

Форма 503 Развернутый научный отчет

- 3.1. Номер Проекта 17-05-00844
- 3.2. Название Проекта Изучение современных геодинамических процессов сейсмоактивных регионов методом магнитотеллурического зондирования (на примере Тянь-Шаня)
- 3.3. Коды классификатора 05-423 Электромагнитное поле, электропроводность, 05-412 Механизмы возникновения землетрясений, очаг, предвестники землетрясений
- 3.4. Заявленные цели Проекта на период, на который предоставлен грант
Разработка научно-методического и программного инструментария для осуществления электромагнитного мониторинга современных геодинамических процессов.
- 3.5. Полученные за период, на который предоставлен грант, результаты с описанием методов и подходов, использованных в ходе выполнения проекта (описать, уделив особое внимание степени оригинальности и новизны) В ходе выполнения Проекта в 2017 году получены следующие научные результаты:

1. Создано программное обеспечение по разделению магнитотеллурического поля по положению источников. Проведена апробация этого подхода на экспериментальных данных МТЗ. Осуществлено сопоставление полученных результатов разделения МТ поля с имеющимися геолого-геофизическими данными.

На основе полученного аналитического решения прямой задачи магнитотеллурического зондирования (МТЗ) с использованием продолжения поля, предложен подход, согласно которому электромагнитное поле эндогенного происхождения входит в импедансные соотношения аддитивным образом (Приложение 1 в дополнительном файле к отчету "Описание результатов с рисунками и формулами"). Такая линейная связь позволяет разделить электромагнитное поле, зарегистрированное на дневной поверхности, по положению источников. Суть алгоритма состоит в том, что по известному импедансу нижнего полупространства нужно найти разность зарегистрированных на дневной поверхности тангенциальных компонент электромагнитного поля (см. уравнение (7) Приложения 1). Для реализации алгоритма составлена программа обработки данных МТЗ с целью выделения источников электромагнитного поля эндогенного происхождения.

Рассмотрим примеры выделения электромагнитного поля эндогенного происхождения с использованием ретроспективных данных МТЗ, полученных в Тяньшанском регионе сотрудниками Научной станции РАН в г. Бишкеке. Расположение этих пунктов МТ наблюдений показано на рис. 1.

В результате обработки записей МТЗ для пунктов 914, 910, 920 выделены компоненты электромагнитного поля эндогенного происхождения и рассчитаны их энергетические характеристики (рис.2).

В полученных результатах обработки проявляется периодическая составляющая в поведении кривых энергетической характеристики электромагнитного поля эндогенного

происхождения с периодом 12 часов. Аналогичное поведение характеристик выделенного электромагнитного поля эндогенного происхождения отмечается и для других пунктов МТЗ Ак-Суу (рис. 3), 902 и 905 (рис. 4).

Такое поведение энергетических характеристик электромагнитного поля эндогенного происхождения потребовало их сопоставления с лунно-солнечным приливами.

Для этого подробнее рассмотрим результаты обработки полевых записей пункта МТЗ 901. Здесь по первому часу записи электромагнитного поля определялся магнитотеллурический импеданс геологической среды, который использовался для обработки данных МТЗ по каждому последующему часу. Затем вычислялся модуль вектора горизонтальных компонент электрического поля эндогенного происхождения с последующим осреднением по 5 точкам по часовым наблюдениям и по 100 точкам по частоте.

В результате обработки 3-х суточной полевой записи МТЗ этого пункта выделено электромагнитное поле эндогенного происхождения и получено распределение энергии этого поля в пределах трех суток для всех частот зондирования (рис. 5). Далее проведено сопоставление энергетической характеристики выделенного электромагнитного поля эндогенного происхождения с параметрами лунно-солнечных приливов (рис. 6). Анализ графика функции взаимной корреляции (нижняя часть рис. 6) свидетельствует о том, что причиной изменения энергетической характеристики электромагнитного поля эндогенного происхождения являются лунно-солнечные приливы. Таким образом, можно говорить о присутствии причинно-следственной связи между лунно-солнечными приливами и энергетической характеристикой электромагнитного поля эндогенного происхождения.

Полученные результаты позволяют сформулировать задачу об определении причинно-следственной связи между лунно-солнечными приливами и энергетической характеристикой электромагнитного поля эндогенного происхождения. При этом присутствует временная задержка между лунно-солнечными приливами и изменением энергии электромагнитного поля эндогенного происхождения. Так для пункта МТЗ 901 (частоты больше 0.2 Гц) это время задержки составляет 2.2 часа (рис. 7). Другими словами, сначала меняются лунно-солнечные приливы, а затем, через 2.2 часа меняется энергия электромагнитного поля эндогенного происхождения.

Далее в проекте рассматривалась идея о связи энергии электромагнитного поля эндогенного происхождения с вариациями электрического сопротивления геосреды, требующая своего практического подтверждения. Для этого на основе результатов магнитотеллурического мониторинга в пункте Камбарата было проведено сравнение между анизотропными свойствами электрического сопротивления с энергетической характеристикой электромагнитного поля эндогенного происхождения (рис. 8).

Как следует из рис. 8, существует устойчивая связь между анизотропией электрического сопротивления и энергетической характеристикой электромагнитного поля эндогенного происхождения. Это позволяет трактовать полученные практические результаты следующим образом. Современные геодинамические процессы приводят к изменению структурно-текстурных характеристик горной породы, выражающиеся в как обратимых процессах (закрытие и раскрытие трещин), так и в необратимых процессах, связанных с процессами трещинообразования. Этот единый геодинамический процесс проявляется в

двух связанных явлениях – изменении электрического сопротивления геосреды и генерации источников электромагнитного поля.

2. Разработана программная реализация алгоритма истокообразной аппроксимации с целью получения информации о распределении электрофизических свойств литосферы. Проведена обработка экспериментальных данных МТЗ с использованием программы истокообразной аппроксимации. Осуществлено сопоставление полученных результатов с имеющимися геолого-геофизическими данными.

Трудности, связанные с решениями обратных трехмерных задач электроразведки, приводит к необходимости использования различных представлений результатов полевых наблюдений. Одно из таких представлений можно получить с помощью метода истокообразной аппроксимации.

Истокообразная аппроксимация для трехмерных сред заключается в коррелировании наблюдаемого поля с решением прямой задачи для модели проводящего полупространства, с включенным в него элементарным объемом с избыточной электропроводностью (Александров и др., 2010). Объем включения (элементарного объема) определяется из минимальной длины волны, связанной с частотой электромагнитного поля. В результате можно получить коэффициент корреляции и среднеквадратическое отклонение как функцию местоположения элементарного объема. По этим двум величинам можно оценить местоположение неоднородностей в нижнем полупространстве при перемещении элементарного объема внутри исследуемого объема геологической среды. Вследствие этого, коэффициент корреляции и среднеквадратическое отклонение являются функциями пространственных координат местоположения элементарного объема. Критерием наличия неоднородности является отличие коэффициента корреляции от нуля или некоторой малой величины среднеквадратического отклонения.

Таким образом, истокообразная аппроксимация позволяет определить первоначальное приближение при решении некорректной обратной задачи геоэлектрики и снизить размерность решения обратной задачи.

Программная реализация метода истокообразной аппроксимации осуществлялась в интегрированной среде Matlab на одноименном языке программирования, позволяющем выполнять объемные математические расчеты в матричном виде.

Разработанный алгоритм истокообразной аппроксимации можно условно разделить на несколько этапов. Первым шагом выполняется построение трехмерной геоэлектрической ячеистой модели среды, представляющей собой проводящее полупространство с включенным в него элементарным объемом, характеризующимся избыточной электропроводностью. Входными данными для этого этапа служит следующая информация о модели: количество и длина ячеек по каждой из осей x , y и z ; значение сопротивления проводящего полупространства; значение сопротивления элементарного объема. На втором этапе с помощью программы `mt3dfwd.exe` (Rodi, Mackie, 2001) осуществляется решение прямой трехмерной задачи магнитотеллурического зондирования для построенной геоэлектрической модели на разных периодах (частотах), которые предварительно

задаются в отдельном бинарном файле. Полученное решение прямой задачи содержит значения действительных и мнимых частей пяти комплексных компонент электромагнитного поля в ячейках модели, рассчитанных на соответствующих периодах: три компоненты вектора магнитной напряженности и две компоненты вектора электрической напряженности. Все числовые данные сохраняются в rslt-файл, после чего происходит считывание расчетных данных в комплексную двумерную матрицу (матрица рассчитанных полей). Следующим шагом выполняется вычисление коэффициента корреляции между соответствующими компонентами рассчитанных и наблюдаемых данных, поэтому предварительно формируется двумерная матрица значений наблюдаемых полей (матрица наблюдаемых полей), поэлементно соответствующая матрице рассчитанных полей. Полученное значение коэффициента корреляции «закрепляется» за той ячейкой исходной геоэлектрической модели, в которую был помещен элементарный объем с избыточной электропроводностью. Таким образом, перемещая элементарный объем с избыточной электропроводностью по всему однородному проводящему полупространству и выполняя для каждого варианта его размещения описанную выше процедуру, можно сформировать трехмерную матрицу комплексных коэффициентов корреляции. По анализу полученной матрицы можно делать какие-либо выводы о геометрии строения геосреды. Наиболее удобно осуществлять такой анализ по визуализированным картам линий уровня.

Для апробации метода истокообразной аппроксимации были проведены численные расчеты для ряда тестовых моделей. Приведем результат численных экспериментов по одной из них.

Пример 1. Рассмотрим возможности метода истокообразной аппроксимации на примере простой тестовой модели геоэлектрической среды, представляющей собой ограниченную однородную среду прямоугольной формы сопротивлением 1000 Ом со вставкой прямоугольной формы сопротивлением 100 Ом, находящейся на глубине 150 м от поверхности. Для этой модели была введена прямоугольная сетка: 10 ячеек по каждой из осей x и y , 5 слоев в глубину, неоднородная вставка располагается в третьем слое по глубине (рис. 9).

Для расчета наблюдаемых полей для этой модели была решена прямая трехмерная задача магнитотеллурического зондирования с помощью программы mt3dfwd.exe. Полученные значения были сохранены в матрицу наблюдаемых полей.

Первый шаг применения метода истокообразной аппроксимации заключался в следующем: для вмещающего объема было задано произвольное сопротивление 10 Ом, элементарный объем с сопротивлением 50 Ом (также выбрано произвольно) помещался поочередно в каждую из ячеек модели (рис. 10).

Для каждой полученной модели с помощью mt3dfwd.exe решалась прямая трехмерная задача, и, соответственно, для каждого месторасположения элементарного объема определялась корреляция матрицы рассчитанных полей с матрицей наблюдаемых полей. Анализ полученных корреляционных зависимостей удобно проводить по слайсам, то есть по горизонтальным сечениям трехмерной матрицы коэффициентов корреляции, где значения этих коэффициентов для каждой соответствующей точки пространства

отображаются с помощью цветовой шкалы (рис. 11, 12). На выполнение всей описанной процедуры для данного примера потребовалось около 25 минут.

Сопоставляя полученное геометрическое отображение коэффициентов корреляции, рассчитанных по алгоритму истокообразной аппроксимации, с распределением электрического сопротивления тестовой модели можно заметить, что наиболее отчетливо неоднородная вставка проявилась в действительных частях комплексных значений коэффициентов корреляции, соответствующих третьему слою. При этом в остальных слоях влияние вставки также присутствует, но оно уменьшается по мере удаления от ее локализации (значения коэффициентов корреляции со всех сторон от вставки увеличиваются). То есть полученное распределение коэффициентов корреляции можно использовать в качестве геометрического представления неоднородной геоэлектрической структуры на этапе предварительной качественной интерпретации данных МТЗ.

Рассмотрим пример применения метода истокообразной аппроксимации для более сложной тестовой модели.

Пример 2. Приведем результаты апробации истокообразной аппроксимации на примере трехмерной модели Чуйской впадины Горного Алтая (Баталева и др., 2017), представляющей собой неоднородную модель прямоугольной формы, на которой введена прямоугольная неравномерная сетка: 61 ячейка по каждой из осей x и y , 23 слоя в глубину. Горизонтальное сечение по первому слою представлен на рис. 13.

Ввиду большой размерности данной модели, решение задачи требует больших временных затрат: алгоритм истокообразной аппроксимации, запущенный для первого слоя модели на уменьшенной сетке (красный прямоугольник на рис. 13), потребовал на свое выполнение около 60 часов. Построенные карты линий уровня рассчитанных коэффициентов корреляции приведены на рисунках 14 и 15.

Анализируя построенные карты, можно сделать вывод, что истокообразная аппроксимация в первом приближении дает информацию о распределении неоднородностей, создавая «изображение» геоэлектрической среды. Очевидно, что подход с использованием истокообразной аппроксимации требует своего дальнейшего совершенствования.

3. Построена рабочая математическая модель источников электромагнитного поля эндогенного происхождения с оценкой границы ее применимости.

Наблюдаемые в полевых геофизических исследованиях шумоподобные сигналы такие как акустическая эмиссия (АЭ) и электромагнитное излучение (ЭМИ) эндогенного происхождения представляют собой установленные физические явления (Соболев, 1993), требующие адекватного теоретического описания. Отсутствие формальной теории сдерживает использование этих явлений в геофизической практике. К настоящему времени отдельные попытки ее построения базируются на некоторых обобщениях хорошо изученных контролируемых источников, что не позволяет, не только предсказать свойства поведения наблюдаемых сигналов, но и объяснить в их рамках установленные эффекты. Главный методический недостаток в описании этих явлений состоит в том, что отсутствует

учет перехода совокупности источников в их новое качество, которое выражается в формировании движущегося источника.

Основной целью настоящего исследования является нахождения такого преобразования полей АЭ и ЭМИ, которое позволило бы сформулировать обратную задачу об определении местоположения области генерации этих полей и интенсивности их источников.

Формальная теория опирается на физические представления об изучаемом явлении, с помощью которых должны истолковываться результаты последующих исследований. В качестве базовых предположений из теории акустической эмиссии (АЭ) и электромагнитного излучения (ЭМИ) предлагается использовать представления о пространственной и временной дискретности их источников. Рассмотрим шесть пунктов, определяющие суть этих предположений (Приложение 2 в дополнительном файле к отчету "Описание результатов с рисунками и формулами").

Таким образом, на основании сделанных предположений построена рабочая математическая модель источников электромагнитного поля эндогенного происхождения, Границы применимости этой модели определяются рассмотренными 6 предположениями. Для численной проверки этих предположений и последующих выводов были проведены вычислительные эксперименты, результаты которых излагаются ниже.

4. Проведено математическое моделирование случайного электромагнитного поля.

С целью проверки построенной рабочей математической модели источников электромагнитного поля эндогенного происхождения была решена прямая задача геоэлектрики для слоистой модели геоэлектрической среды с распределенными в ней источниками электромагнитного поля в нижнем полупространстве. На основе этого решения разработан алгоритм и составлена программа по численному моделированию электромагнитного поля от эндогенных источников. На рис. 16 представлена модель геоэлектрической среды, которая использовалась в расчетах. Область разрушения, связанная с процессом трещинообразования, располагалась на глубине 500м, источники электромагнитного поля находились в области в виде шара диаметром 200м. Источники моделировались электрическим диполем со случайным распределением (по нормальному закону) их местоположения внутри области разрушения. Амплитуда и ориентация диполей также моделировалось случайным образом с помощью нормального распределения. Иначе говоря, все параметры источников, за исключением частоты, являлись случайными, распределенными по нормальному закону.

Для сравнения, сначала вычислялось электромагнитное поле от одного источника, расположенного в центре области разрушения. Рис. 17. иллюстрирует местоположение и амплитуды одного источника.

Рассмотрим результаты выполненных расчетов следующим образом. На рис. 18а, рис. 18б, рис. 18в, рис. 18г представлены импедансы слоистой среды. При этом, эти импедансы не зависят от источников электромагнитного поля области разрушения.

Далее представлены результаты вычисления электромагнитного поля эндогенного происхождения: Y- и X- компоненты напряженности электрического поля.

На рис. 21 представлены местоположение и амплитуды источников электромагнитного поля в области разрушения, появляющиеся с частотой 10 источников в секунду.

На рис. 22 представлены результаты вычисления электромагнитного поля эндогенного происхождения x-вой компоненты напряженности электрического поля от источников, появляющихся с частотой 10 источников в секунду.

На рис. 23 представлены результаты вычисления электромагнитного поля эндогенного происхождения y-вой компоненты напряженности электрического поля от источников, появляющихся с частотой 10 источников в секунду.

На рис. 24 представлены местоположение и амплитуды источников электромагнитного поля в области разрушения, появляющиеся с частотой 100 источников в секунду.

На рис. 25 представлены результаты вычисления электромагнитного поля эндогенного происхождения x-вой компоненты напряженности электрического поля от источников, появляющихся с частотой 100 источников в секунду.

На рис. 26 представлены результаты вычисления электромагнитного поля эндогенного происхождения y-вой компоненты напряженности электрического поля от источников, появляющихся с частотой 100 источников в секунду.

Анализ результатов численного моделирования электромагнитного поля эндогенного происхождения со случайным распределением местоположения, амплитуды и направление электрических диполей показал, что при увеличении количества источников в единицу времени аномалия электромагнитного поля эндогенного происхождения сужается, а амплитуда напряженности электрического поля увеличивается. Иначе говоря, с увеличением количества источников, появляющихся в единицу времени, происходит кажущийся процесс приближения области разрушения к земной поверхности и уменьшения этой области. Этот эффект связан с формированием движущегося источника. Для неподвижного источника этого эффекта не наблюдается.

Таким образом, результаты моделирования подтверждают возможность получения информации о необратимых геодинамических процессах с более глубоких горизонтов земной коры. Это позволяет расширить границы применимости математической модели случайного электромагнитного поля эндогенного происхождения.

5. Выполнены полевые измерения МТЗ-МВЗ на миниполигоне «Кентор» и осуществлена математическая обработка материалов этих наблюдений.

Полевые измерения методами МТЗ-МВЗ были выполнены в 26 пунктах профиля «Кентор Восточный» с шагом от 100 до 800 метров, общая протяженность профиля порядка 5 км (рис. 27).

В Научной станции РАН при проведении исследований методами МТЗ-МВЗ используется аппаратура Феникс Геофизикс MTU-5, для математической обработки полевых данных используется программа SSMT-2000, разработанная специалистами той же фирмы. Программа обработки, которая может выполняться в режимах “local” (рис. 28) и “remote reference” (рис. 29), основана на корреляционном методе, а не на узкополосной фильтрации, широко используемой в других программных комплексах. В нем рассчитываются функции взаимной корреляции всех компонент поля. Далее проводится Фурье-преобразование, в результате чего получаются спектры мощности в широком частотном диапазоне, которые затем пересчитываются в компоненты тензора импеданса и матрицы Визе.

Весь цикл первичной математической обработки МТ-данных можно разделить на 3 этапа:

1) Анализ временных рядов вариаций компонент МТ-поля и удаление участков записей с сильными помехами, выходами за пределы динамического диапазона, что приводит к разбиению целой записи на несколько частей. Затем осуществляется подготовка файлов для дальнейшей обработки (создание структуры имен выходных файлов, введение служебной информации и т.п.).

2) На втором этапе производится оценивание передаточных функций (тензора импеданса, вектора Визе-Паркинсона и ряда других) по записям компонент МТ-поля. Основным этапом обработки является разделение записей МТ-поля на спектральные составляющие, по которым затем находятся компоненты искомым передаточных функций для заданного набора частот (Жданов, 1986). Результаты первичной обработки записей представлены на рис. 30, где были выбраны лучшие реализации для получения качественных кривых кажущегося сопротивления и фаз импеданса до периодов 2500 секунд.

3) Третий этап заключается в получении сглаженных кривых МТЗ (как импедансных, так и кривых кажущегося сопротивления). Особенностью проведения МТЗ в горных условиях является то обстоятельство, что качество регистрируемых компонент МТ-поля определяется не столько присутствием промышленных помех, сколько наличием близких гроз или ветровыми и микросейсмическими помехами. Из-за чего наблюдаемые данные, могут содержать значения параметров резко отличающиеся по величине от значений на соседних частотах, что осложняет анализ и подготовку к дальнейшей интерпретации МТ- данных. В связи с чем для подавления индустриальных помех и сглаживания передаточных функций используется программа МТ-Corrector, разработанная сотрудниками геофизической компании “Северо-Запад”, г. Москва. В процедуре углубленной обработки для окончательного отбора импедансных оценок используются все решения с отдельным анализом импедансных и адмитансных оценок, а затем проводится отбраковка наиболее «зашумленных» оценок с последующим объединением и сглаживанием наиболее достоверных решений для результирующих кривых (рис. 30).

Программный пакет МТ-Corrector позволяет выполнять проверку дисперсионных соотношений второго рода (рис. 31), которые характеризуют связь кажущегося сопротивления и фаз импеданса (Бердичевский и Дмитриев, 2009). МТ-Corrector позволяет вычислить фазовые кривые по соответствующим значениям частотных зависимостей модулей импедансов. Величина отклонения сплайна наблюдаемой и расчетной фазовых кривых характеризует степень выполнения дисперсионных соотношений (рис. 31). Для

профиля «Кентор Восточный» проверка выполнения дисперсионного соотношения второго рода показала, что для всех пунктов МТ-мониторинга оно выполняется в значительной части частотного диапазона наблюдений при минимальной коррекции импедансов (кажущихся сопротивлений). На рис. 31 иллюстрируются результаты применения этого метода для пункта 2. Использование такого подхода в обработке МТ-данных на всем профиле будет способствовать уменьшению RMS-невязки при выполнении 2D-инверсии.

В результате первичной обработки МТ-данных для профиля «Кентор Восточный» был получен набор кривых кажущегося сопротивления и фаз импеданса (рис. 33 и 34).

3.6.1. Количество научных работ по Проекту, опубликованных за период, на который предоставлен грант (пункт заполняется автоматически) 2

3.6.1.1. - в изданиях, включенных в перечень ВАК (пункт заполняется автоматически) 0

3.6.1.2. - в изданиях, включенных в библиографическую базу данных РИНЦ (пункт заполняется автоматически) 2

3.6.1.3. - из них в изданиях, включенных в международные системы цитирования (библиографические и реферативные базы научных публикаций, кроме Web of Science) (пункт заполняется автоматически) 0

3.6.1.4. - в изданиях, включенных Web of Science (пункт заполняется автоматически) 0

3.6.2. Количество научных работ, подготовленных в ходе выполнения Проекта и принятых к печати (пункт заполняется автоматически) 1

3.7. Участие в научных мероприятиях по тематике Проекта за период, на который предоставлен грант (каждое мероприятие с новой строки, указать названия мероприятий и тип доклада) 1. Школа – семинар «ГОРДИНСКИЕ ЧТЕНИЯ», Москва, 20 - 22 ноября 2017 г., ИФЗ РАН, устный доклад.

2. VII Международный симпозиум ПРОБЛЕМЫ ГЕОДИНАМИКИ И ГЕОЭКОЛОГИИ ВНУТРИКОНТИНЕНТАЛЬНЫХ ОРОГЕНОВ, г. Бишкек, 19 – 24 июня 2017 г. - Бишкек: ИС РАН, устный доклад.

3. «ДЕВЯТЫЕ НАУЧНЫЕ ЧТЕНИЯ Ю.П. БУЛАШЕВИЧА» Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей», 18 - 22 сентября 2017г., г. Екатеринбург, устный доклад.

3.8. Участие в экспедициях по тематике Проекта, за период, на который предоставлен грант (указать номера проектов) нет

3.9. Финансовые средства, полученные в 2017 году от Фонда 700000.00

3.10. Адреса (полностью) ресурсов в Интернете, подготовленных авторами по данному проекту, например, <http://www.somewhere.ru/mypub.html> <http://www.gdirc.ru/>

3.11. Библиографический список всех публикаций по Проекту, опубликованных за период, на который предоставлен грант, в порядке значимости: монографии, статьи в научных изданиях, тезисы докладов и материалы съездов, конференций и т.д.

Александров П.Н., Рыбин А.К., Забиякова О.Б. Разделение электромагнитного поля по положению источников в методе МТЗ // Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки, сдана в редакцию.

Рыбин А.К., Александров П.Н., Забиякова О.Б. ОБОБЩЕНИЕ ИМПЕДАНСНЫХ СООТНОШЕНИЙ ТИХОНОВА-КАНЬЯРА НА СЛУЧАЙ НАЛИЧИЯ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ЭНДОГЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ // Тезисы докладов «ДЕВЯТЫЕ НАУЧНЫЕ ЧТЕНИЯ Ю.П. БУЛАШЕВИЧА. Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей», 18 - 22 сентября 2017г., г. Екатеринбург. – с.363-366.

Баталев В.Ю., Баталева Е.А., Рыбин А.К., Александров П.Н., Матюков В.Е., Забиякова О.Б. РАЗДЕЛЕНИЕ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ЭКЗОГЕННУЮ И ЭНДОГЕННУЮ СОСТАВЛЯЮЩИЕ. ПЕРВЫЕ ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ. МАТЕРИАЛЫ IV Школы – семинара «ГОРДИНСКИЕ ЧТЕНИЯ» Москва, 20 - 22 ноября 2017 г., ИФЗ РАН – с.25-30.

3.12. Приоритетное направление развития науки, технологий и техники РФ, которому, по мнению исполнителей, соответствуют результаты данного проекта Рациональное природопользование

3.13. Критическая технология РФ, которой, по мнению исполнителей, соответствуют результаты данного проекта не очевидно

3.14. Основное направление технологической модернизации экономики России, которому, по мнению исполнителей, соответствуют результаты данного проекта не очевидно

3.15. Направление из Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации Исследования в области понимания процессов, происходящих в обществе и природе, развития природоподобных технологий, человеко-машинных систем, управления климатом и экосистемами, а также исследования, связанные с этическими аспектами технологического развития, изменениями социальных, политических и экономических отношений

