

Секция №1, стендовый

УДК 550.837

## ПРОГРАММНАЯ СИСТЕМА PRC\_MTMV ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ СИНХРОННЫХ МТ/МВ ЗОНДИРОВАНИЙ

**Варенцов Ив.М.**

Центр геоэлектромагнитных исследований Института физики Земли РАН, Москва, Троицк

Представляется программная система PRC\_MTMV, реализующая алгоритмы многоточечной обработки синхронных МТ/МВ данных, разработанные в ЦГЭМИ ИФЗ РАН. Кратко рассматриваются ее структура, функциональное наполнение и методические основы. Приводятся примеры ее работы в различных приложениях.

*Ключевые слова:* магнитотеллурический и магнитовариационный методы, синхронные зондирования, анализ временных рядов, гармонический анализ, оценивание передаточных функций, многомерная отбраковка и осреднение оценок, робастные методы

С внедрением в 70-х годах цифровых регистрирующих систем с высокоточной синхронизацией пришло понимание важности синхронных наблюдений для подавления помех в традиционных магнитотеллурических (МТ) и магнитовариационных (МВ) зондированиях. Технологии двухточечных зондирований с удаленной базой (“remote reference”, RR) стали мощным средством борьбы с систематическими искажениями локальных передаточных операторов - импеданса и типпера. В результате для “шумных” записей точность оценивания в синхронных системах существенно возросла. Кроме того, появилась возможность массового вовлечения в интерпретацию дополнительных синхронных передаточных операторов – прежде всего, горизонтального МВ отклика.

Большинство современных подходов к оцениванию передаточных операторов основаны на принципах обобщенного гармонического анализа и робастных методах линейного оценивания в частотной области [1,2]. Для прошедших препроцессинг записей ЭМ поля ведется последовательный Фурье-анализ отрезков МТ процесса и накопление линейных уравнений (связывающих спектральные компоненты ЭМ полей) по серии отрезков для каждого интервала периодов оценивания. Накопленные сильно избыточные системы линейных уравнений решаются целиком, либо по частям с последующим усреднением.

Такой подход последовательно реализуется в разработанной в ЦГЭМИ ИФЗ РАН программной системе PRC\_MTMV [3], обеспечивающей совместное помехозащищенное оценивание импеданса, типпера, горизонтального МВ отклика по синхронным МТ/МВ записям в серии точек наблюдения. В начале 2014 г. основные компоненты данной системы станут доступными для свободного использования при академических исследованиях.

Система PRC\_MTMV состоит из двух основных интерактивно-графических модулей, выполняющих оценивание и анализ передаточных операторов, и серию утилит, обеспечивающих импорт первичных данных (временных рядов, частотных характеристик, параметров систем наблюдения) с различных измерительных платформ (Phoenix, LEMI, GEOMAG, INTERMAGNET и др.) во внутренние форматы системы, их препроцессинг, а также постпроцессинг и преобразование результатов оценивания из внутреннего формата FTF в форматы EDI, IDE и TAB.

Методика оценивания передаточных операторов основана на получении частных оценок (как RR, так и одноточечных, SS) для отдельных отрезков (окон) записей, их отбраковке/взвешивании по когерентностным и иным критериям. Оценивание ведется независимо для набора окон увеличивающейся длины и серии удаленных точек с последующим многоуровневым робастным осреднением (*первичным* - прошедших отбраковку частных оценок для окна фиксированной длины, *многооконным* - итоговых результатов для разных окон и *мульти-RR* - результатов для разных RR точек) [3,4]. Отбраковка частных SS- и RR-оценок ведется в случаях низкой множественной когерентности (низком качестве линейных связей) и высокой входной когерентности (сильной линейной поляризации магнитных каналов), как для отдельных периодов (“локальная” отбраковка), так и в среднем для всего диапазона периодов оценки (“глобальная”) [4]. Исключение отрезков с интенсивным низко когерентным шумом облегчает настройку методов робастного осреднения на выделение высоко когерентного МТ сигнала.

Высокая точность алгоритмов оценивания передаточных операторов в системе PRC\_MTMV продемонстрирована на серии синтетических тестов в рамках международного проекта COMDAT [5,6].

Метод мульти-RR оценивания с когерентными критериями отбраковки получил широкую апробацию при определении импедансов и типперов в масштабном эксперименте BEAR. В каждом пункте BEAR было использовано от 3-4 до 9 удаленных точек, расположенных под разными азимутами на удалениях от 100 до 1000 км (рис. 1). Такая схема обработки данных позволила не только подавить инструментальные и промышленные помехи на коротких периодах, но и повысить устойчивость результатов в длиннопериодном диапазоне [4,7]. Во всех случаях отмечались устойчивость горизонтальных линейных связей магнитного поля и некоррелированность шумов.

На территориях, насыщенных индустриальными объектами, распространение ЭМ помех имеет обычно региональный характер в масштабе десятков и даже первых сотен км с уровнем пространственной когерентности шумов не хуже, а порой и лучше, чем для МТ сигнала. Тогда выбор удаленных точек сложен, а критерии когерентностной отбраковки малоэффективны. В этом случае в системе PRC\_MTMV применяются дополнительные критерии отбраковки, основанные на контроле пространственной структуры горизонтального МВ поля ("магнитном контроле", МС) в ходе анализа оценок горизонтального МВ оператора между точкой зондирования и RR точками. При этом учитываются различия между плавностью пространственных изменений горизонтальных МВ полей от МТ источника и их резкостью для близких возбудителей помех – электрических диполей, имеющих другой импеданс по сравнению с плоской волной. При оценивании импеданса и типпера используются МС критерии "предельной изменчивости", "взаимности", "высокой когерентности" частных оценок горизонтального МВ отклика и "предельной амплитуды" типпера [3]. Таким образом, ведется совместный анализ всех трех передаточных операторов. МС критерии отбраковки позволяют эффективно определять и сам горизонтальный МВ отклик по двухточечной МС схеме [9], в то же время RR-оценивание здесь требует трех синхронных точек (основной, базовой и удаленной).

Алгоритм RRMC оказался весьма эффективным в целом ряде регионов с высоким уровнем промышленных шумов. В частности, он позволил подавить интенсивные помехи от железных дорог и других индустриальных объектов при проведении синхронных зондирований (длиннопериодных и разведочных) в СЗ Польше (рис. 2,3), СВ Германии, ЮЗ России и северной Украине [3,8-10]. Для увеличения числа RR точек в этих исследованиях активно использовались МВ наблюдения в ближних геомагнитных обсерваториях.

Подготовка программной системы PRC\_MTMV к свободному распространению ведется при частичной поддержке грантов РФФИ 11-05-12030\_офим и 13-05-12094\_офим. Автор благодарен Н.Г. Голубеву, Е.Ю. Марганус, К.В. Наливайко, В.Ю. Семенову, М.Ю. Смирнову, Е.Ю. Соколовой и Т. Эрнсту за полезные обсуждения и участие в опробовании данной системы.

1. Семенов В.Ю. Обработка данных МТ зондирования. М.: Недра. 1985. 133 с
2. Egbert G.D. Processing and interpretation of EM induction array data // *Surv. Geophys.* 2002. V. 23. P. 207-249
3. Varentsov Iv. M. Arrays of simultaneous EM soundings: design, data processing and analysis // *EM sounding of the Earth's interior (Methods in geochemistry and geophysics, 40)*. New York: Elsevier. 2007. P. 263-277
4. Варенцов Ив.М., Соколова Е.Ю., Марганус Е.Р. и др. Методика построения передаточных операторов ЭМ поля для массива синхронных зондирований BEAR // *Физика Земли*. 2003. №2. С. 30-61
5. Варенцов Ив.М., Соколова Е.Ю. Генерация синтетических серий МТ данных // *Физика Земли*. 1994. №6. С. 80-88
6. Ernst T., Sokolova E.Yu., Varentsov Iv.M., Golubev N.G Comparison of two MT data processing techniques using synthetic data sets // *Acta Geophys. Pol.* 2001. V. 49(2) . P. 213-243
7. Варенцов Ив.М., Корья Т., Смирнов М.Ю. и др. Эксперимент BEAR - синхронное ЭМ зондирование Балтийского щита и его передаточные функции // *Строение и динамика литосферы Восточной Европы. Результаты исследований по программе EUROPROBE*. М.: Геокарт. 2006. С. 79-94
8. Varentsov Iv.M., Sokolova E.Yu., EMTESZ-Pomerania WG The magnetic control approach for the reliable estimation of transfer functions in the EMTESZ-Pomerania project // *Study of geological structures containing well-conductive complexes in Poland*. Publ. Inst. Geoph., Pol. Acad. Sci. C-95(386). 2005. P. 67-80
9. Varentsov Iv. M., EMTESZ-Pomerania WG Method of horizontal MV sounding: techniques and application in the EMTESZ-Pomerania project // *Protokoll uber das 21 Kolloquium "Elektromagnetische Tiefenforschung"* (Eds. O. Ritter, H. Brasse). Potsdam: Dtsch. Geophys. Ges., 2005. P. 111-123

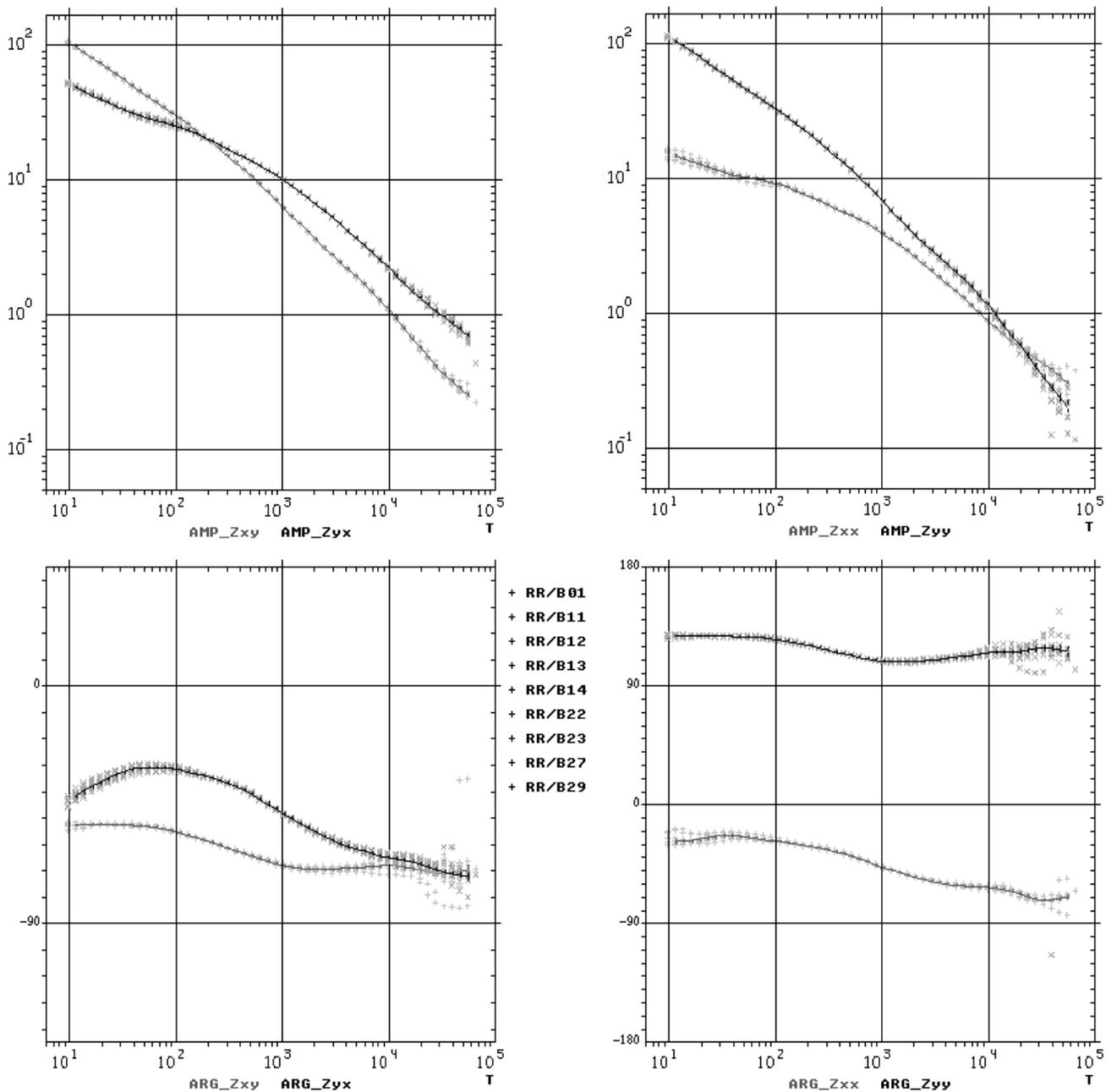


Рис. 1. “Облака” RR оценок импеданса в т. В02 (центральная Швеция) эксперимента BEAR [4] для серии из 9 удаленных пунктов (в 100-900 км, названия - в легенде) и построенная путем их робастного осреднения мульти-RR оценка (сплошные кривые): сверху – амплитуды главных (слева) и дополнительных (справа) компонент, внизу – аналогичные фазовые оценки. Все RR оценки обеспечивают подавление больших систематических искажений, наблюдаемых при SS оценивании компонент  $Z_{xx}$  и  $Z_{yx}$  на периодах до 300-1000 с, но на периодах выше 10000 с мульти-RR осреднение позволяет преодолеть разброс отдельных RR оценок.

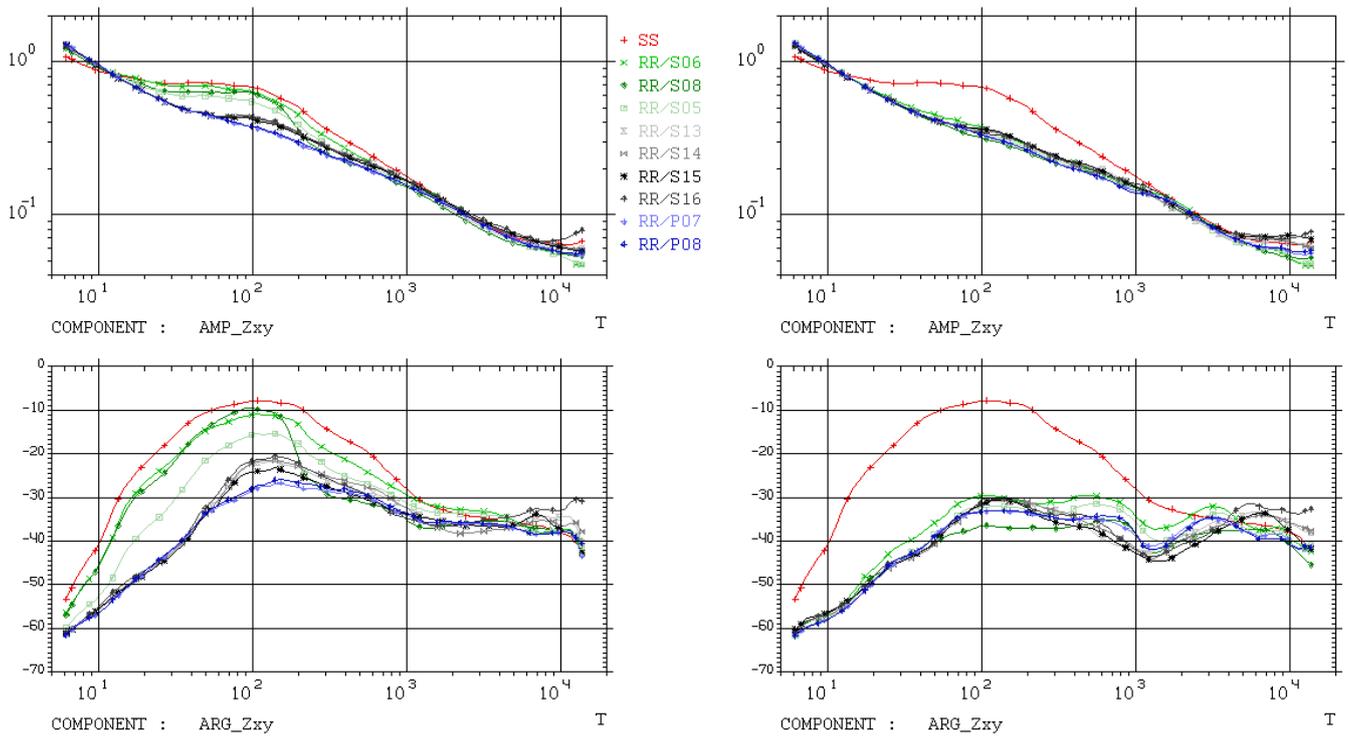


Рис. 2. Синхронное определение импеданса  $Z_{xy}$  [3] в п. S07 на профиле P2 эксперимента EMTESZ-Pomerania [3], расположенной (рис. 3) в 10 км от ж/д, электрифицированной на постоянном токе: слева - стандартные RR оценки для серии удаленных точек (S06, S08 и S05 в 9, 14 и 18 км, S13-S16 - в 60-90 км и P07, P08 - в 160 и 195 км), справа - более эффективные RRMC оценки, для сравнения красным показаны сильно искаженные одноточечные (SS) оценки;верху - амплитуда, внизу - фаза. При RRMC оценивании обеспечивается существенное подавление шумов для всех рассмотренных RR-точек, даже самых ближних, а надежные результаты получаются при удалении в первые десятки км, в то время как в стандартной схеме приходится относить RR точку далее 150 км, что сильно ограничивает возможности мульти-RR осреднения.

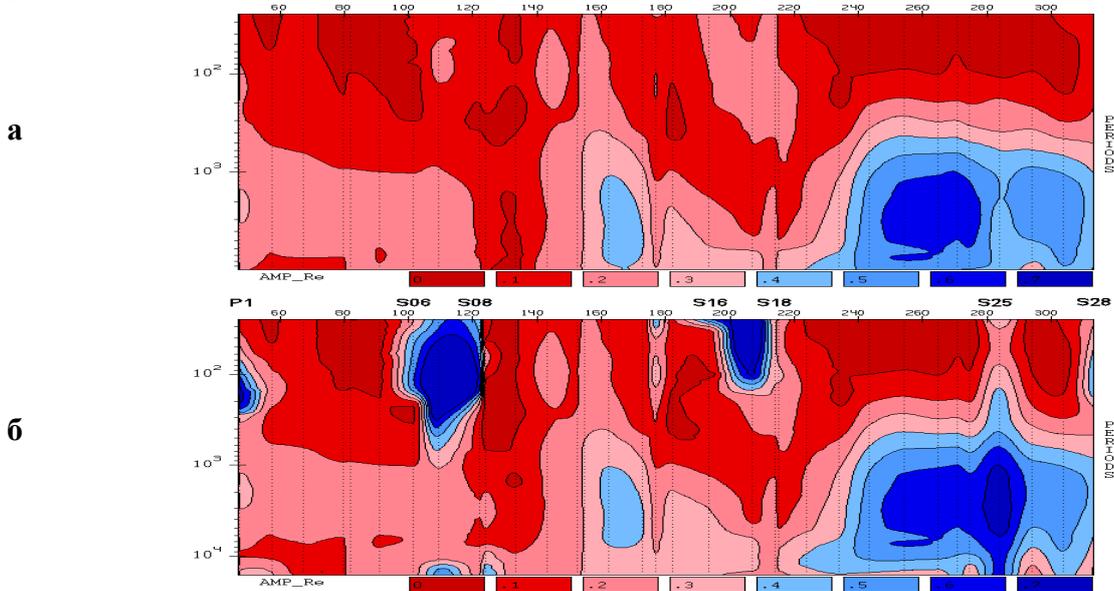


Рис. 3. Псевдоразрезы длин действительных векторов индукции вдоль профиля P2 в эксперименте EMTESZ-Pomerania [8], построенные по RRMC (а) и одноточечным SS (б) оценкам. Сильные искажения SS оценок в окрестностях электрифицированных ж/д (п. S06-S08, S16-S18 и S25) и аэродрома (п. P1) практически не проявляются в RRMC результатах.