

*Ю. Г. Карин¹**

Применение цифровых частотных фильтров для постобработки данных электромагнитного профилирования и аэрофотосъемки

¹ Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН,
г. Новосибирск, Российская Федерация
* e-mail: karinyg@ipgg.sbras.ru

Аннотация. В ходе полевого сезона 2022 года проведены опытные геофизические исследования на территории археологического памятника поселения Гришкина рыбалка. Испытывался прототип аппаратуры электромагнитного профилирования, созданный на базе и с применением принципов компенсации прямого поля аппаратуры Геовизер. Полученные данные профилирования в пешеходном режиме были существенно зашумлены, природа шумов связана с вертикальным перемещением прибора в процессе непрерывной пешеходной съемки. Для подавления вышеуказанных шумов была использована программа PowerGraph, в арсенале которой имеется инструмент частотной фильтрации данных. Ее применение к данным электромагнитного профилирования и аэрофотосъемки (АФС) позволило повысить достоверность выделения искомым объектов. В случае с электромагнитным профилированием частотная фильтрация устраняет влияние вертикального перемещения аппаратуры в процессе непрерывной пешеходной съемки. В случае с данными АФС частотная фильтрация выравнивает контраст разноглубинных аномалий, связанных с антропогенными объектами и исключает влияние эрозионного рельефа.

Ключевые слова: электромагнитное профилирование, обработка данных электромагнитного профилирования, геотехнологии

*Y. G. Karin¹**

Application of digital frequency filters for post-processing of electromagnetic profiling and aerial photography data

¹ Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk,
Russian Federation
* e-mail: karinyg@ipgg.sbras.ru

Abstract. During the field season of 2022, experimental geophysical studies were carried out on the territory of the archaeological site of the settlement of Grishkina Rybalka. A prototype of the electromagnetic profiling equipment was tested, created on the basis and using the principles of direct field compensation of the Geoviser equipment. The obtained profiling data in the pedestrian mode were significantly noisy, the nature of the noise is associated with the vertical movement of the device during continuous pedestrian shooting. To suppress the above noise, the PowerGraph program was used, which has a frequency data filtering tool in its arsenal. The application of which to the data of electromagnetic profiling and aerial photography made it possible to increase the reliability of the selection of the desired objects. In the case of electromagnetic profiling, frequency filtering eliminates the influence of vertical movement of the equipment during continuous pedestrian shooting. In the case of APS data, frequency filtering equalizes the contrast of mid-depth anomalies associated with anthropogenic objects and excludes the influence of erosion relief.

Keywords: electromagnetic profiling, electromagnetic profiling data processing, geotechnology

Введение

Малоглубинные аппаратурные реализации электромагнитного профилирования и индукционного зондирования, функционирующие в частотной области, достаточно широко распространены и применяются в т.ч. на археологических памятниках, особенно за рубежом [1, 2]. В ИНГГ СО РАН ведется разработка двухкатушечной трехчастотной аппаратуры «Геовизер», имеющей оригинальную компоновку катушек с расположением приемной катушки в области компенсации прямого поля генераторной катушки [3]. В ходе полевого сезона 2022 года проведены опытные геофизические исследования на территории археологического памятника поселения Гришкина рыбалка [4]. Расстояние от дневной поверхности до генераторной катушки в процессе непрерывной пешеходной съемки не всегда возможно поддерживать постоянным. В связи с изменением этого расстояния меняется уровень регистрируемого аппаратурой сигнала. В результате карты распределения регистрируемого сигнала по исследуемой площади сильно зашумлены. В непрерывном режиме измерений аппаратура Геовизер позволяет производить 3-5 измерений в секунду. В случае изучения, например, археологических объектов стоит ожидать распределения точек измерений по 5-10 штук и более на объект, в зависимости от скорости перемещения прибора и размера объекта. Оператор аппаратуры перемещается по исследуемому участку со скоростью 0,5-1,5 метра в секунду. Таким образом, частота изменения сигнала из-за изменения положения прибора над поверхностью земли минимум в 2-4 раза выше, чем частота изменения сигнала, связанная с влиянием искомого объекта. Ожидается, что частотная фильтрация данных после проведения полевых измерений может улучшить качество получаемого материала.

Аппаратура, программное обеспечение, обработка данных

Профилирование выполнялось на частоте 100 кГц с привязкой по RTK GPS (Emlid.com). В ходе работ в полевых условиях обеспечивалась точность привязки 3-5 см в плане.

Обработка данных аппаратуры «Геовизер» заключалась в анализе и фильтрации непосредственно регистрируемого сигнала. Для этого массив данных сортировался в порядке регистрации каждого измерения. Для каждого измерения создавалась дополнительная ячейка с временной отметкой таким образом, чтобы между соседними измерениями была разница по времени в одну секунду. Данные загружались в программу PowerGraph (<http://www.powergraph.ru>), где производилась цифровая фильтрация данных электромагнитного профилирования по частоте. Первоначально параметры фильтра низкой частоты подбирались таким образом, чтобы полностью исключить влияние вертикального смещения прибора во время проведения измерений. Затем производилась фильтрация высоких частот, чтобы исключить аномалии сигнала, связанные с геологическим строением исследуемого участка, размер которых в несколько раз больше искомым объектам.

Были применены функции частотной фильтрации сигналов – FIR Filters. Эта категория функций представляет собой не рекурсивные частотные фильтры (фильтры с конечной импульсной характеристикой). Для фильтров верхних и нижних частот единственным численным аргументом функции является частота среза фильтра (F , Гц) (<http://www.powergraph.ru>).

Аэрофотосъемка производилась с помощью компактного квадрокоптера Mavic Air (www.dji.com) на высоте до 50 метров в автоматическом режиме, маршрут полета создавался в ПО Drone Harmony (Drone Harmony Infrastructure digitalization, Швейцария). Перекрытия снимков в обоих направлениях составляли 80%, скорость перемещения квадрокоптера выбиралась таким образом, чтобы за 7 минут полетного времени покрыть всю площадь памятника. Время полета квадрокоптера ограничено емкостью батареи и погодными условиями. Данные фотограмметрии обрабатывались с помощью ПО Metashape (Agisoft, Россия) [5]. Обработка, оформление, визуализация цифровых моделей рельефа и карт относительных высот выполнены в ПО Surfer (Golden Software, США).

Результаты

На рис. 1 представлены карты распределения сигнала аппаратуры электромагнитного профилирования Геовизер, положенные на карту высот, построенную по результатам аэрофотосъемки. Красными линиями обозначены жилищные западины, выделяемые по данным АФС.

До фильтрации данных карты осложнены точечными разнополярными аномалиями, на фоне которых аномалии, приуроченные к жилищным западинам, не выделяются. На карте распределения уровня сигнала X компоненты выделяется аномалия, связанная с древним зольником. После фильтрации (фильтр низких частот, частота среза 0,1 Гц) аномалии размером в 1-2 точки измерений отсутствуют на картах обоих компонент сигнала. Не все жилищные западины выделяются на картах после фильтрации, тем не менее информативность обработанных фильтрами данных выше. К тому же в западной части памятника на карте распределения Y компоненты сигнала можно выделить аномалию, по размеру соответствующую жилищной западине. Однако в рельефе аналогичная аномалия не наблюдается (рис.1).

На рис. 2 показаны карты высот до фильтрации и после нее. На исходной карте, отображающей особенности рельефа, можно выделить до 10 жилищных западин. Однако глубины западин отличаются, поэтому не все объекты на карте высот выделяются одинаково контрастно, следовательно, достоверность их обнаружения различна. Вполне вероятен случай, что из-за неправильно подобранной цветовой гаммы шкалы некоторые объект могут быть пропущены. Применение частотных фильтров по схеме, описанной выше для данных электромагнитного профилирования, позволяет снизить влияние эрозионного рельефа и подчеркнуть антропогенные рельефные аномалии. Наиболее информативными в данном случае являются фильтры диапазона частот (500-3000 Гц) и фильтр высоких частот (выше 500 Гц). В результате фильтрации контраст жилищных западин, имеющих глубину менее 1 м, становится выше, для западин с глубиной более 2 м контраст снижается, но эти объекты все равно выделяются достоверно.

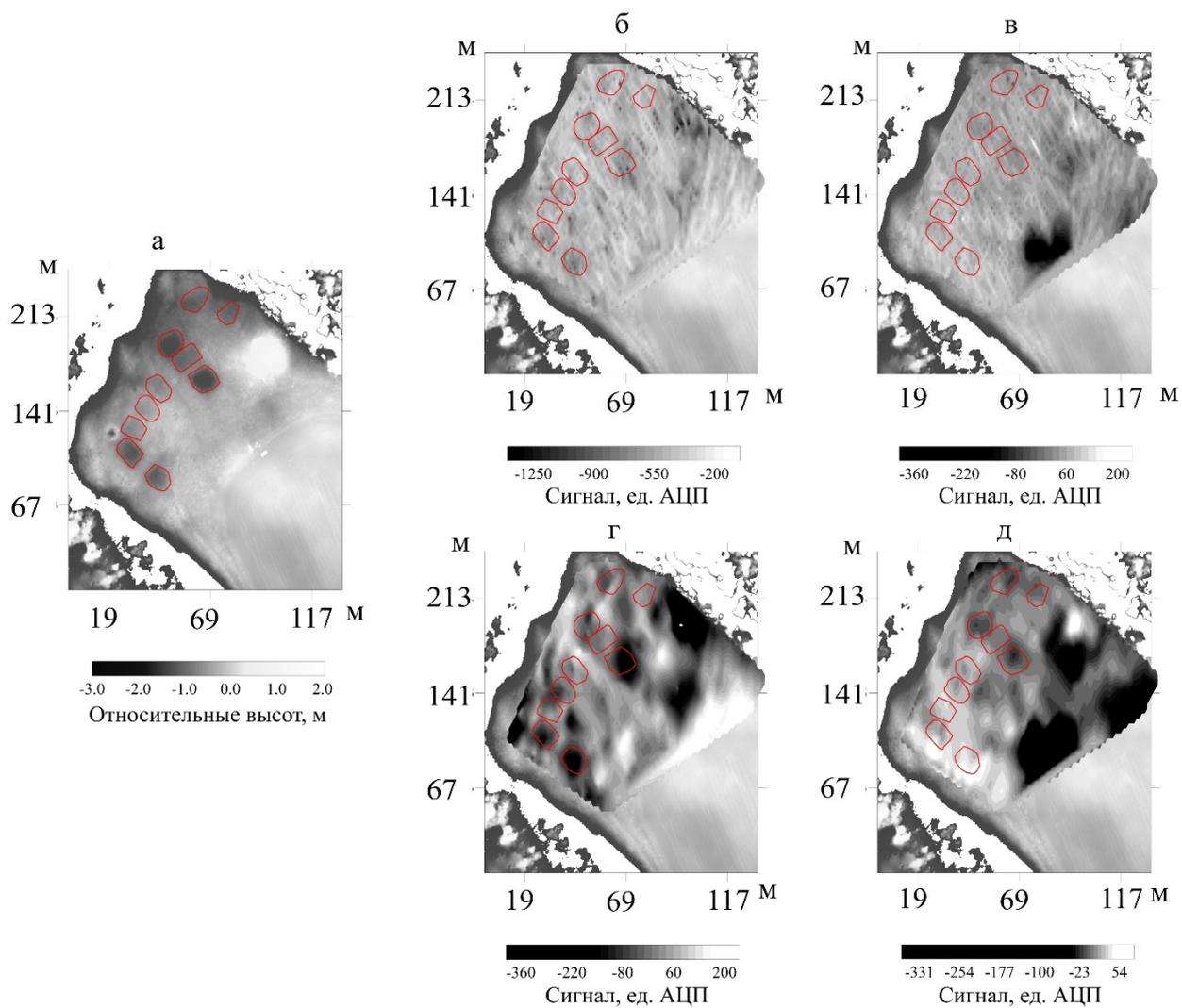


Рис. 1. Карта высот (а), карта амплитуды Y компоненты сигнала до обработки (б), карта амплитуды X компоненты сигнала до обработки (в), карта амплитуды Y компоненты сигнала после обработки (г), карта амплитуды X компоненты сигнала после обработки (д)

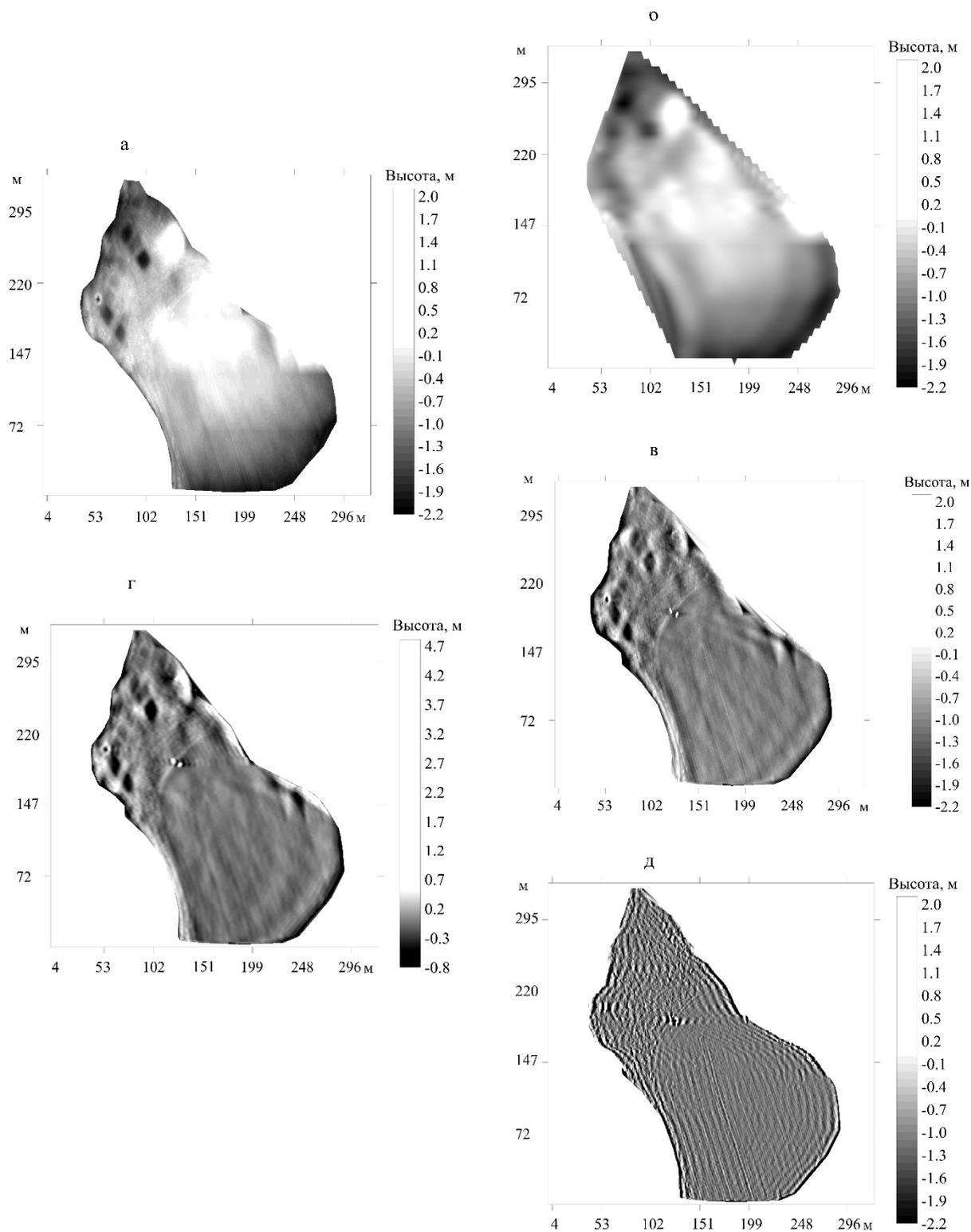


Рис. 2. Карта высот до применения фильтров (а), после применения фильтра $НЧ < 500\text{ Гц}$ (б), после применения фильтра $ВЧ > 500\text{ Гц}$ (в), после применения фильтра полосового $500-3000\text{ Гц}$ (г), после применения фильтра $ВЧ > 3000$ (д)

Заключение

Применение частотной фильтрации к данным электромагнитного профилирования и аэрофотосъемки позволяет повысить достоверность выделения искоемых объектов. В случае с электромагнитным профилированием частотная фильтрация позволяет устранить влияние вертикального перемещения аппаратуры в процессе непрерывной пешеходной съемки. В случае с данными АФС частотная фильтрация позволяет выровнять контраст разноглубинных аномалий, связанных с антропогенными объектами и исключить влияние эрозионного рельефа.

Работа выполнена в рамках проекта НИР FWZZ-2022-0025.

Благодарности

Автор выражает благодарность ООО КБ Электрометрии, а также Балкову Е.В., Фадееву Д.И., Попову И.А за материальную и техническую помощь при проведении полевых работ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Dalan R.A. Defining archaeological features with electromagnetic surveys at the Cahokia Mounds State Historic Site // *Geophysics*. – 1991. – Vol. 56. – №8. – P. 1280–1287.
2. Huang H., Won I.J. Real-time resistivity sounding using a hand-held broadband electromagnetic sensor // *Geophysics*. – 2003. – Vol. 68. – №4. – P. 1224–1231.
3. Карин Ю.Г., Балков Е.В., Фадеев Д.И., Манштейн А.К., Панин Г.Л., Алымов А.О., Романов Д.Б. Электромагнитное профилирование компактной аппаратурой: новый подход и результаты применения // *Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии*. – 2018. – том 16. – № 4. – С. 68-78.
4. Карин, Ю. Г., Позднякова, О. А., Балков, Е. В., Шапаренко, И. О., Панин, Г. Л., & Фадеев, Д. И. Опыт использования дистанционных методов для экспресс-оценки устройства археологических памятников // *Проблемы археологии, этнографии, антропологии Сибири и сопредельных территорий*. – 2022. – №28. – С.548-554 -2022.
5. Балков Е.В., Карин Ю.Г., Позднякова О.А., Шапаренко И.О., Гоглев Д.А. Аэрофотосъемка с БПЛА в поисковых задачах археологии: обзор и практические примеры // *Геофизические технологии*. – 2020. – №3 – С. 38-47 – 2020.

© Ю. Г. Карин, 2023