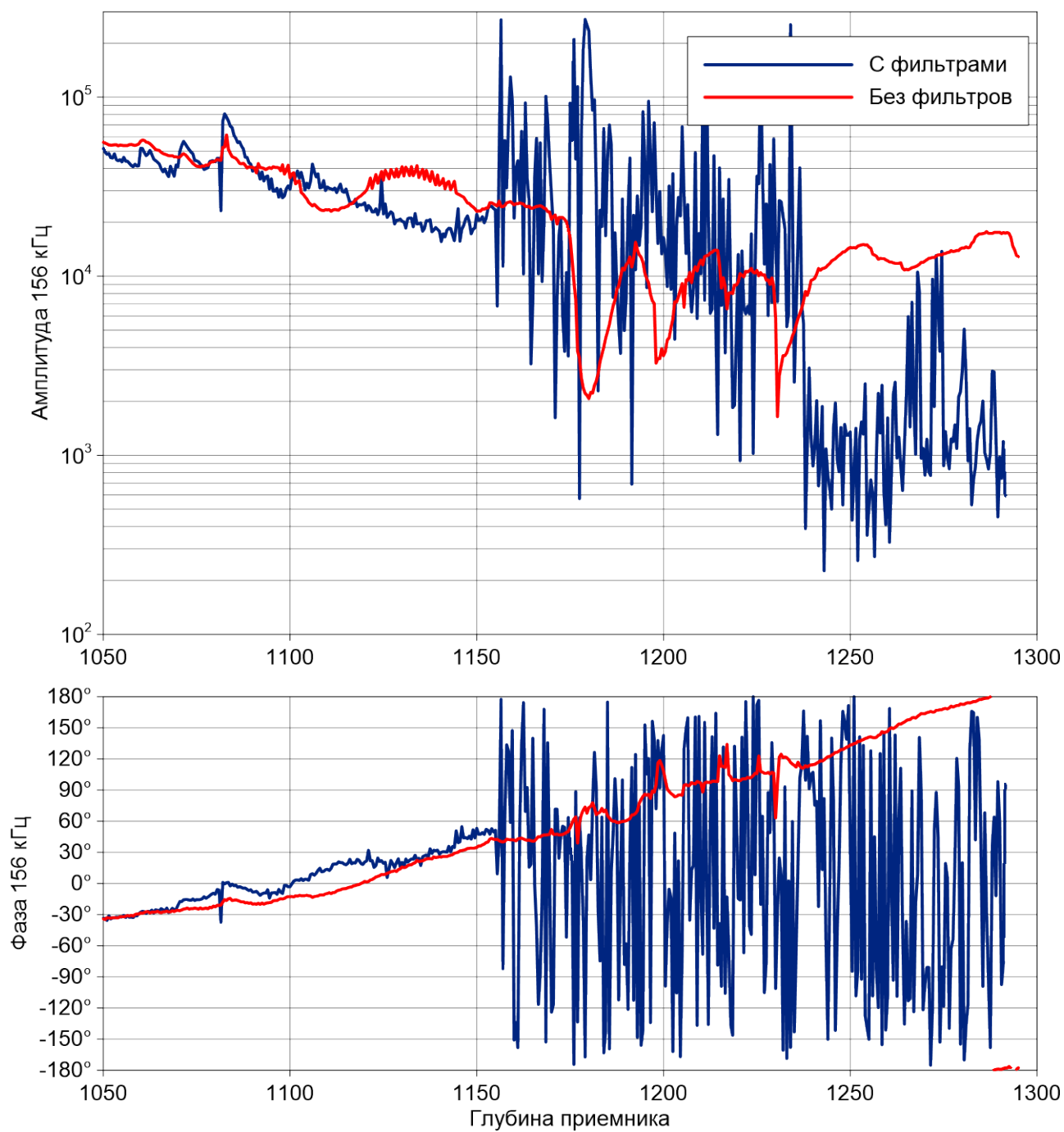


Рис. 7
Графики амплитуды и фазы сигнала приемника.
Частота 156 кГц, стоянка передатчика №1

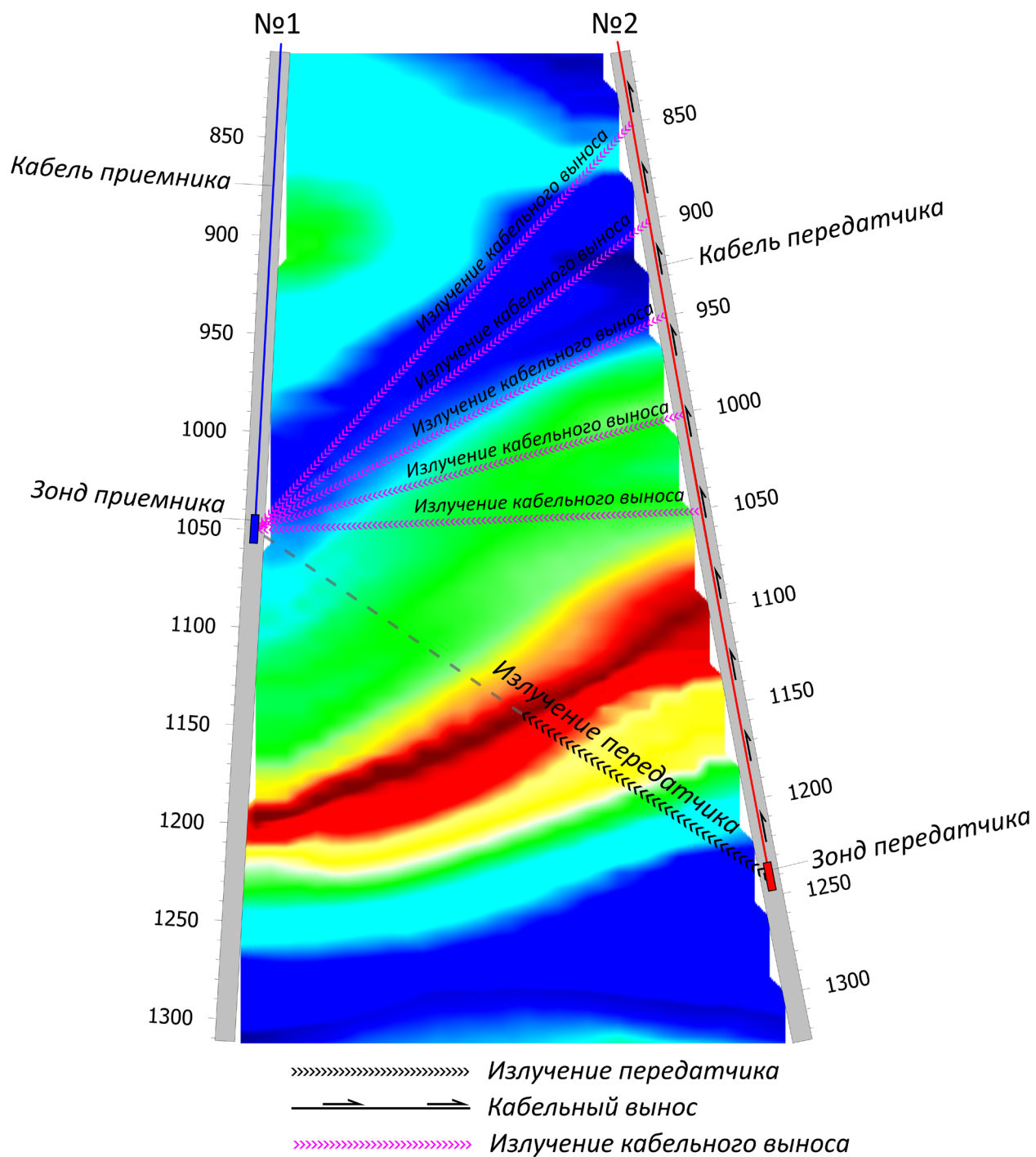


Рис. 8
Схема кабельного выноса для стоянки №2

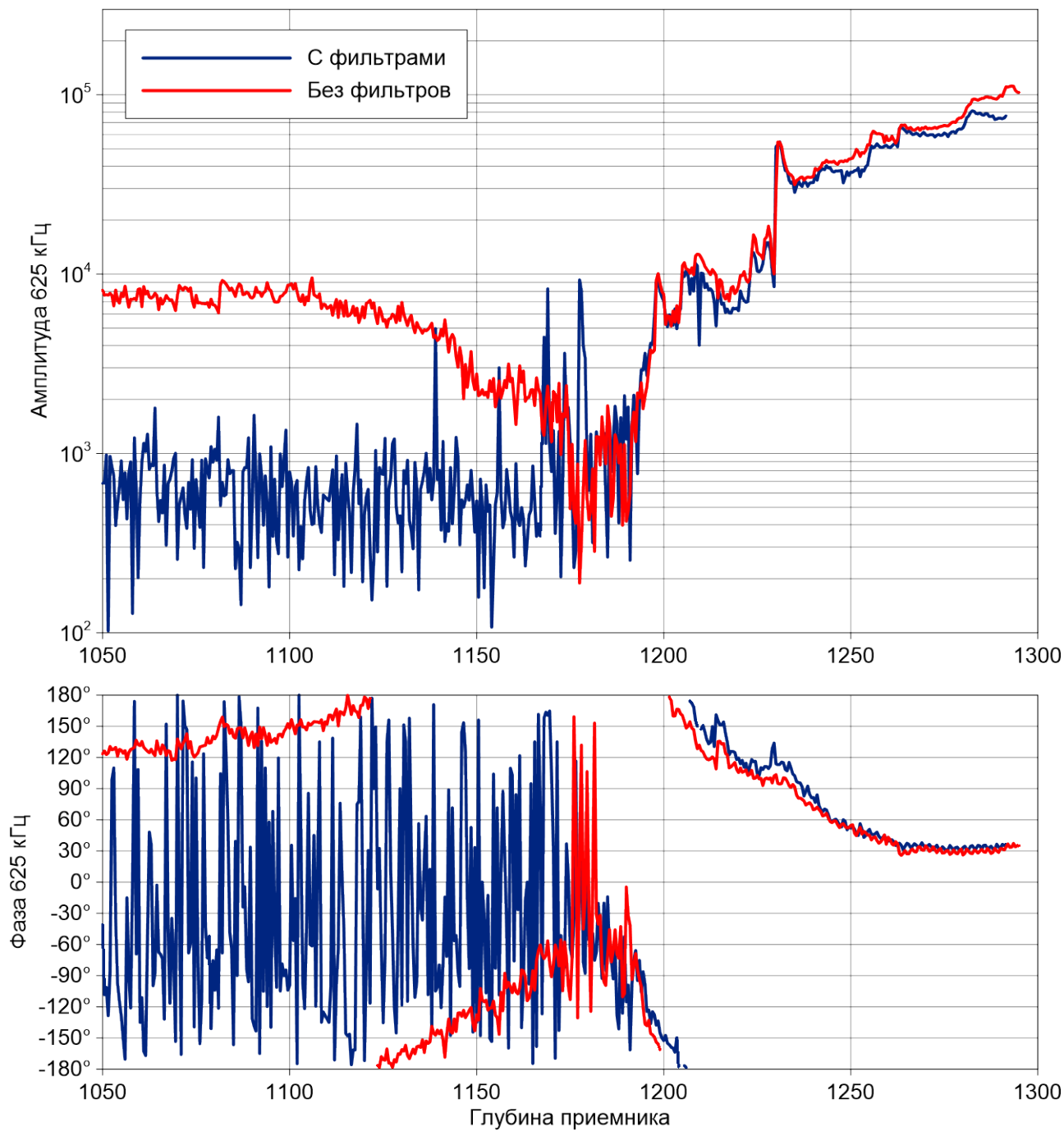


Рис. 9
Графики амплитуды и фазы сигнала приемника.
Частота 625 кГц, стоянка передатчика №2

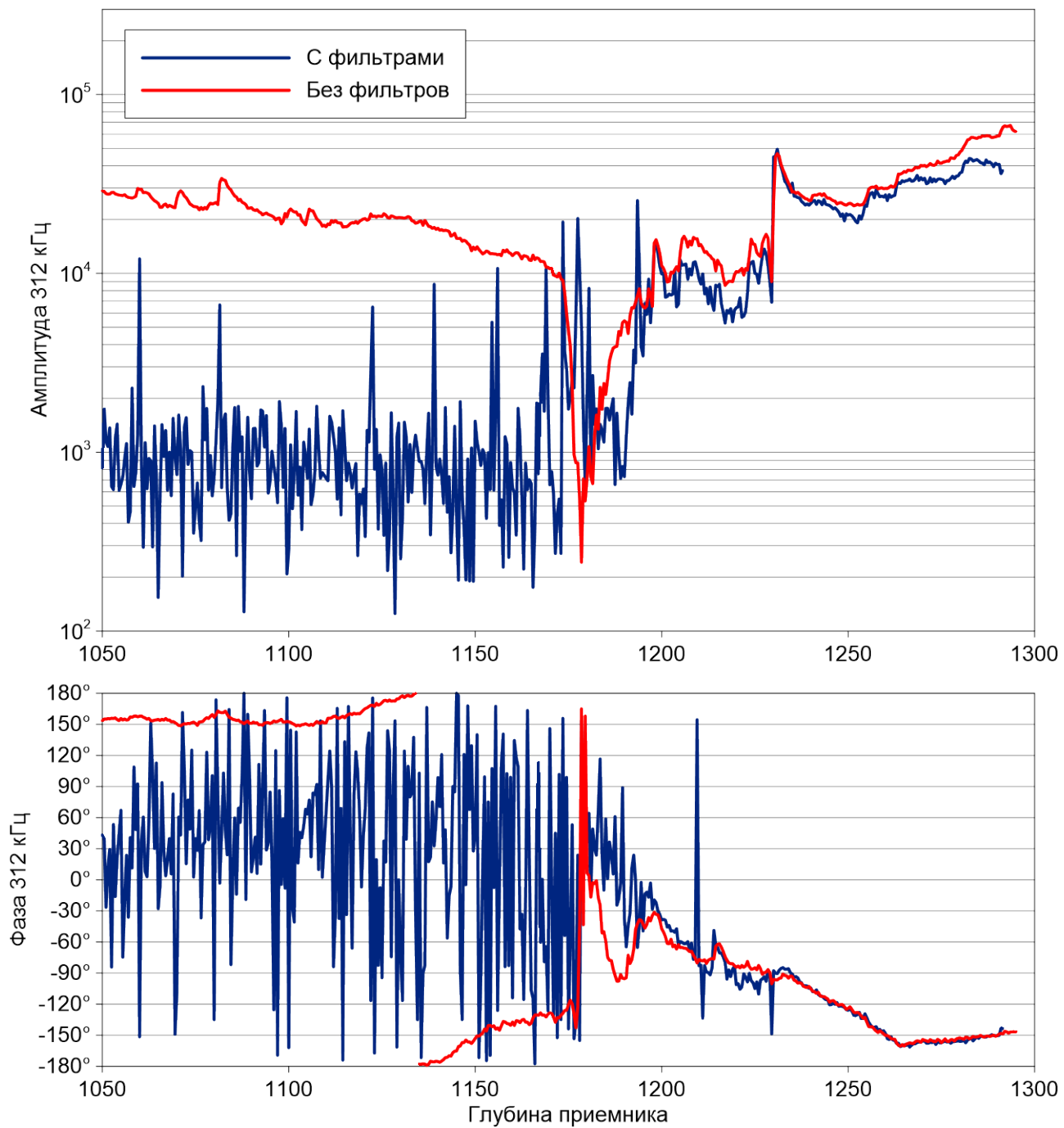


Рис. 10
Графики амплитуды и фазы сигнала приемника.
Частота 312 кГц, стоянка передатчика №2

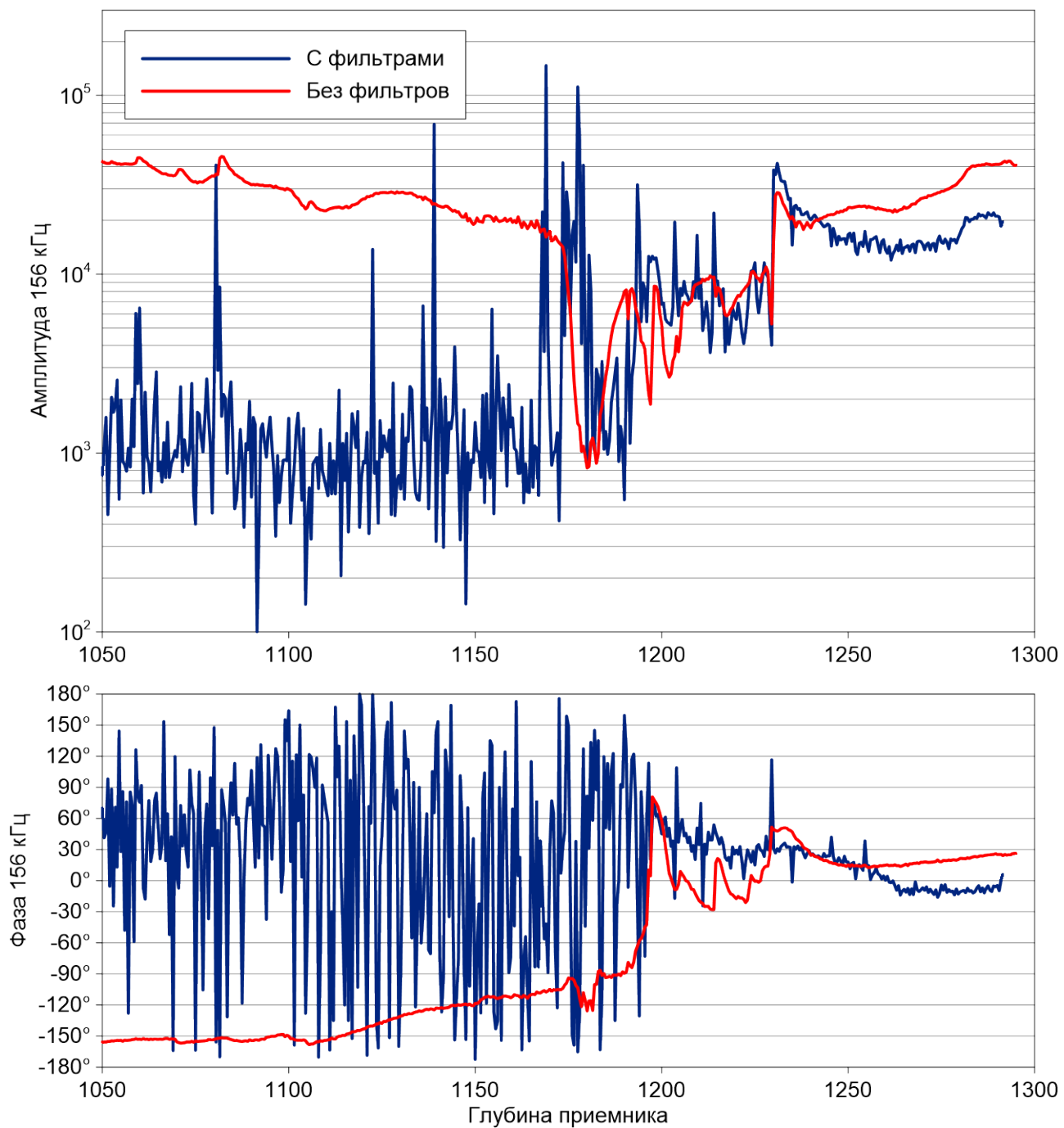


Рис. 11
Графики амплитуды и фазы сигнала приемника.
Частота 156 кГц, стоянка передатчика №2