



ВОПРОСЫ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

**Материалы 47-ой сессии
Международного научного семинара
Д. Г. Успенского – В. Н. Страхова**

27 января - 30 января

ВОРОНЕЖ - 2020

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Воронежский государственный университет»
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт физики Земли имени академика О.Ю. Шмидта
Российской академии наук

АО «ОТ-ОЙЛ»

ВОПРОСЫ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

Материалы 47-й сессии
Международного научного семинара
Д. Г. Успенского – В. Н. Страхова

27 января – 30 января



Воронеж
Издательско-полиграфический центр
«Научная книга»
2020

УДК 550.8.015
ББК 26.20
В74

Редакционная коллегия

Бабаянц П. С. (ЗАО ГНПП «Аэрогеофизика», Москва)
Блох Ю. И., д.ф.-м.н. (Москва)
Булычев А. А., д.ф.-м.н. (МГУ, Москва)
Глазнев В. Н., д.ф.-м.н. (ВГУ, Воронеж)
Долгаль А. С., д.ф.-м.н. (ГИ УрО РАН, Пермь)
Калинин Д. Ф., д.т.н. (АО «Геологоразведка», Санкт-Петербург)
Мартышко П. С., чл.-корр. РАН д.ф.-м.н. (ИГф УрО РАН, Екатеринбург)
Михайлов В. О., чл.-корр. РАН д.ф.-м.н. (ИФЗ РАН, Москва)
Никитин А. А., д.ф.-м.н. (РГГРУ, Москва)
Старостенко В. И., академик НАНУ (ИГф НАНУ, Киев)
Тихоцкий С. А., чл.-корр. РАН д.ф.-м.н. (ИФЗ РАН, Москва)

Оргкомитет

Аузин А. А., д.т.н. (ВГУ, Воронеж)
Муравина О. М., д.т.н. (ВГУ, Воронеж)
Воронова Т. А., к.г.-м.н. (ВГУ, Воронеж)

- Вопросы** теории и практики геологической интерпретации геофизических полей :
В74 Материалы 47-й сессии Международного научного семинара Д. Г. Успенского –
В. Н. Страхова. Воронеж, 27 января – 30 января 2020 г. – Воронеж : Издательско-
полиграфический центр «Научная книга» 2020. – 326 с. – 100 экз. – ISBN 978-5-4446-
1375-7. – Текст : непосредственный.

В сборнике представлены материалы докладов 47-й сессии Международного научного семинара имени Д. Г. Успенского – В. Н. Страхова «Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей» (г. Воронеж, 27 января – 30 января 2020 года). Материалы семинара отражают современное состояние теории и практики интерпретации данных гравиметрии, магнитометрии, электрометрии. Рассмотрены теоретические аспекты, современные алгоритмы и компьютерные технологии обработки и интерпретации геофизических полей. Приводятся результаты геологического истолкования геофизических аномалий в различных регионах земного шара. Публикуемые материалы адресованы широкому кругу специалистов-геофизиков, занимающихся вопросами теории и практики геофизических исследований, и могут быть полезны для студентов, аспирантов и преподавателей высших учебных заведений геолого-геофизического профиля.

Материалы опубликованы в авторском варианте с незначительными правками.

УДК 550.8.015
ББК 26.20

ISBN 978-5-4446-1375-7

© Воронежский государственный университет, 2020
© Оформление.
Издательско-полиграфический центр
«Научная книга», 2020

5. *Тектоническая карта России, сопредельных территорий и акваторий. Масштаб 1:4 000 000 / Ред. Милановский Е.Е. – М. : МГУ, 2006.*
6. *Гарецкий Р.Г., Каратаев Г.И. Шовные зоны Фенноскандии, Сарматии и Волго-Уралии. – Минск : Беларуская навука, 2014. – 120 с.*
7. *Колодяжный С.Ю. Долгоживущие структурные ансамбли Восточно-Европейской платформы. Статья 2. Структура поверхности фундамента // Изв. высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2018. – № 3. – С. 5-14.*
8. *Гарецкий Р.Г., Леонов М.Г. «Структуры омута» – новая категория зон взаимодействия литосферных плитопотоков // ДАН. – 2018. – Т. 478(5). – С. 546-550.*
9. *Астапенко В.Н. Земная кора и мантия территории Беларуси по МТ данным. – Минск : Экономпресс, 2012. – 208 с.*
10. *Астапенко В.Н., Дубаневич М.А. Базисная 3D геоэлектрическая модель литосферы Беларуси // Літасфера. – 2017. – № 2(47). – С. 80-92.*
11. *Варенцов И.М., Иванов П.В., Ковачикова С., Лозовский И.Н., Рабочая группа KIROVOGRAD. Массив МТ/МВ зондирований KIROVOGRAD: Квази-3D инверсия горизонтальных МВ откликов // Вопросы естествознания. – 2016. – № 4(12). – С. 47-52.*

УДК 550.372

МОНИТОРИНГ ИЗМЕНЧИВОСТИ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКОГО ИМПЕДАНСА- ПРИ ОДИНОЧНЫХ И СИНХРОННЫХ НАБЛЮДЕНИЯХ

Варенцов И.М., Родина Т.А., Лозовский И.Н.

Центр геоэлектромагнитных исследований РАН, Троицк, Москва, Россия

Исследование временной изменчивости передаточных операторов естественного электромагнитного (ЭМ) поля является важным направлением мониторинга нестационарных явлений различной природы, связанных как с неоднородностями возбуждения поля и уровня промышленных шумов, так и с геодинамическими процессами [1-9]. Чаще всего изменчивость импеданса и типпера изучается по наблюдениям в одной точке [1, 3, 6, 8]. При локальном (одноточечном) оценивании передаточных операторов ярко проявляются нестационарные эффекты, имеющие природу, отличную от геодинамической. Соответственно, в задачах исследования динамики земных геоэлектрических структур (как естественных, так и техногенных) очень важно эффективно подавлять более интенсивные эффекты другой природы. Синхронные системы ЭМ наблюдений существенно расширяют возможности характеристики нестационарных эффектов и их целевого подавления [2-3, 9]. Такие системы становятся приоритетными при проведении наблюдений геодинамического мониторинга.

Временной мониторинг передаточных операторов ЭМ поля основан на их независимом оценивании в заданном диапазоне периодов для последовательности временных интервалов (окон мониторинга), длина которых определяется масштабом изучаемых нестационарных процессов. Результаты мониторинга обычно представляются в виде псевдоразрезов их компонент (или важнейших инвариантных параметров) с временной разверткой по горизонтали и периодами по вертикали [1, 3, 5]. Далее в большинстве геодинамических исследованиях ищется корреляция локальных аномалий на подобные псевдоразрезы с другими проявлениями геодинамических процессов, например, с землетрясениями и промышленными взрывами [1, 5-6], либо с резкими изменениями режима подземных резервуаров [8]. При этом крайне редко внимание обращается на распределения погрешностей, получаемых передаточных операторов. В результате, часто, особенно при одноточечных наблюдениях, возникают ложные корреляции данных мониторинга с геодинамическими явлениями.

В данной работе развивается подход к мониторингу временной изменчивости магнитотеллурических (МТ) и магнитовариационных (МВ) данных, основанный на синхронных наблюдениях, приложении многоточечных методов оценивания передаточных операторов и тонком учете получаемых погрешностей. Детали такого подхода иллюстрируются на материалах МТ наблюдений в период мощного (2.8 Кт в тротиловом эквиваленте) Камбаратинского промышленного взрыва на реке Нарын в Киргизии, произведенного 22 декабря 2009 г. для возведения взрывонабросной плотины. В течение суток до момента взрыва и двух суток после него выполнялись МТ наблюдения с частотой дискретизации 24 Гц [1]. Расстояние от пункта взрыва до регистрирующей станции (т. КМВ) с аппаратурой Phoenix MTU-5D равнялось 5.7 км. Одновременно велись наблюдения аналогичной аппаратурой на удаленном стационарном пункте Аксу (т. АКС) в 74 км от места взрыва. По этим данным выполнен мониторинг изменчивости импеданса для периодов от одной до нескольких сотен секунд во временных интервалах длительностью 45 минут, последовательно выбираемых без перекрытия.

На первом этапе строились частные оценки импеданса по временным окнам, совпадающим с заданным интервалом мониторинга. Использовалась программная система PRC_MTMV, разработанная в ЦГЭМИ ИФЗ РАН [3-4]. На рис. 1 в верхнем ряду показаны псевдоразрезы двух главных кажущихся сопротивлений по результатам одноточечного оценивания, а на рис. 2 – аналогичные результаты при синхронном оценивании с использованием наблюдений в т. АКС.

На развертках кажущегося сопротивления в зависимости от периода по вертикали (lg-масштаб) и номера окна мониторинга по горизонтали не удается выделить значимых трендов и кластеров, характеризующих состояние геоэлектрической среды до и после взрыва. Аналогичный вывод был сделан в [5] при сопоставлении стационарных оценок импеданса за периоды времени до и после взрыва. При этом псевдоразрезы осложнены многочисленными (особенно, в случае одноточечных оценок) локальными аномалиями, наиболее интенсивными в «мертвом» диапазоне периодов от 2 до 20 с, характеризующемся низкой энергией МТ полей. Тем не менее, оценивание по синхронным данным (рис. 2) позволяет исключить большую часть неоднородностей на периодах до 5-10 с, наблюдаемых на рис. 1 и связанных с влиянием локальных ЭМ шумов. Этот диапазон наиболее важен для мониторинга динамики геоэлектрических структур на глубинах первых км.

В общем случае, целесообразно получать частные оценки импеданса еще для нескольких временных окон меньшей длины (убывающей по степеням 2) и проводить робастное осреднение результатов по всем окнам, попадающим в интервал мониторинга. Такое многооконное осреднение ведется при построении стационарных оценок передаточных операторов. При этом до итогового осреднения ведется глобальная (всех данных для отдельных окон) и локальная (отдельных компонент на отдельных периодах) отбраковка частных оценок по ряду критериев, характеризующих точность и искаженность оценок [3-4]. В случае мониторинга, глобальная и локальная отбраковки не производятся, но все используемые в них критериальные параметры сохраняются. К таким параметрам относятся, например, частная когерентность горизонтальных магнитных полей (входная когерентность), контролирующая невырожденность матричной структуры импеданса; множественные когерентности строк импеданса, характеризующие качество соответствующих линейных связей; параметры пространственно-частотной структуры горизонтального магнитного поля (изменчивость, взаимность и др.), указывающие на присутствие регионально коррелируемого ЭМ шума и отклонения возбудителей поля от Тихоновской модели [4].

Для прояснения природы аномалий, наблюдаемых на верхних псевдоразрезах на рис. 1 и 2, произведена отбраковка частных оценок импеданса по двум когерентностным критериям и по величине относительных погрешностей оценивания. Во втором ряду псевдоразрезов исключены частные оценки с высокой (> 0.6) входной когерентностью, характеризующей случаи линейной поляризации МТ полей, не позволяющие точно определить импеданс в матричном представлении. Большая часть исключений здесь коснулась периодов

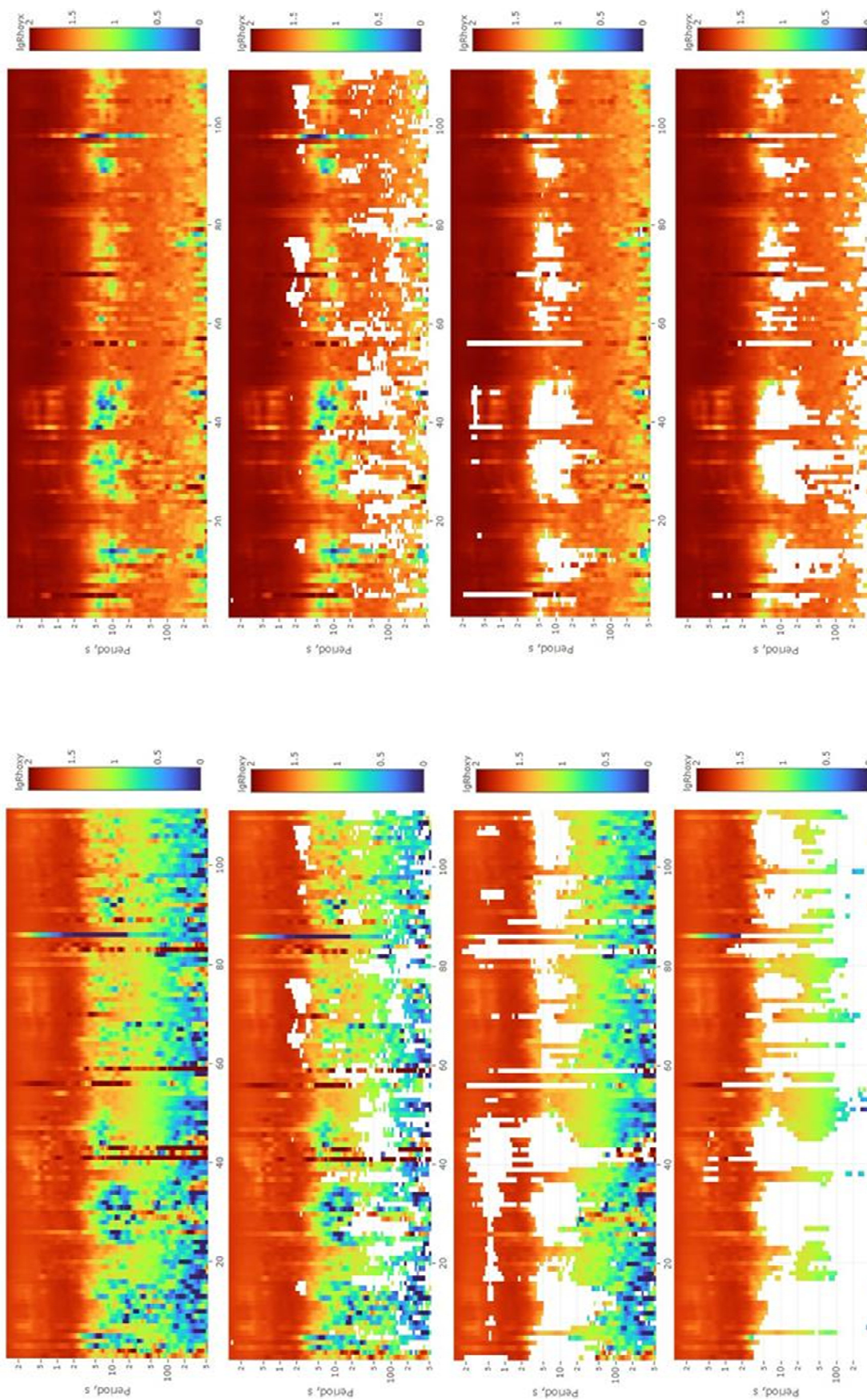


Рис. 1. Временные развертки кажущихся сопротивлений в т. КМВ на периодах 1-100 с: компонента xy – слева, yx – справа; верхний ряд – полный набор данных; второй – исключены данные с квадратом входной когерентности более 0.6; третий – исключены данные с квадратом множественной когерентности менее 0.55; четвертый – исключены данные с относительными погрешностями $> 33\%$

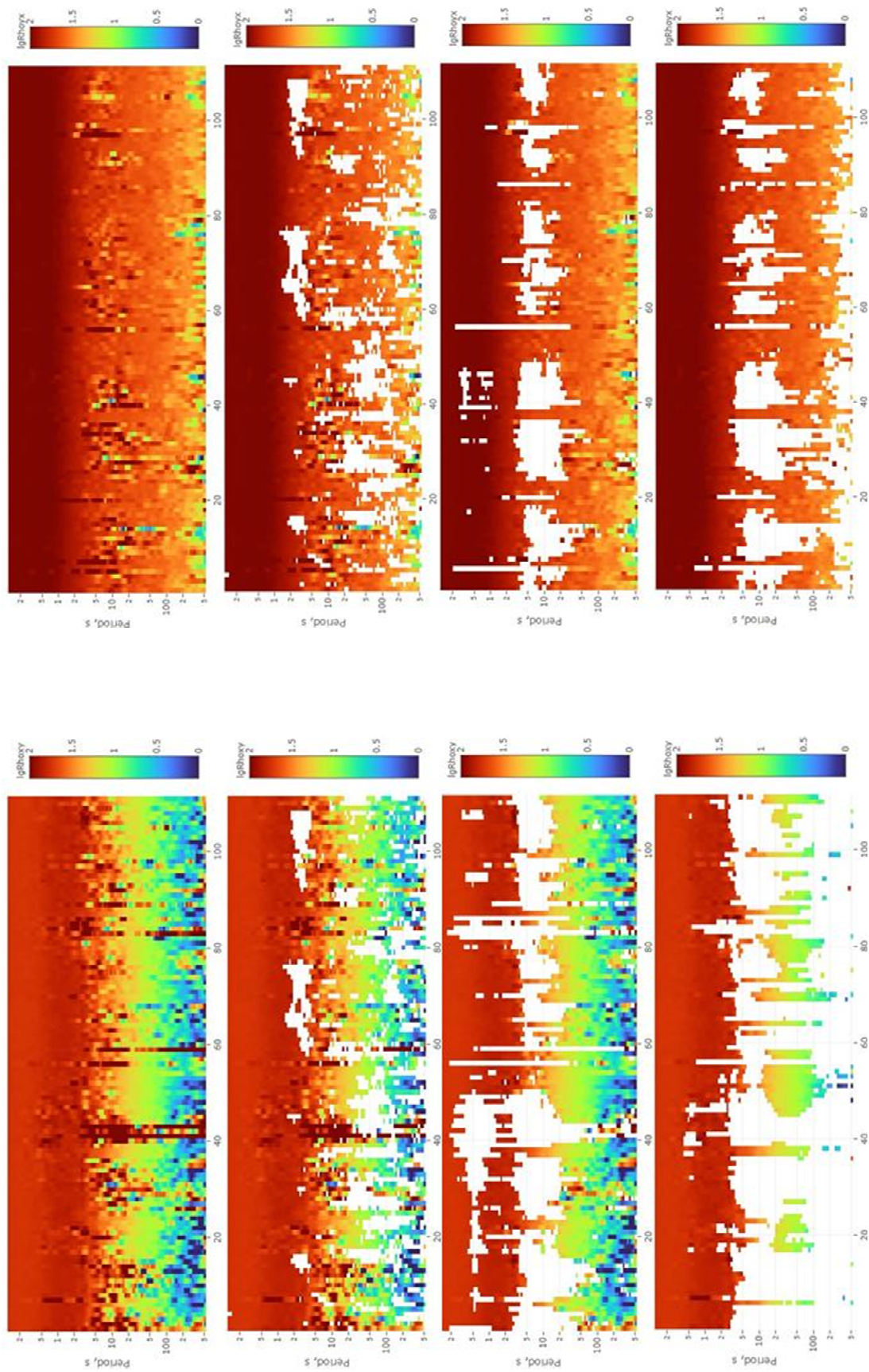


Рис. 2. Временные развертки кажущихся сопротивлений в т. КМВ с использованием базового стационарного пункта АКС на периодах 1-100 с: компонента xu – слева, yx – справа; смысл панелей – такой же, как на рис. 1

> 10-20 с. В третьем ряду исключены частные оценки с низкой (< 0.55) множественной когерентностью, характеризующие качество импедансных линейных связей. В этом случае исключения концентрируются в «мертвом» диапазоне в окрестностях периодов 3 и 10 с. Наконец, в нижнем ряду псевдоразрезов исключены оценки с относительной погрешностью выше 33 %. Отбраковка по относительной погрешности будет основной при анализе итоговых результатов мониторинга в случае осреднения результатов для нескольких временных окон оценивания.

Разработанные процедуры анализа и визуализации результатов мониторинга с отбраковкой по отдельным критериям позволяют наглядно выделять области влияния погрешностей разного рода, а совместная настройка серии критериев дает возможность избавиться от недостоверных элементов псевдоразрезов и сосредоточиться на выявлении и анализе устойчивых нестационарных эффектов.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 18-35-00668 мол_а.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баталева Е.А., Баталев В.Ю., Рыбин А.К. К вопросу о взаимосвязи вариаций электропроводности земной коры и геодинамических процессов // Физика Земли. – 2013. – № 3. – С. 105-113.
2. Варенцов И.М., Соколова Е.Ю., Мартанус Е.Р. и др. Методика построения передаточных операторов ЭМ поля для массива синхронных зондирований BEAR // Физика Земли. – 2003. – № 2. – С. 30-61.
3. Варенцов И.М., Соколова Е.Ю., Рабочая группа проекта BEAR. Диагностика и подавление авроральных искажений передаточных операторов ЭМ поля в эксперименте BEAR // Физика Земли. – 2003. – № 4. – С. 21-48.
4. Varentsov I.M. Arrays of simultaneous EM soundings: design, data processing, analysis, and inversion // EM sounding of the Earth's interior : theory, modeling, practice. Elsevier. – 2015. – P. 271-299.
5. Варенцов И.М., Лозовский И.Н., Родина Т.А. Динамика оценок МТ/МВ передаточных операторов по наблюдениям в период Камбаратинского промышленного взрыва // Проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов : Материалы VII Международного симпозиума. – Бишкек : НС РАН, 2017. – С. 405-408.
6. Рокитянский И.И., Трегубенко В.И., Бабак В.И., Терешин А.В. Вариации компонент вектора индукции и горизонтального тензора перед землетрясением Тохоку 11 марта 2011 г. по данным японских геомагнитных обсерваторий // Геофизический журнал. – 2013. – № 3. – С. 15-130.
7. Chave A.D., Thomson D.J. Some comments on MT response function estimation // J. Geophys. Res. – 1989. – Vol. 94. – № B10. – P. 14215-14225.
8. Peacock J.R., Thiel S., Reid P., Heinson G. MT monitoring of an enhanced geothermal system fluid injection: Example from an enhanced geothermal system // Geophys. Res. Let. – 2012. – Vol. 39. – L18403. Doi : 10.1029/2012GL053080.
9. Palshin N.A., Smirnov M.Yu., EMTESZ-Pomerania WG. Characterization of the cultural EM noise // Study of geological structures containing well-conductive complexes in Poland // Publ. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sci. – 2005. – № C-95(386). – P. 87-96.