

М.Н. КУЛИГИН

**Сбор и обработка данных в
системе регистрации геомагнитных
пульсаций Земли**

УДК 550.377

Муромский институт
(филиал) ФГБОУ ВО
«Владимирский
государственный
университет имени
А.Г. и Н.Г. Столетовых»,
г. Муром

В работе рассматриваются требования, предъявляемые к системе регистрации геомагнитных пульсаций Земли и их назначение при исследовании структуры естественного электромагнитного поля Земли в диапазоне геомагнитных пульсаций. Рассмотрены отдельные алгоритмы сбора и обработки экспериментальных данных с целью определения характеристик горизонтального распространения (компонент комплексного горизонтального волнового вектора, направления распространения волны вдоль земной поверхности, ее фазовой скорости и пространственного затухания) сверх низкочастотных (от 0.002 Гц до 3 Гц) электромагнитных волн.

Введение

Источником естественных электромагнитных полей Земли являются процессы взаимодействия солнечного ветра с магнитосферой Земли. Геомагнитные пульсации – это гидромагнитные волны в магнитосфере Земли. Спектр частот простирается от миллигерц примерно до одного килогерца. Нижняя граница спектра совпадает с наименьшей частотой собственных колебаний магнитосферы, верхняя граница – с гирочастотой протонов в нижних слоях полярной ионосферы [1].

Стимулом количественных исследований электромагнитных полей геомагнитных пульсаций Земли явилось доказательство

возможности использования сопоставлений синхронных вариаций магнитного поля и земных токов для разведки строения земной коры [2]. Представлялось, что этот метод, получивший название метода магнитотеллурических зондирований, окажется наиболее подходящим для исследования горизонтально-слоистых структур при разведке нефтяных месторождений.

Геомагнитные пульсации, зарегистрированные на земной поверхности, несут информацию о процессах, их порождающих, а также о свойствах среды по пути их распространения. Прикладное значение зарегистрированных на земной поверхности геомагнитных пульсаций для изучения структуры земной коры и верхней мантии велико и в настоящее время не вызывает сомнений. Одна из практических задач, которую можно решить, используя поле геомагнитных пульсаций, представлена в [3].

Требования, предъявляемые к системе регистрации.

Алгоритмы обработки результатов измерений предполагают **синхронную** регистрацию шести компонентов электромагнитного поля пульсаций. Соответственно, система регистрации является шестиканальной (по три канала на электрическую и магнитную составляющие регистрируемого поля). Аналоговый тракт каждого измерительного канала включает датчик с инструментальным усилителем и активный полосовой фильтр диапазона (0,002 - 3 Гц). Для синхронной шестикомпонентной регистрации геомагнитных пульсаций в сети разнесенных пунктов наблюдений требуется надежная высокоточная аппаратура, способная работать в автономном режиме [4].

Сложности решения задач сбора, обработки и анализа сигналов геомагнитных пульсаций связаны с их сложной внутренней структурой. Они являются нестационарными, содержат локальные особенности различной формы и временной протяженности, а также шумовые факторы различной природы. Локальные особенности содержат полезную и важную информацию о состоянии магнитного поля Земли и должны быть идентифицированы. На рис.1, в качестве примера, показана копия осциллограммы шестикомпонентного поля пульсаций типа Pi-2 - волновой пакет с периодом примерно 34 сек:

где E_x , E_y , E_z - электрические компоненты, а H_x , H_y , H_z - магнитные. Осциллограмма заимствована из [5].

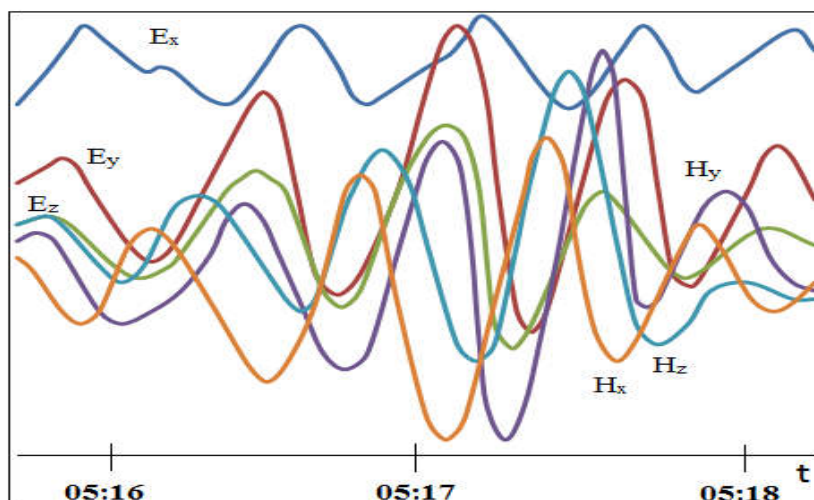


Рис. 1. Осциллограммы шестикомпонентного поля пульсаций типа Pi-2.

Качественные изменения в электронике и в вычислительной технике, накопленные результаты теоретических и экспериментальных исследований по изучению физической природы генерации и распространения геомагнитных пульсаций, позволили перейти от анализа морфологических особенностей геофизических полей к разработке физико-математических основ и алгоритмов обработки данных для количественной интерпретации проводимых измерений [2,6,7]. Однако дальнейшее развитие на современном этапе методов анализа, представлений и интерпретаций структуры поля геомагнитных пульсаций требует точной количественной оценки результатов измерений, а, следовательно, точных и надёжных средств измерения, а также разработки алгоритмов предварительной обработки данных полученных при регистрации электромагнитных полей.

Современная цифровая система регистрации и обработки геомагнитных сигналов представляет собой сложный программно-аппаратный комплекс устройств. Это объясняется, прежде всего, обилием и противоречивостью требований, которым она должна удовлетворять. Рабочий диапазон частот аппаратуры (от 0.002 - 3 Гц) для исследовательских целей должен учитывать неравномерность амплитудного спектра (более 40 ДБ) и ширину спектра отдельных видов регистрируемых пульсаций.

Алгоритм сбора данных.

В общем случае сбор данных с датчиков электромагнитного поля представляет собой процесс, состоящий из двух основных этапов: оцифровка отфильтрованных и усиленных до необходимого уровня сигналов и сохранение полученных цифровых эквивалентов в памяти устройства. Однако в шестиканальной системе регистрации АЦП используются в режиме разделения времени его использования между каналами регистрации сигналов с датчиков (каналы полезных сигналов), а также каналами образцовых сигналов, применяемых для калибровки измерительного тракта устройства. Кроме того, в процессе сбора данных также необходимо производить дополнительные операции, связанные с формированием временных меток для квантов данных, регистрируемых с датчиков.

С целью ускорения процесса сбора данных можно производить буферизацию квантов в оперативной памяти устройства (буфер квантов регистрации), периодически перемещая накопленную информацию на карту памяти.

Корректировку результатов АЦП логично выполнять по окончании очередного цикла получения данных со всех шести каналов полезных сигналов, после чего корректные данные, совместно с временной меткой должны быть помещены в буфер квантов регистрации. На основании выше изложенных сведений алгоритм сбора данных будет иметь вид, представленный на рисунке 2.

Обработка данных методом дирекционного анализа геомагнитных пульсаций Земли.

Метод определения характеристик горизонтального распространения (компонент комплексного горизонтального волнового вектора, направления распространения волны вдоль земной поверхности, ее фазовой скорости и пространственного затухания) по измерению всех шести компонентов электромагнитного поля пульсаций в одном пункте наблюдений был назван методом дирекционного анализа [2,7,8]. Метод дирекционного анализа предполагает представление поля геомагнитных пульсаций моделью неоднородных плоских волн,

распространяющихся вдоль земной поверхности [2,6,8]. В этой модели зависимость всех компонент поля от времени и горизонтальных координат имеет вид:

$$\exp(-i\omega t + ik_x x + ik_y y), \quad (1)$$

Компоненты k_x, k_y определяются из выражения:

$$K_j = \frac{i\sigma E_z E_j + \omega\mu H_z H_j}{H_x E_y - H_y E_x} = \alpha_j + i\beta_j, (j = x, y), \quad (2)$$

фазовая скорость и пространственное затухание:

$$\begin{aligned} v(\hat{e}_i / \hat{n} \hat{a} \hat{e}) &= \omega \cdot 10^{-3} / \sqrt{\alpha_x^2 + \alpha_y^2}, \\ \delta(\hat{a} \hat{A} / 1000 \hat{e}_i) &= 2 \cdot 10^7 \log e \cdot \sqrt{\beta_x^2 + \beta_y^2}. \end{aligned} \quad (3)$$

Важным следствием предложенной модели является возможность разделения измеряемого поля на парциальные поля электрического и магнитного типов и последующего вычисления скалярных парциальных импедансов волн каждого типа Z^e и Z^h . Через измеряемые компоненты полного поля и тангенс комплексного угла горизонтального распространения $T = k_y / k_x$ импедансы определяются следующим образом:

$$Z^h = \frac{TE_x - E_y}{TH_y + H_x}, \quad Z^e = \frac{TE_y + E_x}{H_y - TH_x}. \quad (4)$$

Из решения прямой задачи для парциальных импедансов слоистого разреза следует [9]. Скалярные импедансы волн электрического и магнитного типов зависят от характеристик горизонтального распространения в комбинации $k^2 = k_x^2 + k_y^2$, то есть,

$$Z^{e,h} = Z^{e,h}(\omega, k^2). \quad (5)$$

Таким образом, основной целью дирекционного анализа является нахождение характеристик горизонтального распространения (2), (3) и вычисление импедансов волн электрического и магнитного типов (4), (5) с целью их использования для определения геоэлектрических свойств земной коры и верхней мантии.

На рис. 3 представлена структура алгоритма обработки геомагнитных пульсаций Земли. Предлагаемый алгоритм предназначен для обработки в реальном масштабе времени

информации об электромагнитном поле пульсаций **методом дирекционного анализа.**

Данный алгоритм служит для обработки пульсаций диапазона периодов (10-60) сек. Для таких периодов достаточно частоты опроса всех шести каналов один раз в секунду.

В этом алгоритме обработки предусматриваются два буфера, емкость каждого из буферов составляет 256×6 чисел, время его заполнения 256 сек.

Блок 1 производит вычитание постоянной составляющей сигнала для удобства последующей обработки. Поскольку алгоритм предназначен для обработки квазимонохроматических сигналов с временной зависимостью типа (1), блок селекции 2 предназначен для отбора таких колебаний. В процессе работы этого блока находятся экстремумы входного сигнала, превышающие заданный порог, соответствующий уровню шумов измерительного тракта аппаратуры, плюс естественный фон в отсутствии сигнала. Если таких экстремумов больше шести (т.е. более трёх периодов колебания), то обработка продолжается, если меньше – анализируется содержимое другого буфера (после его заполнения). Затем находятся времена прохождения сигнала через нулевой уровень, и по ним вычисляется средний период зарегистрированного колебания.

Исходной информацией для работы блоков (1-4) являются амплитуды шести компонент регистрируемого поля.

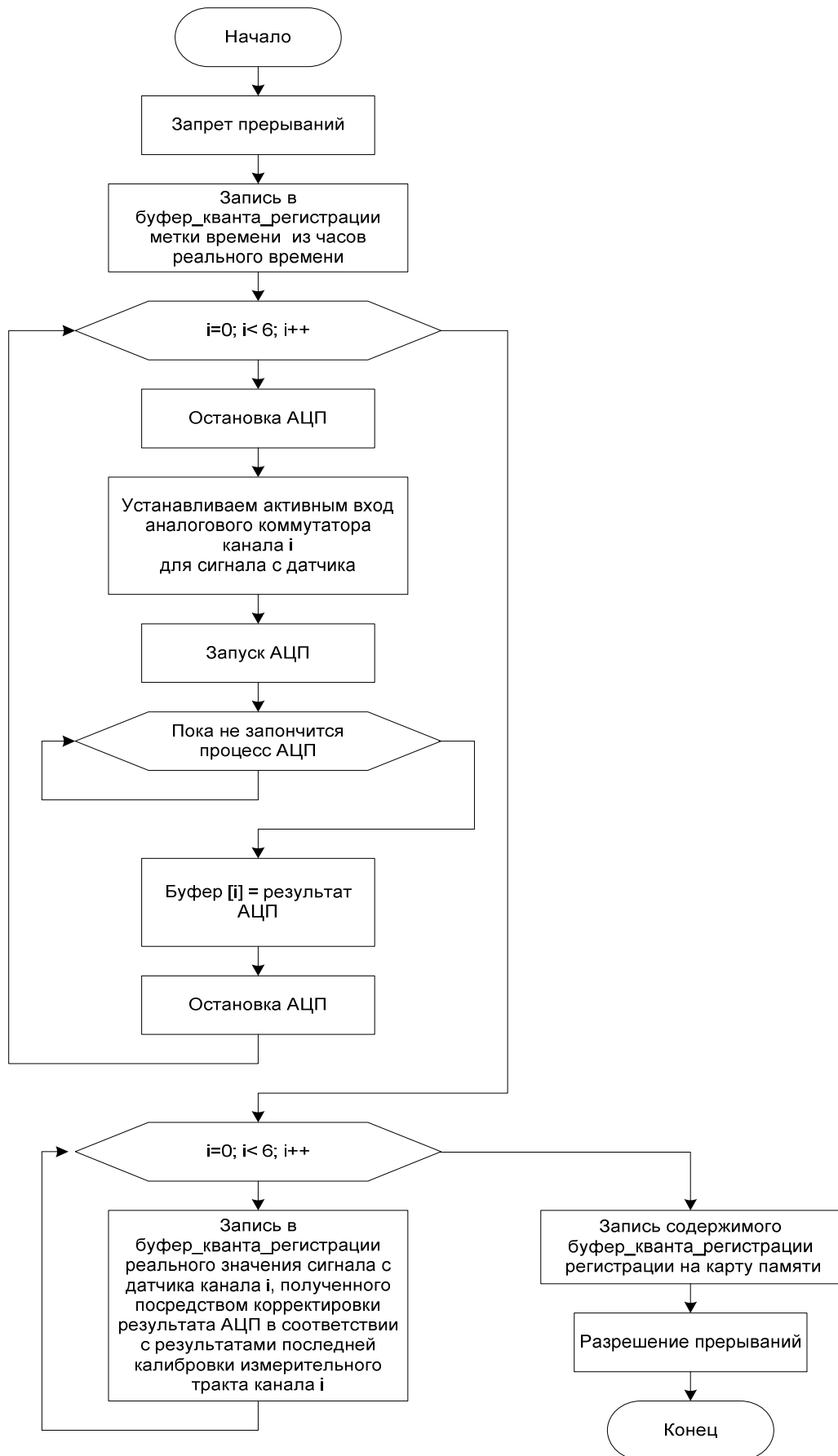


Рис. 2. Алгоритм сбора геофизических данных.

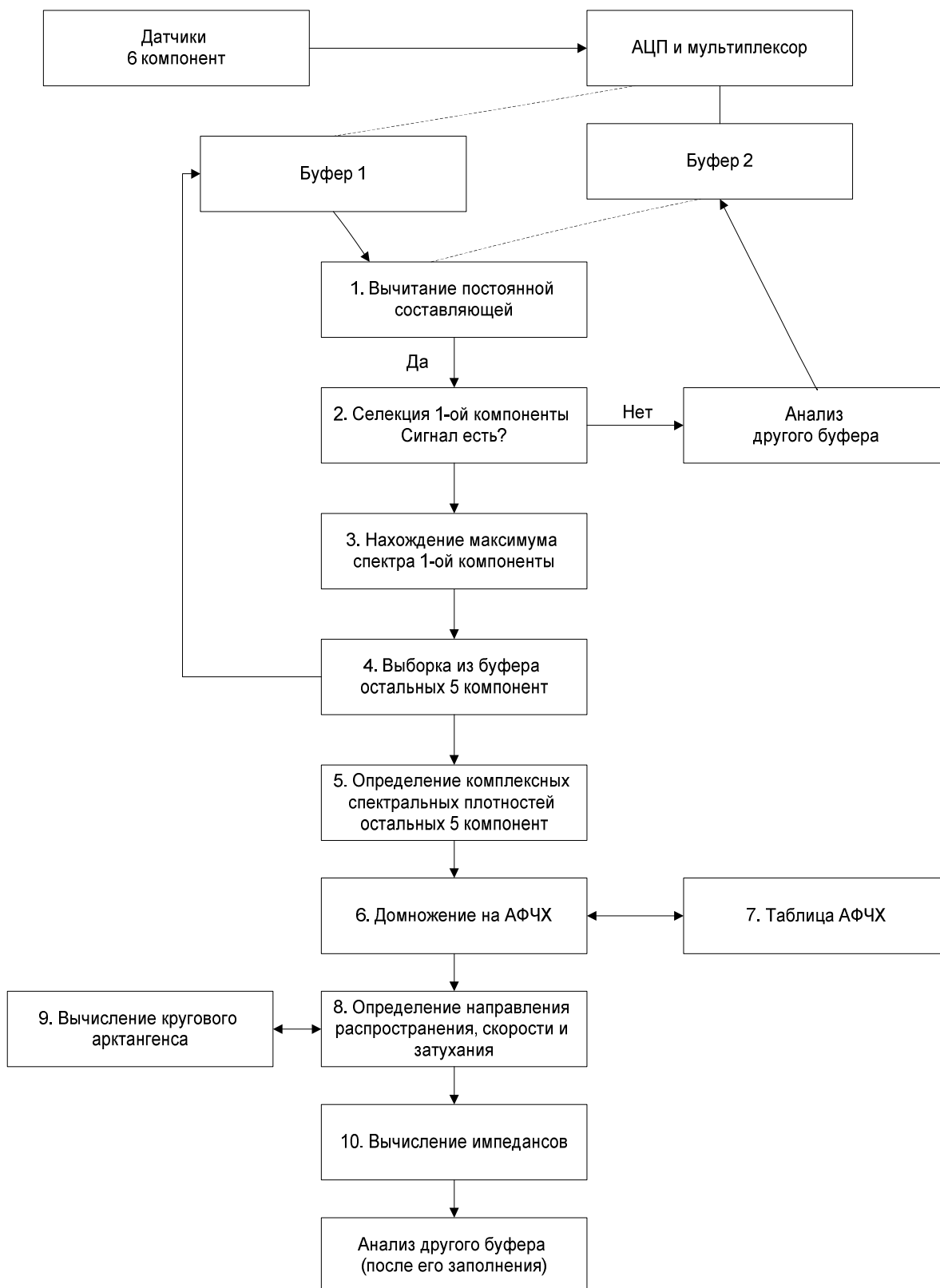


Рис. 3. Структура алгоритма дирекционного анализа геомагнитных пульсаций.

Заключение.

На основе представленных в данной работе алгоритмов разрабатывается и отлаживается соответствующее программное обеспечение системы регистрации и хранения данных.

Литература.

1. *Щепетнов Р. В.* Планетарные характеристики геомагнитных микропульсаций и их использование для изучения околоземного пространства: Автореферат. дис. канд. физ.-мат. наук.- М.: ИФЗ АН СССР, 1968.
2. Развитие дирекционного анализа и магнитотеллурических зондирований земной коры на Дальнем Востоке. Сборник научных статей: Под ред. М.Г. Савина, Владивосток, ДВНЦ АН СССР, 1976. 122 с.
3. *Кузичкин О.Р.* Методы и устройства обработки информации в системе мониторинга импульсных геомагнитных источников. – М.: САЙНС-ПРЕСС, 2008.- 168 с.
4. *Кулигин М.Н.* Исследование характеристик распространения геомагнитных пульсаций типа Pc-3 и Pi-2: Автореферат дис....канд. физ.-мат. наук. – М.: ИФЗ АН СССР, 1989.
5. *Савин М. Г.* О модели импульсной геомагнитной вариации и магнитотеллурических зондированиях / М. Г. Савин // Изв. АН СССР. Физика Земли. - 1986. - №9. - С. 64 - 73.
6. *Четаев Д.Н.* О структуре поля короткопериодической геомагнитной вариации и магнитотеллурических зондированиях. - Изв. АН СССР, Физика Земли, 1970, №2, с.52-56.
7. *Четаев Д.Н., Моргунов В.А., Шаманин С.В., Кулигин М.Н.* и др. Экспериментальное опробование математической модели описания поля геомагнитных пульсаций по данным трех наблюдательных пунктов. - В кн.: Структура электромагнитного поля геомагнитных пульсаций. Под ред. А.П. Иванова, Москва, ИФЗ АН СССР, 1980, с.4-48.
8. *Четаев Д.Н., Юдович В.А.* Дирекционный анализ магнитотеллурических наблюдений // Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли. - 1970. - № 12. - С. 61-68.
9. *Шаманин С.В.* Об импедансах слоистой среды для неоднородных плоских волн. - В кн.: Развитие дирекционного анализа и магнитотеллурических зондирований земной коры на Дальнем Востоке. Под ред. М.Г. Савина, Владивосток, ДВНЦ АН СССР, 1976, с.64-73.

E-MAIL: KULIGINMN2012@YANDEX.RU