

ного вращения Земли показывает, что сейсмическая активность существенно возрастает в периоды замедления вращения Земли. Поскольку при уменьшении скорости вращения энергия вращающегося тела становится меньше, то разность энергий может высвободиться, в том числе в виде сейсмических событий.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Программы ФНИ,
проект № 0422-2019-0146-С-02 (регистрационный номер темы НИОКТР:
АААА-А18-118040690028-5)*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Киселев В. М. Неравномерность суточного вращения Земли / отв. ред. Ю.Д. Калинин. – Новосибирск: Наука, 1980. – С. 160.: ил.
2. Сидоренков Н.С. Физика нестабильностей вращения Земли – М.: Наука, Физматлит, 2002. – 380 с.: ил. – С. 15, 112, 159, 346-349.

УДК 550.838

DOI:10.7242/echo.2020.4.14

ТЕХНОГЕННЫЕ ПОМЕХИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ МАГНИТОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

П.Н. Новикова

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: Рассматриваются основные типы техногенных помех при исследованиях методом магниторазведки. Обсуждаются вариации магнитного поля в пределах городских и промышленных территорий. Приведены практические примеры, демонстрирующие характер магнитного поля вблизи подземных коммуникаций, высоковольтных линий электропередач, локальных технических объектов. Предложены методы фильтрации и разделения техногенных помех разных типов.

Ключевые слова: техногенные помехи, магниторазведка, EMD-разложение, техногенный объект, фильтрация, статистическая трансформация.

Введение

Задача обнаружения и локализации техногенных и археологических объектов методом магниторазведки не теряет своей актуальности в наземных, гидромагнитных и беспилотных исследованиях. При производстве таких магниторазведочных работ традиционно различают помехи геологического и негеологического происхождения. Геологические помехи, например, могут быть связаны со сложно намагниченным геологическим разрезом, в котором расположены искомые объекты [5]. Помехи негеологического генезиса можно условно разделить на переменные и постоянные [6, 8]. Помехи переменного типа могут представлять из себя или электромагнитное излучение, источниками которого являются различные линии электропередач, или импульсные помехи от движущегося транспорта, трамвайных и ж/д путей и т.д. Помехи постоянного типа вызваны подземными и наземными магнитными объектами.

Вариации магнитного поля урбанизированных территорий

Наличие техногенных помех в полевых данных напрямую зависит от количества и удаленности источников электромагнитного излучения. Средняя интенсивность поме-

хи может варьироваться от единиц и десятков нТл до нескольких сотен нТл в пределах городских и промышленных территорий. В основном промышленные помехи являются низкочастотными, а их морфология представляет сумму нескольких типов сигналов. Преимущественно это квазипериодические или импульсные компоненты. Опыт полевых работ в пределах урбанизированных территорий показывает, что наблюдаемые помехи являются быстроизменяющимися, и даже при близком расположении магнитова-риационной станции (МВС) к участку наблюдения в стандартной процедуре учета вариаций в полевых данных остаются нежелательные компоненты [7, 9, 10].

На рисунке 1а показана импульсная помеха, создаваемая проезжающим автомобильным транспортом. Такой сигнал является наиболее простым для фильтрации из полевых данных. На рисунке 1б показан типичный график вариаций магнитного поля на участке измерения с удаленными электросетями и высоковольтными линиями электропередач (ЛЭП). В данной ситуации необходимо применять специальные процедуры фильтрации, устраняющие переменную помеху из полевых данных.

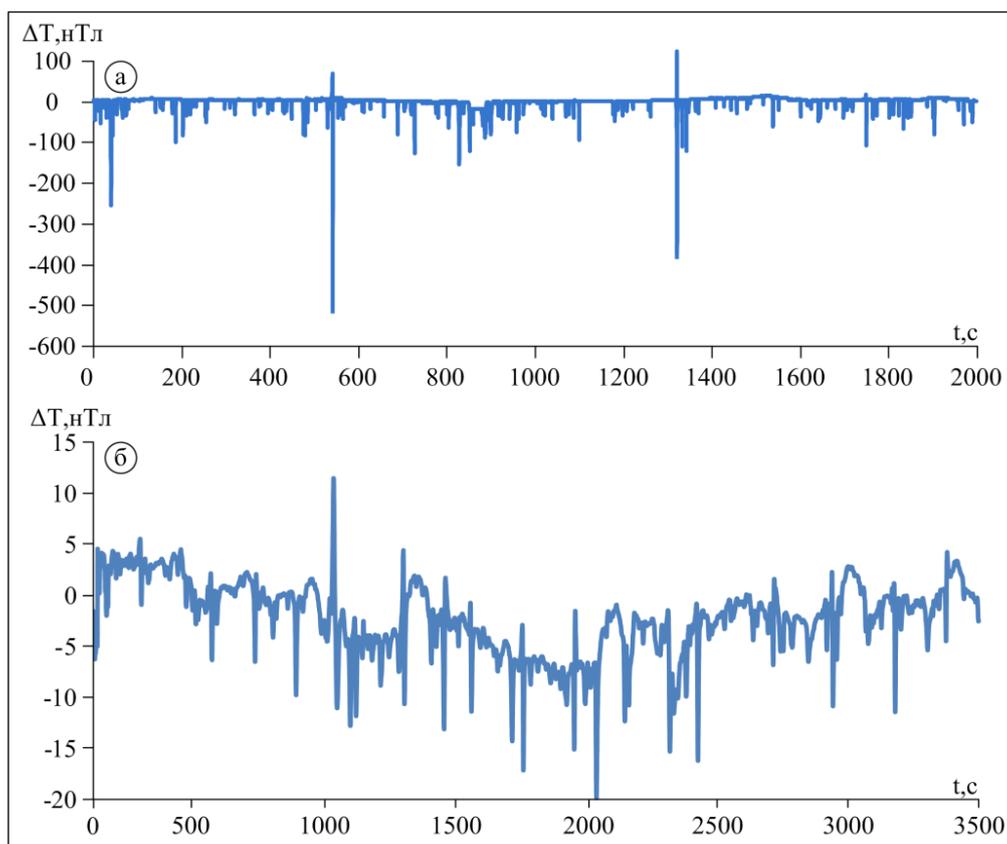


Рис. 1. Вариации магнитного поля:

а – вблизи автомобильной дороги; б – на участке с расположением нескольких удаленных источников электромагнитного поля

Техногенные помехи от наземных и подземных коммуникаций

Подземные инженерные сети могут быть источниками помех как постоянного типа (газопровод, водопровод, коллектор), так и переменного (электросети, кабели связи и освещения).

Главный признак всех коммуникаций это выраженная линейность магнитных аномалий. Коллекторы и водопроводы обычно отражаются в магнитном поле положительной линейной магнитной аномалией, но с резко меняющейся амплитудой вдоль оси

объекта (рис. 2а). Наиболее часто такая смена амплитуды приходится на места стыка труб. Низковольтные сети отображаются отрицательной линейной аномалией также с переменной амплитудой. Влияние таких объектов на возмущение магнитного поля всего участка исследования обычно локализовано границами самих сетей.

Наиболее сложный характер магнитного поля дают подземные высоковольтные электрические сети (рис. 2б, в). Обычно они отображаются чередованием интенсивных положительных и отрицательных аномалий (рис. 2в), реже – мозаичным характером магнитного поля также с интенсивными положительными и отрицательными аномалиями (рис. 2б), что может быть связано с наличием нескольких сближенных параллельных электрокабелей. Влияние таких сетей может быть ощутимо на десятки метров от проекции самой сети на дневную поверхность.

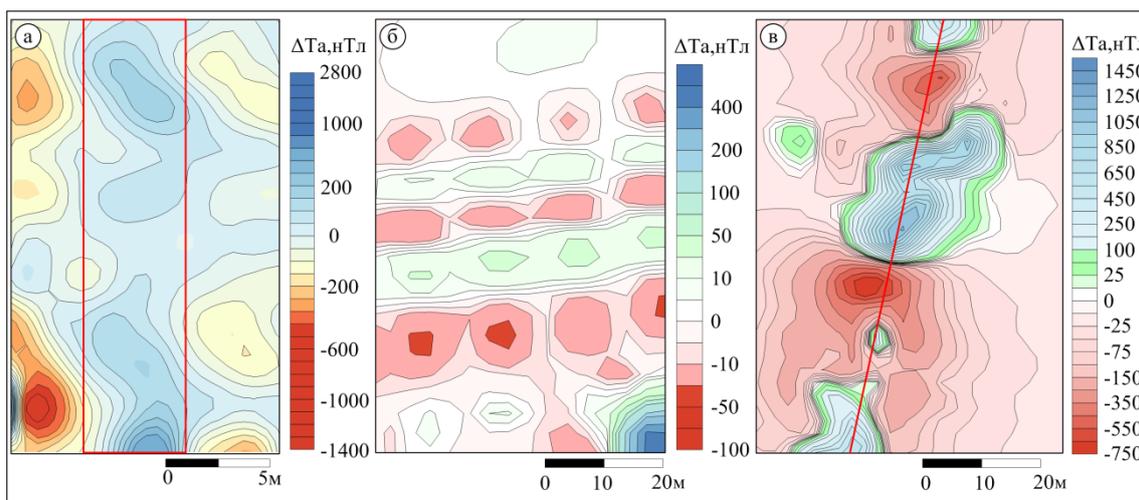


Рис. 2. Аномальное магнитное поле над подземными коммуникациями:

а – коллектор; б, в – высоковольтные электросети. Красным прямоугольником и красной линией показаны проекции сетей на поверхность измерения

Наиболее сложными для фильтрации являются переменные помехи от близко расположенных к участку измерения высоковольтных линий электропередач. На расстоянии 20-50м от ЛЭП в работающем режиме измеряемое магнитное поле будет обусловлено в основном электромагнитным излучением ЛЭП амплитудой в несколько сотен нТл. Возмущение магнитного поля, связанное с влиянием ЛЭП, на расстояниях, больших 20-50 м, заметно затухает и составляет в среднем $\pm(5-10)$ нТл и может сохраняться в радиусе нескольких сотен метров [6].

Нестационарный характер переменных помех такого типа (меняющаяся интенсивность, знак помехи, независимость от времени измерения) не позволяет их полностью редуцировать из исходных данных только учетом вариаций, если говорить о стандартной комплектации аппаратуры для полевых измерений, когда в качестве магнитовариационной станции (МВС) используется только один магнитометр.

Для повышения достоверности измеряемых вариаций на участке измерения с интенсивными техногенными помехами возможно использование нескольких магнитометров в качестве МВС и последующей совместной обработки данных со всех МВС [2]. Однако технически такой вариант не всегда возможен.

Эффективным методом фильтрации переменных помех зарекомендовал себя метод эмпирической модовой декомпозиции (EMD). EMD представляет метод спектрального анализа нестационарных сигналов, использующий заранее неопределенные внутренние моды сигнала. Суть метода заключается в том, что любую функцию и любой произ-

вольный сигнал, изначально содержащие произвольную последовательность локальных экстремумов, можно разделить на семейство функций различных внутренних колебаний и остаточный тренд [1, 9, 10].

На рисунке 3а представлено аномальное магнитное поле, измеренное вкост основных профилей на относительно ровном участке, расположенном в лесном массиве между двумя ЛЭП. Даже визуально можно отметить квазипериодичность данных, которая не может быть обусловлена геологическими факторами. Также в интервале от 150 м до 170 м начинается зона ближнего влияния ЛЭП.

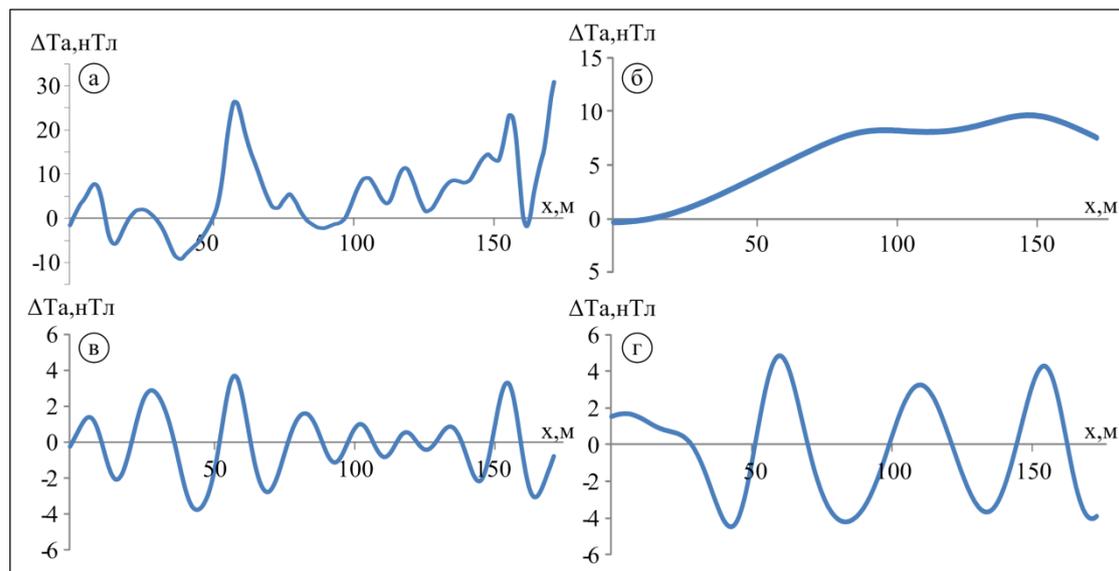


Рис. 3. Аномальное магнитное поле (а), измеренное вкост профилей вблизи нескольких воздушных и подземных электросетей; компоненты EMD-разложения этого поля (в, г) и остаточная компонента после EMD-разложения (б), которую можно ассоциировать с аномальным магнитным полем после фильтрации нестационарной помехи

К представленным данным был применен метод EMD-разложения, который выявил 8 компонент в составе сигнала. Все эти компоненты представляют из себя квазипериодические сигналы разной частоты, как например 2 и 3 компоненты (рис. 3в, г). С полезным сигналом можно ассоциировать только остаточную компоненту (рис. 3б).

Подобные помехи возможно фильтровать при помощи других частотных методов, например, вейвлет-анализа [3].

Техногенные помехи локальных источников магнитного поля

На урбанизированных территориях можно наблюдать большое многообразие наземных и подземных техногенных объектов, которые будут являться источниками постоянного магнитного поля – железные дороги, подземные и наземные коммуникации, трубопроводы, обсадные трубы, железные опоры и другие железные конструкции. Магнитные аномалии от таких объектов будут обусловлены их размерами и намагниченностью. В пространстве такие аномалии хорошо локализируются и редко выходят за пределы границ объекта более чем на несколько метров.

Стоит отметить, что естественная остаточная намагниченность техногенных объектов может изменяться в широких пределах, а ориентировка вектора намагниченности в пространстве будет формироваться спонтанно. Таким образом, предсказать форму магнитных аномалий технических объектов довольно сложно. Даже однотипные технические объекты могут давать совершенно разную картину магнитного поля.

Часто на участке, где находится крупная промышленная конструкция (ЛЭП, железная дорога и т.д.), много сопутствующих техногенных объектов, таких как бытовой и строительный мусор, что еще больше затрудняет обнаружение целевых магнитных аномалий.

Разделение аномальных эффектов целевых аномалий от техногенной помехи постоянного типа возможно при помощи статистических трансформаций магнитного поля, а именно вычисления центральных статистических моментов – дисперсии, асимметрии и эксцесса. Особенность применения данного метода заключается в том, что границы источников магнитного поля в полях статистических характеристик отмечаются экстремальными значениями [4], а по морфологии предполагаемых границ возможно определять форму источника магнитного поля независимо от угла намагничивания.

На рисунке 4б показано разделение магнитных аномалий при поиске погребенных обсадных колонн скважин прошлых лет, вызванных разным типом источников, в поле стандартного отклонения. Так, магнитная аномалия № 1 (рис. 4б), пространственно соответствующая бетонному реперу, отображается как явный точечный объект. Магнитная аномалия № 3 (рис. 4б) соответствует горизонтальной металлической трубе, найденной при раскопке. Магнитная аномалия № 2 соответствует форме целевой магнитной аномалии (рис. 4б).

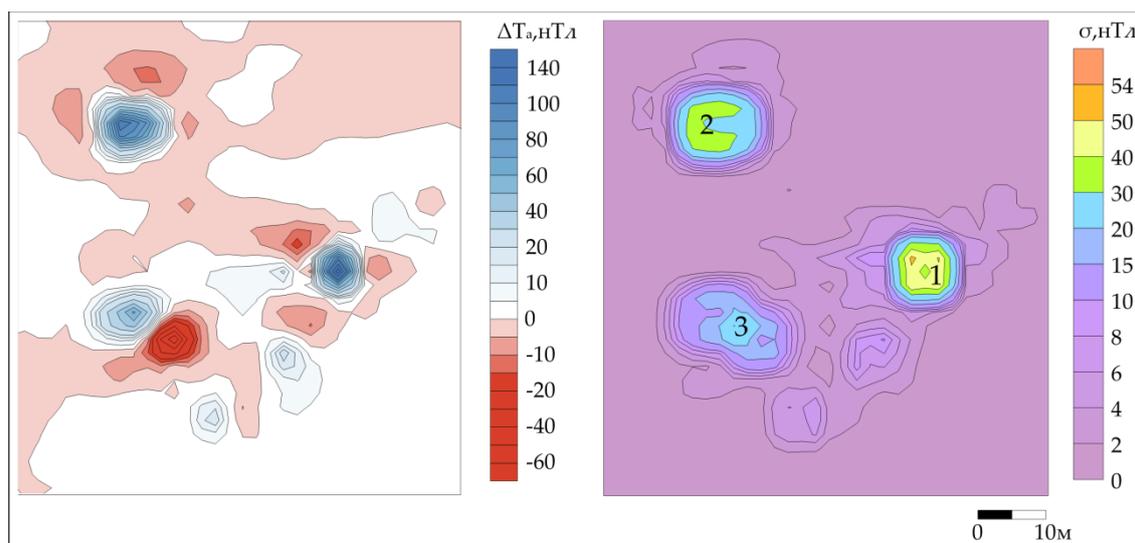


Рис. 4. Определение типа источника магнитных аномалий с использованием статистических методов: а – аномальное магнитное поле участка измерения; б – поле стандартного отклонения для участка исследования; 1 – бетонный репер с металлической трубой; 2 – предполагаемое погребенное устье скважины, 3 – приповерхностная металлическая горизонтально расположенная труба

Таким образом, возможна разбраковка магнитных аномалий на этапе качественного анализа аномального магнитного поля.

Изучение типов техногенных помех при производстве магниторазведочных работ позволит достоверно выделять целевые магнитные аномалии, эффективно проводить необходимую фильтрацию интенсивных помех и обнаруживать различные техногенные объекты. Таким образом, возможно более широкое применение метода магниторазведки для решения инженерных и археологических задач.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 19-05-00654 А.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Долгаль А.С., Христенко Л.А. Применение эмпирической модовой декомпозиции при обработке геофизических данных // Изв. Томского политехнич. ун-та. Инжиниринг ресурсов. – 2017. – Т. 328. – № 1. – С. 100-108.
2. Дядьков П.Г., Цибизов Л.В., Борисенко Д.А. Методика учета интенсивных промышленных помех при проведении магнитной съемки // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2015. – Т. 2, № 2. – С. 57-62.
3. Жижикина Е.А., Мандрикова О.В., Хомутов С.Ю. Алгоритм выделения техногенных помех в геомагнитных данных // Вестник КамчатГТУ. – 2016. – № 35. – С. 21-26. – DOI: [10.17217/2079-0333-2016-35-21-26](https://doi.org/10.17217/2079-0333-2016-35-21-26).
4. Никитин А.А., Петров А.В. Теоретические основы обработки геофизической информации: учеб. пособие. – М.: Центр информ. Технологий в природопользовании, 2008. – 112 с.: ил.
5. Никифоров В.М., Бессонова Е.А. Опыт применения магниторазведки для обнаружения ферромагнитных объектов на акватории залива Петра Великого // Подводные исследования и робототехника. – 2007. – № 1 (3). – С.58-65.
6. Новиков К.В. Магниторазведка: учеб. пособие. Часть 1. – М.: 2013. – 141 с. – Текст электронный. – URL: http://magnetometry.ru/files/Mag_base_voll_v1.pdf. Свободный.
7. Новикова П.Н. Локализация ликвидированных скважин по данным микромагнитной съемки // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: сб. науч. тр. Вып. 1 (46) / ГИ УрО РАН [и др.]. – Пермь, 2019. – С. 294-297.
8. Ревякин П.С., Бродовой В.В., Ревякина Э.А.. Высокоточная магниторазведка. – М.: Недра, 1986. – 272 с.: ил.
9. Novikova P.N. Application of Detailed Magnetism in Intensive Industrial Noise Coinditions // Practical and Theoretical Aspects of Geological Interpretation of Gravitational, Magnetic and Electric Fields: 45th Uspensky International Geophysical Seminar. – Kazan, 2019. – P. 371-376. – (Book series: Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences). – DOI: 10.1007/978-3-319-97670-9_43.
10. Novikova P.N., Dolgal A.S. Engineering magnetic survey for the study of underground infrastructure of urbanized areas // 15th Conference and Exhibition Engineering and Mining Geophysics 2019. – Gelendzhik, 2019. – P. 290-296.

УДК 550.834

DOI:10.7242/echo.2020.4.15

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОДОЛЬНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ

И.И. Семерикова

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: Специализированная методика распознавания трещинных объектов, разработанная в ГИ УрО РАН, базируется на комплексной интерпретации параметров-признаков в динамических параметрах отраженных продольных волн. Для исследования закономерностей изменчивости динамических параметров отраженных сейсмических волн применены независимые методы, имитирующие сейсморазведку МОГТ: в лабораторных условиях – математическое сейсмо-моделирование, физическое моделирование на крупных образцах натуральных горных пород; в условиях естественного залегания горных пород в трещиноватых зонах с известными параметрами трещин. Демонстрируются результаты применения данной методики в районах трещиноватых, трещинно-кавернозных коллекторов Тимано-Печерской НГП. В результате применения методики распознавания трещиноватых сред удастся закартировать на данных объектах коллекторы мощностью 5-9 м.

Ключевые слова: разрешающая способность, амплитудные и спектральные характеристики, длина волны, трещинный тип коллектора.