

## **Нестационарные процессы акусто-электромагнитного излучения литосферы в сейсмически активной области. Результаты поверхностных и скважинных измерений**

В.Н. Уваров<sup>1</sup>, Ло Иян<sup>2</sup>, В.И. Луценко<sup>3</sup>, Нгуен Суан Ань<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН

<sup>2</sup> Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина, Украина, E-mail: yiyangluo@163.com

<sup>3</sup> Институт радиофизики и электроники им. Усикова НАН Украины, Украина, E-mail: lutsenko@ire.kharkov.ua

<sup>4</sup> Институт геофизики Вьетнамской академии наук и технологий

*Исследованы результаты синхронного обнаружения излучения различных компонентов электромагнитного и акустического полей, полученные в условиях слабой промышленной интерференции и высокого уровня микросейсмичности.*

*Наблюдения за геофизическими электромагнитными полями, помимо полезной информации о процессах излучения, содержат помехи, в основном техногенного происхождения. Они особенно сильны в скважинных измерениях, когда в качестве приемной антенны используется обсадная колонна. Эти помехи значительно затрудняют распределение полезной информации. Рассмотрена возможность использования отбеливающих фильтров для повышения контрастности наблюдения полезных сигналов литосферного происхождения на их фоне.*

*The results of synchronous detection of the emission of various components of the electromagnetic and acoustic fields obtained under conditions of low industrial interference and a high level of microseismicity are investigated.*

*Observations of geophysical electromagnetic fields, in addition to useful information about the emission processes, contain interference, mainly of technogenic origin. They are especially strong in downhole measurements when a well casing is used as the receiving antenna. These interferences significantly impede the allocation of useful information. The possibility of using bleaching filters to increase the contrast of observation of useful signals of lithospheric origin against their background is considered.*

### **Введение**

До сих пор исследования электромагнитных сигналов литосферного происхождения - одна из наименее разработанных проблем. В значительной степени это связано с выделением электромагнитных сигналов литосферного происхождения из мощного маскирующего фона грозового, магнитосферного и техногенного излучения.

Важность изучения статистических характеристик этого излучения связана с тем, что оно отражает геодинамическое состояние литосферы, что может быть использовано, например, при сейсмопрогнозе и разведке полезных ископаемых [1-3].

Статистические характеристики электромагнитного и акустического излучений литосферного происхождения изучались с использованием данных регистрации акустического и электромагнитного излучения КНЧ-ОНЧ диапазона, полученных в сейсмически активной зоне Камчатки [1-5]. Измерения проведены на территории стационарного экспедиционного пункта ИКИР ДВО РАН «Карымшина», расположенного вдалеке от населенных пунктов, на пересечении региональных зон разломов в пределах Малко-Петропавловской зоны поперечной дислокации северо-западной ориентировки, где проходит Паратунская раздвиговая зона. Для приема использовались магнитные рамочные, антенны площадью до 10000 м<sup>2</sup>, располагаемые

во взаимно-перпендикулярных плоскостях, квадрупольная антенна, а также акустический приемник - гидрофон в искусственном водоеме.

Условия распространения волн в земной коре с увеличением глубины улучшаются. Поэтому для эффективного исследования волновых полей литосферы необходимо получение сигналов с возможно большей глубины. Это возможно в рудниках, шахтах или с помощью скважин, охватывающих большие территории и разнообразные геологические условия.

Была проведена серия экспериментов при расположении катушки магнитной антенны на обсадной трубе скважины, а компенсационной антенны на поверхности.

С этой целью на буровой скважине 74 на ручье Коркина в бассейне реки Паратунка (Южная Камчатка) был поставлен полевой эксперимент. Эта скважина была пробурена в 1968г. до глубины 649 м при исследовании Паратунского гидротермального месторождения Камчатки. Обсадка выполнена стальной трубой диаметром 168 мм с поверхности до глубины 195 м. Максимальная температура воды 56,8 С° была отмечена на глубине 620 м. Скважина находится в зоне субширотного левосдвигового разлома на пересечении с Северо-Западной трансформной зоной. Здесь же проходит зона центрального планетарного разлома ССВ 20°, т.е. имеет место зона сопряжения разломов (зона «раскрытия» СВ 50°, субпараллельная зоне субдукции Курило-Камчатского желоба).

Целью исследований было изучение спектров, законов распределения выбросов и интервалов между ними, как для различных компонент электромагнитной, так и акустической эмиссий, как для поверхностных, так и скважинных измерений.

### 1. Основная часть

На рис. 1 приведен фрагмент из 15 мин. реализации синхронной записи 3 каналов и их энергетические спектры. Видно, что наибольшая плотность выбросов наблюдается в каналах широтной (3) и меридиональной (2) компонент магнитного поля, в которых доминирует излучение атмосферно-грозового происхождения. Несколько меньше она у вертикальной компоненты электрического поля. Эти три канала в основном содержат информацию атмосферно-грозового и магнитосферного происхождения.

На их спектрах отчетливо прослеживается повышенная мощность излучения, обусловленная распространением излучения от мировых центров приэкваториальных гроз и выделенная на спектре как область С.

Значительно меньше плотность выбросов в канале вертикальной магнитной компоненты – (1), в котором отчетливо прослеживается литосферное излучение в области спектра, обозначенном буквой В. Видно, что, атмосферно-грозовое излучение на этом графике ослаблено.

В энергетических спектрах прослеживается увеличение спектральной плотности в диапазоне частот 500...1000 Гц, особенно заметное в меридиональном (2) и широтном (3) каналах магнитной компоненты, а также канале вертикальной компоненты (4) электрического поля. Скорость убывания спектральной плотности  $n$  при описании спектра фрактальной зависимостью:

$$S(F) = S_0 \left( 1 + \left| \frac{F}{\Delta F} \right|^n \right)^{-1}, \quad (1)$$

имеет величину  $1 \leq n \leq 2$ , где  $\Delta F$  - полуширина спектра. Однако такое утверждение справедливо в случае, если за временной ряд наблюдений ответственен один процесс, или если один процесс доминирует. В нашем случае каждый из временных рядов наблюдений отражает несколько процессов, конкурирующая способность которых изменяется как с частотой, так и со временем.

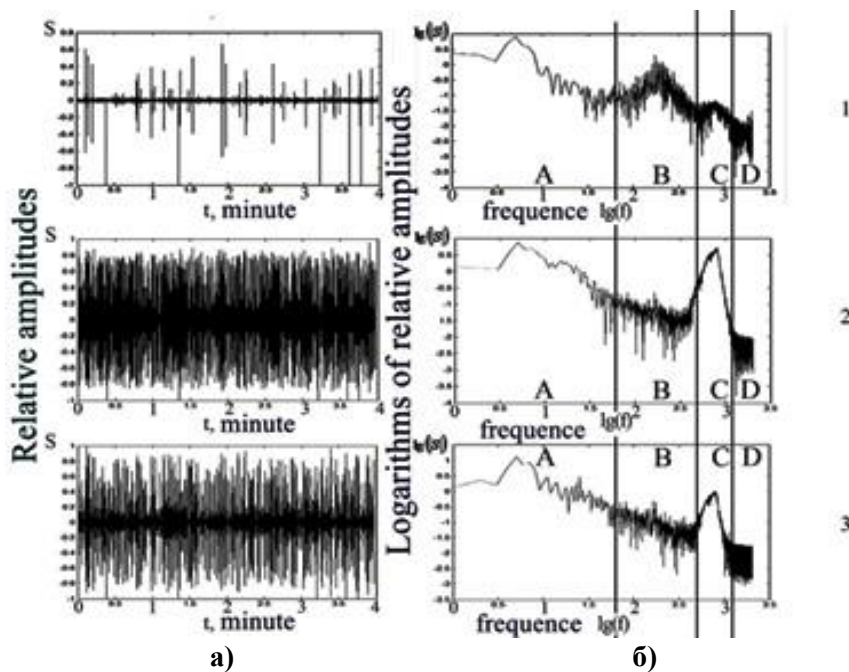


Рис. 1. Временные реализации (а) и их спектры (б) - электромагнитных излучений литосферного происхождения. Участок спектра В – проявление литосферного излучения, участок С – область ионосферного канала; 1-  $H_z$  (высотная), 2-  $H_Y$  (меридиональная), 3-  $H_X$  (широтная) компоненты поля.

На рис. 2 приведены временные реализации выбросов сигнала, а на рис.3 их спектры.

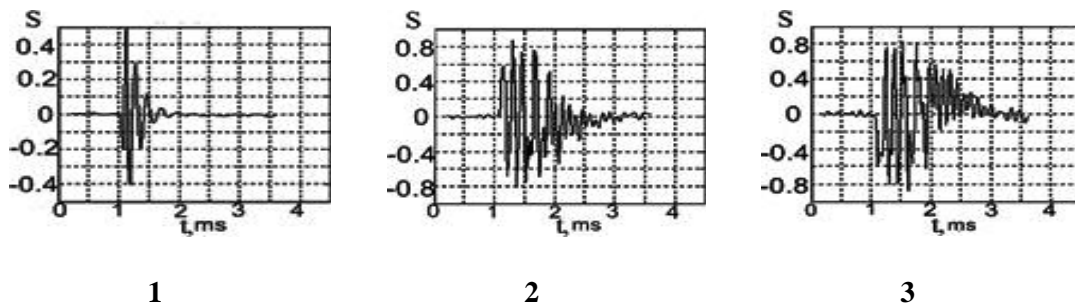


Рис. 2. Выбросы на каналах 1, 2 и 3.

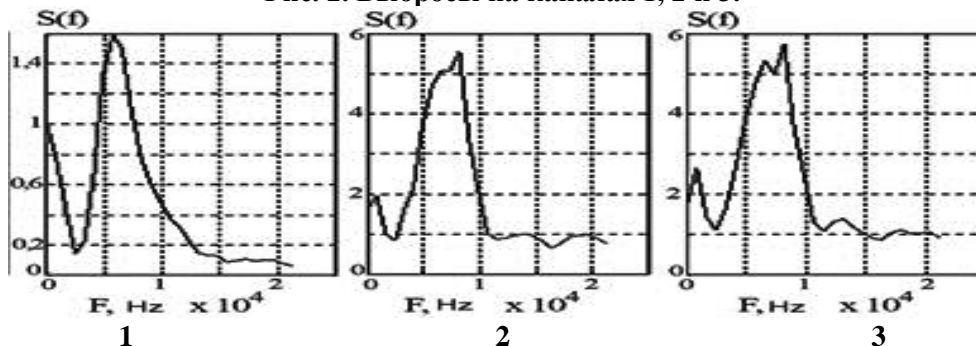


Рис.3. Спектры излучения для каналов 1, 2 и 3.

Видно, что выбросы (рис.2) являются нестационарным сверхширокополосным процессом, для описания которого можно использовать вейвлеты, а их спектры

существенно отличаются от стандартной модели осциллятора Лоренца и их описание может быть построено на атомарных функциях Кравченко [5].

А для измерения на поверхности, результаты измерений существенно отличаются. Проявления в канале 0 соответствует форме атмосферика, проявления в канале 2 является изменением типа вибрации [6]; а проявления канала 1 соответствует форме сигнала, генерируемого квадруполом [7], а проявления канала 3 является традиционный широкополосный импульсный сигнал обнаружения литосферы [8].

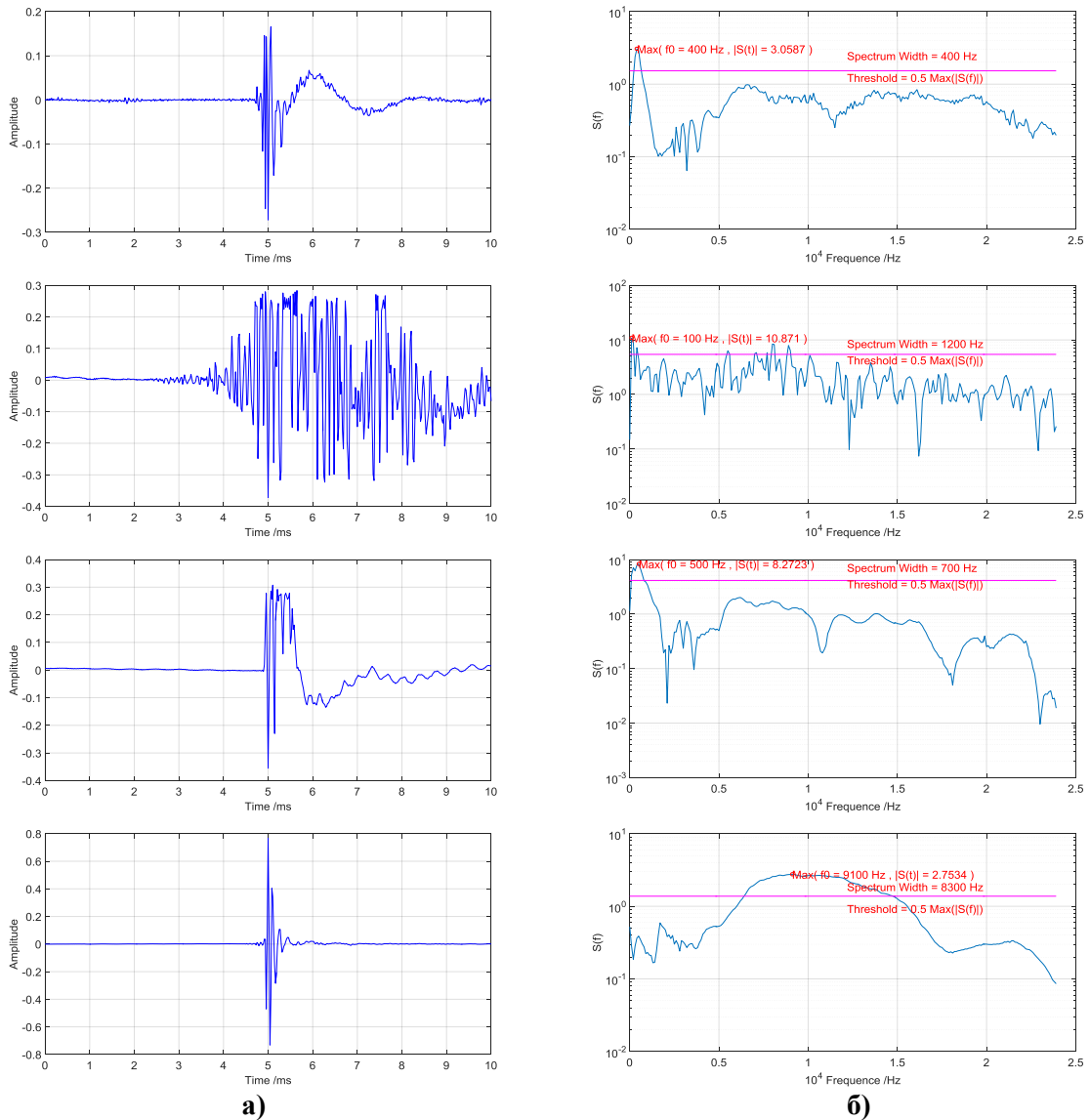


Рис. 4. Выбросы (а) на каналах 0, 1, 2 и 3, и их спектры (б).

Таблица 1. Расшифровка нумерации принимаемых сигналов

Принимаемый сигнал	Номер канала	Обозначение датчика
$E_Z$ (высотная) компонента поля	0	E
$H_Z$ (высотная) компонента поля	1	Z
$H_Y$ (меридиональная) компонента поля	2	WE
$H_X$ (широтная) компонента поля	3	NS

В скважинных измерениях существенно больший уровень имеют помехи техногенного характера - рис.5а. Для их подавления использовался алгоритм оптимального выбеливания, описанный в [9].

При этом удается существенно ослабить фон и выделить информационные компоненты связанные литосферной активностью – рис.5в.

Выбросы по скважинному каналу во временной области после выполнения операции выбеливания показаны на рис.6а, а их спектр на рис.6б

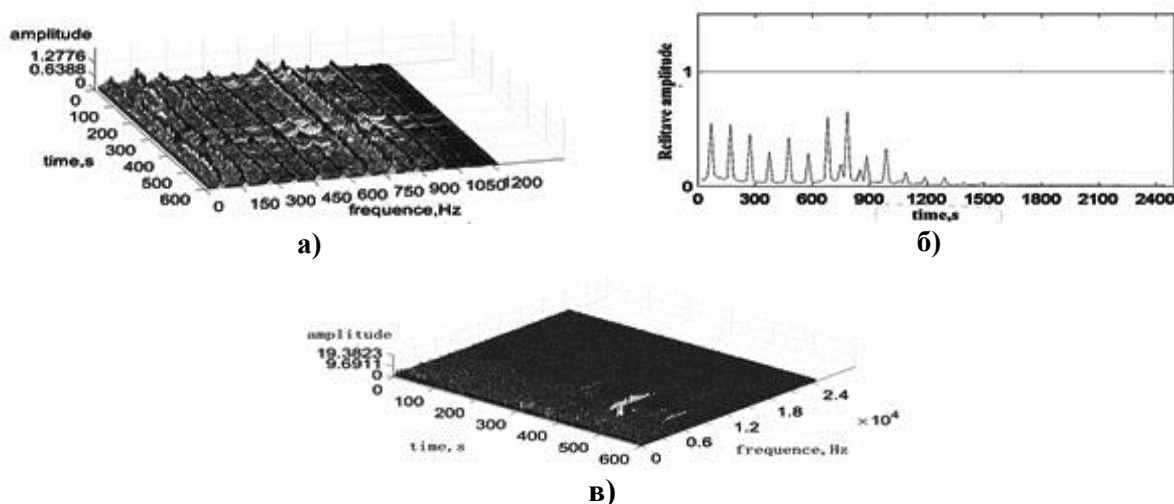


Рис.5. Спектрограммы: исходная (а) и после выбеливания (в), частотная характеристика выбеливающего фильтра (б).

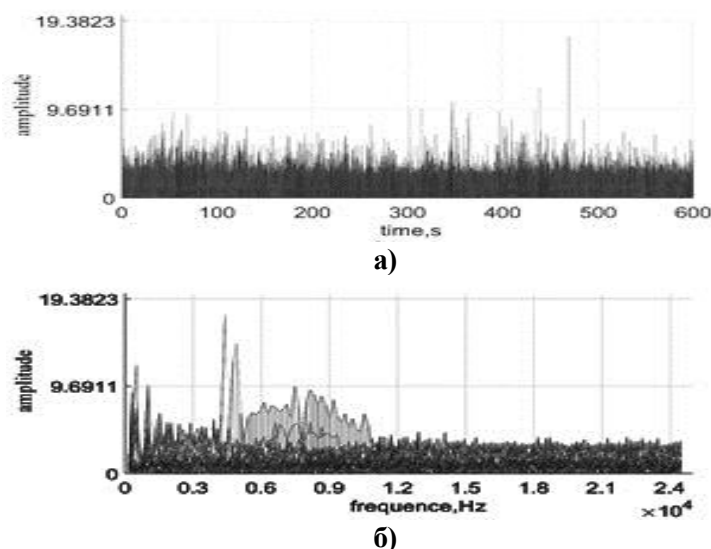


Рис. 6. Выбросы литосферного излучения через скважинный канал после обесцвечивания - (а) и их спектры - (б).

Видно, что спектры выбросов литосферного происхождения как при поверхностных, так и скважинных измерениях совпадают.

### Выводы

При плотности мощности тектонического потока импульса превосходящей пороговую мощность диссипации импульса в горной породе, движение приобретает турбулентный в пространстве и импульсный во времени характер. Акусто-электромагнитные проявления диссипации потока импульса также имеют импульсный

характер. Поэтому характер проявлений, отражающий характер потока тектонического импульса позволяет оценить геодинамическую обстановку и использоваться при прогнозе землетрясений, исследовании структуры недр и разведке и эксплуатации природных ресурсов. К числу важных характеристик проявлений тектонического потока импульса относится интенсивность выбросов и средний интервал между ними, которые можно использовать в качестве информативного признака предвестника землетрясения.

Для выделения близкорасположенных источников естественного электромагнитного излучения из мощного фона удаленных источников использован дифференциальный метод, физически сводящийся к использованию квадрупольной антенны, не использующейся в связи из-за сильных ограничений на дальность распространения [3].

Применение этого метода в сейсмоактивной зоне Камчатки позволило обнаружить наличие ранее неизвестных видов электромагнитных сигналов – электромагнитных проявлений геоакустической эмиссии, проявляющихся главным образом в вертикальной компоненте естественного электромагнитного поля. Основная энергия излучения приходится на полосу частот примерно 50...500 Гц, причем вид спектра может быть устойчив на протяжении десятков минут, претерпевая существенные изменения в течение суток. Законы распределения длительностей выбросов и интервалов между ними существенно отличаются от стандартного экспоненциального закона. Средняя длительность выброса по квадрупольному каналу, меридиональному и широтному каналам магнитной компоненты и вертикально поляризованной электрической компоненты составляет примерно 0,4...0,6 мс, в то время как для вертикальной компоненты магнитного поля и акустического сигнала 3...6 мс. Наибольший средний интервал между выбросами по акустическому каналу (~ 2,7 с), меньше по квадрупольному каналу (~ 0,3...0,49 с) и каналу вертикальной поляризации магнитного поля (~ 0,24...0,78 с). Наиболее часто импульсы следуют по меридиональному (средний период ~ 0,07...0,08 с), широтному (средний период ~ 0,09...0,16 с) каналам горизонтальной составляющей магнитного поля и вертикальной составляющей электрического поля (средний период ~ 0,09...0,16 с). Наиболее вероятно, что этот вид импульсного излучения связан с грозовой приэкваториальной активностью.

Для выделения излучения литосферного происхождения целесообразно на первом этапе выделять выбросы общие для нескольких каналов различных поляризаций. На следующем этапе целесообразно определение направления прихода, связанного с необходимостью пеленгации источника сверхширокополосных сигналов [10].

Обнаружены сигналы, проявляющиеся как в квадрупольном, так и дипольных каналах. Низкочастотные излучения, проявившиеся в каналах вертикальной магнитной компоненты и квадрупольном наиболее вероятно имеют литосферное происхождение.

Предложенный подход может быть использован для мониторинга геодинамической активности. Полученные экспериментально характеристики излучений могут использоваться при создании имитационных моделей процессов электромагнитной эмиссии литосферного происхождения.

*Эта работа поддерживается Министерством промышленности и торговли Вьетнама.*

### **Литература**

1. Уваров В.Н. Электромагнитное проявление литосферы в СНЧ-ОНЧ диапазоне / Геофизический журнал, №6, Т.34, 2012, стр. 133-146.

2. Уваров В. Н. Методы выделения электромагнитных сигналов литосферного происхождения // Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. 2016. № 3(14). С. 91-97.
3. Уваров В.Н., Дружин Г.И., Санников Д.В. Электромагнитное излучение литосферного происхождения. Метод обнаружения и первые результаты / Приборы и техника эксперимента. 2010, №6, стр. 131-137.
4. Уваров В.Н., Исаев А.Ю., Луценко В.И. Естественное акусто-электромагнитное излучение сейсмоактивного района // 23th Int. Crimean Conference “Microwave & Telecommunication Technology” (CriMiCo’2013). 9-13 September, Sevastopol, Crimea, Ukraine Proceedings 23th Int. Crimean Conference “Microwave & Telecommunication Technology” (CriMiCo’2013). - Sevastopol, 2013. –P.928-929.
5. Кравченко В.Ф., Кравченко О.В., Уваров В.Н., Санников Д.В., Луценко В.И., Луценко И.В. Нестационарные характеристики акусто-электромагнитной эмиссии литосферы // Физические основы приборостроения, 2016, Т.5, №2(19). –С.88-101.
6. Уваров В. Н. Характерные формы электромагнитных сигналов // Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. 2018. № 2(22). С. 112-127.
7. Yasuhiko Mori, Yoshihiko Obata and Josef Sikula. Acoustic and electromagnetic emission from crack created in rock sample under deformation // J. Acoustic Emission, 27, 2009, pp 157-166.
8. Kravchenko V. F., Lutsenkob V. I., Masalovb S. A., and Academician V. I. Pustovoitc Analysis of Nonstationary Signals and Fields with the Use of Enclosed Semi-Markov Processes // Doklady Physics, 2013, Vol. 58, No. 11, pp. 465–468.
9. Радиоэлектронные системы: основы построения и теория. Справочник / Я.Д. Ширман, Ю.И. Лосев, Н.Н. Минервин и др. всего 7 авт.; Под ред. Я. Д. Ширмана. - М.: ЗАО «МАКВИС», 1998. -757 с.
10. Уваров В.Н., Дружин Г.И., Пухов В.М., Санников Д.В. Способ пассивной локации близко расположенных источников электромагнитного излучения на фоне мощных излучений удаленных источников», патент Российской федерации № 2473101 от 20.01.2013г.