

Подавление коррелируемых помех в георадиолокации

- Романов В.В., Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина, г. Москва.
- Латышев К.А., Матюшенко А.А., Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, г. Москва.
- Андреев Д.О., Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, г. Москва.

Аннотация: в статье приводится пример применения оптимального фильтра воспроизведения к данным георадиолокации. Предложен алгоритм построения характеристики фильтра на основе значений автокорреляционной функции трасс радарограммы с последующим вычитанием их как мешающего фона из исходных данных.

Ключевые слова: георадиолокация, адаптивная фильтрация, фильтр воспроизведения.

Введение

При частотной фильтрации данных волновых методов применение заранее заданных характеристик фильтров не учитывает нестационарность спектрально-корреляционных параметров и перекрытие спектров сигналов и помех. Поэтому фильтры с постоянной частотной характеристикой относят к неоптимальным. Большая эффективность и степень автоматизации фильтрации достигается при выборе оптимальных (адаптированных) алгоритмов, где оператор фильтра вычисляется на основе информации о спектрах сигнала и помехи с позиции выбранного критерия. В частности, к таким фильтрам относится фильтр воспроизведения (сглаживающий), минимизирующий среднеквадратическое отклонение между обработанной трассой и желаемой формой входного сигнала [Никитин, Петров, 1986]. Фильтр воспроизведения был предложен Колмогоровым и Винером, в частотной области его характеристика вычисляется по формуле:

$$H = \frac{|S|^2}{|S|^2 + \alpha},$$

где H — характеристика фильтра, $|S|$ — модуль комплексной амплитуды желаемого сигнала, α — стабилизирующий коэффициент, 10–15 % от максимального

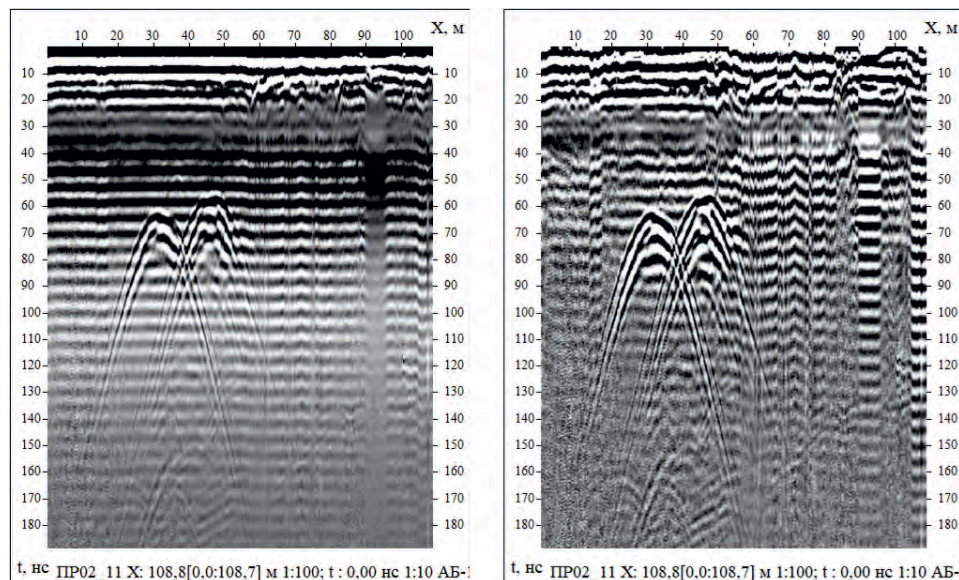
значения S .

Отличительной особенностью фильтра воспроизведения является то, что при некоррелируемой помехе его характеристика полностью определяется амплитудным спектром сигнала, однозначно находимым по его автокорреляционной функции.

В работе фильтр произведения предлагается применять для подавления так называемых “горизонтальных” коррелируемых помех, которые выглядят как множественные горизонтальные оси синфазности, перекрывающие полезные волны. Они возникают вследствие неоднородности приповерхностного слоя [Rhéan, Sélestat, 2012], но могут иметь и чисто аппаратные причины возникновения. Для их подавления традиционно применяются такие алгоритмы, как вычитание среднего или медианная фильтрация, однако применение этих процедур не всегда приводит к нужному результату.

На рисунке 1 показан пример, демонстрирующий недостаточное ослабление коррелируемых помех после вычитания среднего.

Интенсивный коррелируемый шум преобладает в АКФ (автокорреляционной функции) радарограммы, поэтому целесообразно максимально сгладить и стабилизировать помехи найденным по



◀ Рис. 1. Подавление коррелируемых помех вычитанием среднего. Слева — исходная радарограмма, справа — после обработки.

АКФ фильтром воспроизведения и вычесть их из исходных трасс. Результаты применения описанной методики обработки приведены в тексте статьи.

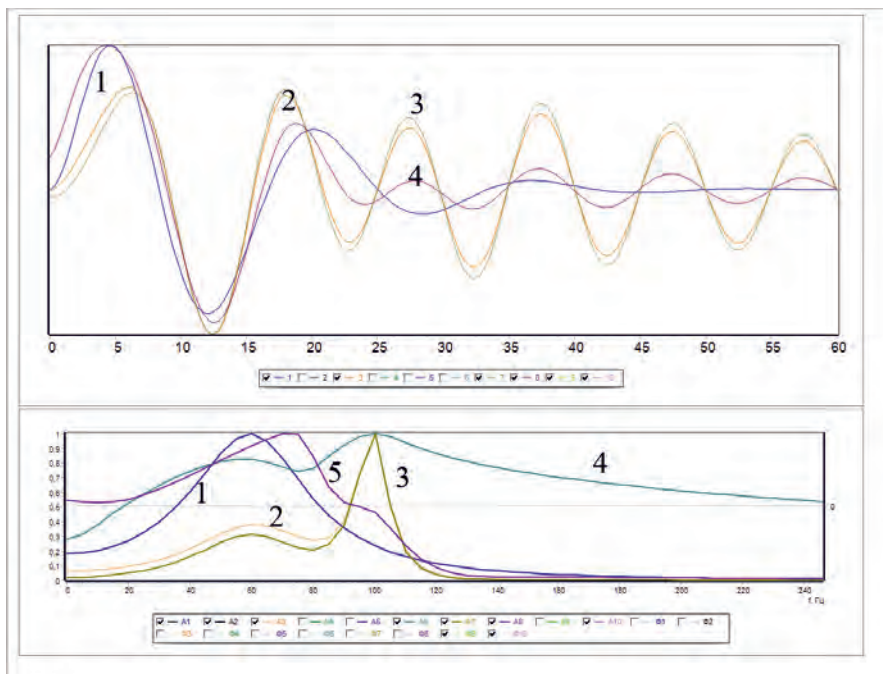
Результаты применения фильтра воспроизведения

Обработка выполнялась в программах Signal(синтез и обработка цифровых сигналов) и ERadarTool (обработка и представление данных георадиолокации), созданных Романовым В.В [ERadarTool, 2016]. В первую очередь алгоритм был опробован на модельных данных, где сигнал (импульс Берлаге) был просуммирован с интенсивной коррелируемой помехой. После расчёта АКФ трассы по её амплитудному спектру был синтезирован и применен частотная характеристика фильтра воспроизведения. На рисунке 2 показаны предварительные и окончательный результаты работы алгоритма. Отмечается близость спектра обработанной трассы к спектру неискажённого сигнала.

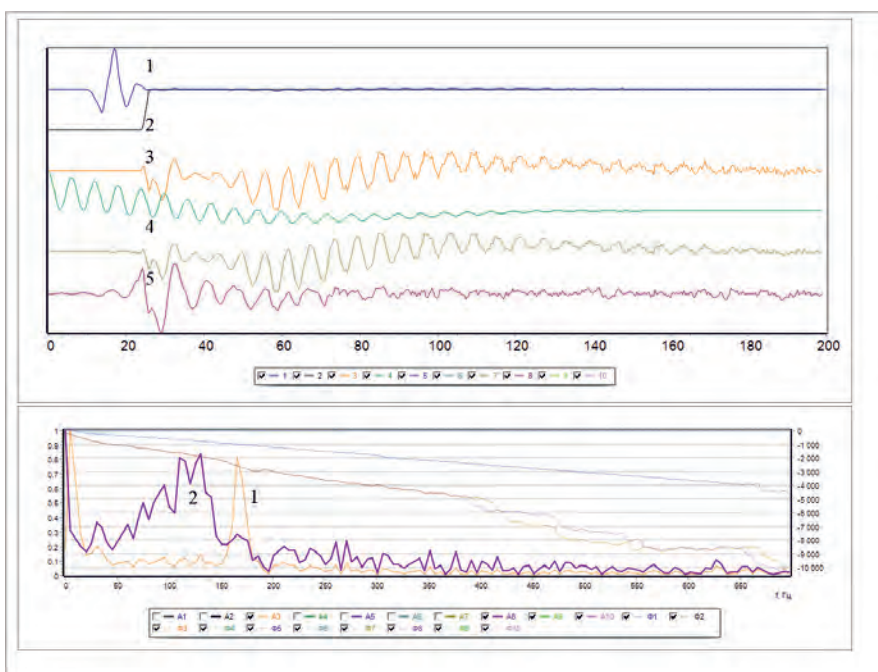
После тестирования и отладки алгоритма вычитания коррелируемых помех на модельных данных, он был опробован на реальных радарограммах. Принимая во внимание доминирование на трассах сигнала прямого прохождения, его

колебания были предварительно подавлены умножением на прямоугольное окно с косинусным сглаживанием. На рисунке 3 показаны результаты обработки трассы радарограммы, полученной антенным блоком АБ–150 (георадар ОКО–3). В спектре трассы после подавления сигнала прямого прохождения выделяются два узких пика — 5 МГц (низкочастотный) и 165 МГц (высокочастотный). Второй пик наблюдается на частоте, немного превышающей центральную частоту АБ (150 МГц) и приурочен к протяжённым некоррелируемым помехам. После применения фильтра воспроизведения фон помех сгладился и стабилизировался. Вычитание обработанной трассы из исходной обеспечило существенное ослабление уровня коррелируемой помехи. Также следует отметить возрастание относительного уровня шума после обработки.

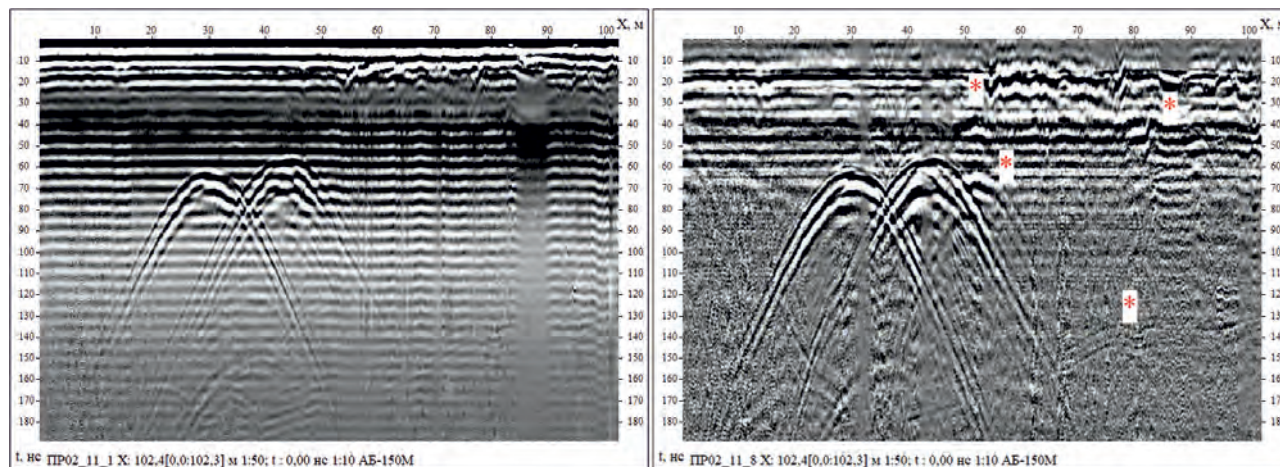
На рисунке 4 показан пример, доказывающий эффективность алгоритма вычитания коррелируемых помех при обработке данных георадиолокации. После обработки уровень помех заметно ослаб, проявились детали волнового поля, ранее не выделяемые визуально. Для снижения уровня белого шума после



▲ Рис. 2. Подавление коррелируемых помех на модельных данных. Сверху: 1— сигнал, 2—модельная трасса, сумма сигнала и коррелируемой помехи, 3— результат применения фильтра воспроизведения, построенного по АКФ трассы, 4 — разность трассы и результата применения фильтра воспроизведения. Снизу: 1— спектр сигнала, 2—спектр суммы сигнала и помехи, 3—спектр АКФ трассы, 4 — частотная характеристика фильтра воспроизведения, 5—спектр окончательного результата обработки.



▲ Рис. 3. Подавление коррелируемых помех на примере трассы полевой радарограммы. Сверху: 1— исходная трасса, 2—окно для подавления сигнала прямого прохождения, 3— трасса после подавления сигнала прямого прохождения, 4 — АКФ трассы, 5 — трасса, обработанная фильтром воспроизведения, 6 — разность исходной и обработанной трасс. Снизу: 1— спектр исходной трассы радарограммы, 2— спектр окончательного результата обработки



▲ Рис. 4. Подавление горизонтальных помех на радарограмме.
Слева — исходная радарограмма, справа — после обработки. На обработанной радарограмме красной звёздочкой показаны не выделяемые ранее объекты.

обработки рекомендуется применение сглаживающей фильтрации.

Выводы

Рассмотренный алгоритм вычитания коррелируемых помех показал высокую эффективность при обработке данных, осложнённых горизонтальными осями синфазности, по сравнению с другими способами обработки, традиционно применяемыми для решения этой проблемы.

Литература

1. Никитин А. А., Петров А. В. Теоретические основы обработки геофизической информации: учебное пособие. — Недра, 1986. — С. 93.

2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016613999 Российская Федерация. ERadarTool - программа обработки георадиолокации : № 2016611478 : заявл. 24.02.2016 : опубл. 12.04.2016 / В. В. Романов. — EDN KSACLT.

Rhénan P. A. I., Sélestat F. Геофизика и превентивная археология во Франции: новые междисциплинарные задачи. — 2012.

Подробнее об авторах



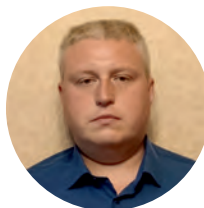
РОМАНОВ
Виктор Валерьевич
Доцент кафедры разведочной геофизики и компьютерных систем факультета геологии и геофизики нефти и газа Российского государственного университета нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина, к.т.н.



ЛАТЫШЕВ
Кирилл Алексеевич
студент, Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе.



МАТЮШЕНКО
Анна Алексеевна
Старший преподаватель кафедры геофизики, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе.



АНДРЕЕВ
Дмитрий Олегович
Ведущий инженер лаборатории инженерной геофизики и сейсмического микрорайонирования Института геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН