

**Федеральное государственное
бюджетное учреждение науки
Институт нефтегазовой геологии и
геофизики им. А.А. Трофимука
Сибирского отделения
Российской академии наук
(ИНГГ СО РАН)**

Проспект Академика Коптюга, д. 3
Новосибирск, 630090
Тел. (383) 333-29-00, факс (383) 330-28-
07
E-mail: ipgg@ipgg.sbras.ru
www.ipgg.sbras.ru
ОКПО 93857650 ОГРН 1065473056670
ИНН/КПП 5408240311/540801001

От 26.03.2019 № 15350-111-2171/227

На № _____ от _____


УТВЕРЖДАЮ
Директор ИНГГ СО РАН,
д.т.н., профессор
Ельцов Игорь Николаевич

26 марта 2019 г.

Отзыв ведущей организации

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука
Сибирского отделения Российской академии наук
на диссертацию Боева Никиты Михайловича «Разработка и исследование
широкополосного магнитометра слабых магнитных полей на основе
микрорезонансного резонатора с тонкой магнитной пленкой», представленную на
соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности
01.04.01 – «Приборы и методы экспериментальной физики»

Актуальность работы:

Высококочувствительные широкополосные магнитометры слабых магнитных полей находят широкое применение при решении многих актуальных задач.

Например, при проведении геофизических исследований методом переходных процессов используются магнитометры, которые должны обладать широкой полосой частот и одновременно высокой чувствительностью, поскольку информативность метода напрямую зависит от чувствительности магнитометрического прибора. Кроме того, существует ряд других применений, где важно обеспечить одновременно широкую полосу частот – до 10^6 Гц и высокую чувствительность, например, при проведении геофизических исследований магнитотеллурическими методами, частотным зондированием, в системах ближнепольной магнитной связи.

Цель и задачи работы:

Целью работы Боева Н. М. являлась разработка и исследование новой конструкции магнитометра слабых магнитных полей на основе микрополоскового резонатора с тонкой магнитной пленкой, который должен удовлетворять современным требованиям к магнитометрической аппаратуре. Для достижения поставленной цели автором решены следующие задачи: проведен анализ существующих средств измерений параметров магнитных полей; разработана новая конструкция магнитометра на основе микрополоскового резонатора с тонкой магнитной пленкой; создан автоматизированный стенд, предназначенный для измерения интегральных магнитных характеристик тонких магнитных пленок и чувствительных элементов магнитометров; разработана новая конструкция чувствительного элемента для сканирующего спектрометра ферромагнитного резонанса, предназначенная для локальных измерений свойств тонких магнитных пленок и чувствительных элементов магнитометров; проведены лабораторные и полевые испытания разработанных устройств.

Основные результаты работы:

1. Боевым Н. М. Разработана новая конструкция магнитометра на основе микрополоскового резонатора с тонкой магнитной пленкой. Разработанный магнитометр позволяет проводить измерения в диапазоне частот 10^{-2} – 10^6 Гц и в диапазоне полей 10^{-13} – 10^{-4} Тл. Уровень собственных шумов на частоте 1 Гц составляет 10^{-11} Тл/Гц^{1/2}, а на частотах выше 10^4 Гц не превышает $2 \cdot 10^{-13}$ Тл/Гц^{1/2}.

2. Автором разработан автоматизированный комплекс и методики, предназначенные для проведения измерений интегральных магнитных характеристик тонких магнитных пленок и чувствительных элементов магнитометров. С использованием комплекса проведена серия измерений параметров тонкопленочных образцов, что позволило повысить чувствительность магнитометра.

3. Автор разработал новую конструкцию чувствительного элемента сканирующего спектрометра ферромагнитного резонанса. Чувствительность конструкции повышена более чем на 20 дБ, проведена серия измерений распределений магнитных характеристик по площади тонкопленочных образцов. Эти измерения дали информацию для отработки технологии получения тонких магнитных

пленок, что в результате привело к повышению чувствительности разработанного Боевым Н. М. магнитометра.

Диссертация Боева Н. М. состоит из введения, 4 глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы из 120 наименований и 12 приложений. Объем диссертации – 143 страницы, в том числе 81 рисунок и 6 таблиц.

Основные результаты работы опубликованы автором в 28 работах, из них 7 работ в журналах из перечня ВАК (WoS, Scopus), 5 патентов РФ, 6 программ ЭВМ. Результаты работы докладывались как на различных российских конференциях, так и на зарубежных конференциях.

Научная и практическая значимость:

1. Разработана **новая** конструкция векторного магнитометра слабых магнитных полей на основе микрополоскового резонатора с тонкой магнитной пленкой. Научная новизна разработанного датчика заключается в использовании **оригинальной конфигурации магнитных полей** в области чувствительного элемента: высокочастотное поле возбуждения направлено вдоль оси трудного намагничивания пленки; постоянное поле смещения направлено под небольшим оптимальным углом к трудной оси, при этом направление максимума чувствительности совпадает с осью легкого намагничивания пленки. Разработанный магнитометр имеет малые массу и габариты, является простым и сравнительно дешевым в серийном изготовлении. На частотах более 10^2 Гц чувствительность датчика превышает чувствительность лучших феррозондовых магнитометров.

На основе этого магнитометра можно создать малогабаритный малощумящий высокочастотный измеритель **вектора** магнитной индукции, который востребован при проведении дистанционных зондирований Земли.

2. Создан автоматизированный измерительный комплекс и разработаны **новые методики**, позволяющие проводить измерение интегральных характеристик тонкопленочных образцов и чувствительных элементов на их основе. Разработанный комплекс позволяет значительно сократить время проведения измерений. Применение комплекса дает возможность отобрать лучшие образцы пленок для получения максимальной чувствительности магнитометров.

3. Разработана **новая** конструкция чувствительного элемента сканирующего спектрометра ферромагнитного резонанса. Отличительной особенностью конструкции является резонатор, образованный нерегулярными отрезками полосковых линий, расположенными на одной печатной плате с СВЧ-генератором и амплитудным детектором. Чувствительность конструкции увеличена более чем на 20 дБ, что дает возможность проводить измерение пленок толщиной менее 100 Å без накопления сигнала.

Замечания по работе:

1. В тексте диссертации используются в произвольном порядке две системы единиц физических величин: СИ и СГС (тесла, гаусс), что создает определенные

трудности при ее прочтении, например, спектральная плотность шумов измерителей индукции магнитного поля (Таблица 2.1) приведены в системе СИ ($\text{Тл/Гц}^{1/2}$), а коэффициенты преобразования – в вольтах на ЭРСТЕД. Отсутствует четкое определение поля анизотропии для ТМП – H_k (параграф 1.2).

1. В главе 2 автором приведена диаграмма направленности тонкопленочного датчика (рис. 2.19). Из рисунка видно, что диаграмма направленности «вращается» при изменении постоянного поля смещения тонкопленочного образца, при этом автором указывается возможность применения датчика для создания векторного магнитометра. Автор не указывает, каким образом параметры векторного магнитометра будут изменяться при его вращении в поле Земли, которое будет суммироваться с полем смещения и, как следствие, приводить к ошибке установки осей магнитометра. Кроме того, нет четкого определения подавления перпендикулярной компоненты (по ОН) измеряемого магнитного поля.

2. В таблице 2.1 Боев Н. М. приводит рабочий диапазон температур разработанного магнитометра – от минус 40 до плюс 70 °С. Однако при работе в таком широком диапазоне температур в конструкции магнитометра требуется наличие датчика температуры, расположенного внутри прибора (как сделано в приведенном автором прототипе-феррозонде). В работе нет сведений о размещении датчика температуры внутри разработанного магнитометра.

3. На рисунке 2.20 приведены результаты измерений шумов разработанного магнитометра в полосе от 1 Гц до 10 кГц, при этом указывается, что разработанная конструкция работает в диапазоне частот до 1 МГц. Для диапазона частот от 10 кГц до 1 МГц зависимость не приводится.

Заключение:

Диссертация Боева Н. М. является самостоятельным и законченным исследованием, выполненным на актуальную тему. Новые научные результаты, полученные автором, имеют существенное значение для создания современной магнитометрической аппаратуры, предназначенной для решения актуальных задач.

Считаем целесообразным провести сравнительные натурные испытания разработанных экспериментальных образцов датчиков магнитного поля в составе измерительной системы при проведении зондирования Земли методом становления поля.

Диссертация Боева Н. М. «Разработка и исследование широкополосного магнитометра слабых магнитных полей на основе микрополоскового резонатора с тонкой магнитной пленкой» соответствует критериям, установленным п. 9 Положения о присуждении учёных степеней (утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842), а ее автор – Боев Никита Михайлович – заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – «Приборы и методы экспериментальной физики».

Отзыв на диссертацию Боева Н. М. «Разработка и исследование широкополосного магнитометра слабых магнитных полей на основе микрополоскового резонатора с тонкой магнитной пленкой» обсужден на совместном заседании лабораторий многомасштабной геофизики, сейсмической томографии, вычислительной физики горных пород, физических проблем геофизики, электромагнитных полей, естественных геофизических полей, геоэлектрики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А.Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук (ИНГГ СО РАН), одно из направлений научно-исследовательской деятельности которых является изучение магнитных полей, 21 марта 2018 года, протокол №1, отзыв одобрен в качестве официального отзыва ведущей организации. Отзыв утвержден на заседании Ученого совета ИНГГ СО РАН 26 марта 2019 года, протокол № 5.

Главный научный сотрудник лаборатории

геоэлектрики д. ф.-м. н.

раб. телефон – 8(383)3332816,

Антонов Евгений Юрьевич

адрес – 630090, Новосибирск, пр. акад. Коптюга, д. 3,

e-mail –

Согласен на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета Д 003.075.02

Ведущий научный сотрудник лаборатории

электромагнитных полей, д.т.н

раб. телефон – 8(383)3304952,

адрес – 630090, Новосибирск, пр. акад. Коптюга, д. 3,

e-mail – manstein@ipgg.sbras.ru

Манштейн Александр Константинович

Согласен на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета Д 003.075.02

Старший научный сотрудник лаборатории
полевых аналитических и измерительных
технологий

раб. телефон – 8(383)3333012,

адрес – 630090, Новосибирск, пр. акад. Коптюга, д. 3,

e-mail –

Ыгостев Игорь Николаевич

Согласен на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета Д 003.075.02

Публикации Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука
Сибирского отделения Российской академии наук ведущей организации
диссертации Боева Никиты Михайловича «Разработка и исследование
широкополосного магнитометра слабых магнитных полей на основе
микрорезонансного резонатора с тонкой магнитной пленкой»

№	Название работы	Вид работы	Выходные данные	Объем (стр)	Авторы	DOI
1.	3D Tomographic Inversion of TEM Sounding Data	статья в журнале	// Russian Geology and Geophysics. – 2019. – Т. 60. – № 1. – С. 97-107	11	Mogilatov V.S., Antonov E.Y., Shein A.N.	10.15372/RGG2019007
2.	Влияние магнитной вязкости на индукционные переходные характеристики установки с закрепленной генераторной петлей	статья в журнале	// Геология и геофизика. – 2018. – Т. 59. – № 6. – С. 857-865	9	Кожевников Н.О., Антонов Е.Ю.	10.15372/GiG20180607
3.	Физическое и численное моделирование зондирования становлением поля над соляно-купольными структурами	статья в журнале	// Геология и геофизика. – 2017. – Т. 58. – № 2. – С. 323-333	11	Бобров Н.Ю., Крылов С.С., Антонов Е.Ю., Шеин А.Н., Смилевцев Н.П.	10.15372/GiG20170210
4.	Волновые трансформанты нестационарного электромагнитного поля в проводящих средах	статья в журнале	// Геология и геофизика. – 2017. – Т. 58. – № 6. – С. 924-934	11	Грецков Г.А., Эпов М.И., Антонов Е.Ю.	10.15372/GiG20170608
5.	Автоматизированная система для интерпретации данных индукционных импульсных электромагнитных зондирований с учетом индукционно-вызванной поляризации	статья в журнале	// Геология и геофизика. – 2014. – Т. 55. – № 8. – С. 1282-1293	12	Антонов Е.Ю., Кожевников Н.О., Корсаков М.А.	10.1016/j.rgg.2014.07.009
6.	Поиск таликов методом ЗСБ в условиях интенсивного проявления индукционно-	статья в журнале	// Геология и геофизика. – 2014. – Т. 55. – № 12. – С. 1815-1827	13	Кожевников Н.О., Антонов Е.Ю., Захаркин А.К., Корсаков М.А.	10.1016/j.rgg.2014.11.009

№	Название работы	Вид работы	Выходные данные	Объём (стр)	Авторы	DOI
	вызванной поляризации					
7.	Мультидисциплинарные археолого-геофизические исследования в Западной Сибири	статья в журнале	// Геология и геофизика. – 2016. – Т. 57. – № 3. – С. 603-614	12	Эпов М.И., Молодин В.И., Манштейн А.К., Балков Е.В., Дядьков П.Г., Матасова Г.Г., Казанский А.Ю., Бортникова С.Б., Позднякова О.А., Карин Ю.Г., Кулешов Д.А.	10.15372/GiG20160309
8.	Оценки тензора анизотропии электропроводности в нижней мантии по геомагнитным данным	статья в журнале	// Геология и геофизика. – 2015. – Т. 56. – № 12. – С. 2240-2249	10	Плоткин В.В., Дядьков П.Г., Овчинников С.Г.	10.15372/GiG20151209
9.	Математическое обоснование нового электромагнитного зонда с тороидальными катушками для высокоразрешающего каротажа нефтегазовых скважин	статья в журнале	// Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. – 2018. – Т. 16. – № 1. – С. 113-129	17	Эпов М.И., Никитенко М.Н., Глинских В.Н.	10.25205/1818-7900-2018-16-1-113-129
10.	Быстрая инверсия данных разновысотных измерений магнитного поля с БПЛА на примере синтетических моделей с учетом рельефа [Электронный ресурс]	статья в журнале	// Геофизические технологии. – 2018. – № 3. – С. 30-38	9	Максимов М.А., Суродина И.В., Глинских В.Н.	10.18303/2619-1563-2018-3-3
11.	Совместная численная инверсия данных индукционных и гальванических каротажных зондирований в моделях геологических сред с осевой симметрией	статья в журнале	// Геология и геофизика. – 2017. – Т. 58. – № 6. – С. 935-947	13	Михайлов И.В., Глинских В.Н., Никитенко М.Н., Суродина И.В.	10.15372/GiG20170609
12.	A new approach to shallow-depth electromagnetic sounding	статья в журнале	// Russian Geology and Geophysics. – 2017. – Т. 58. – № 5. – С. 635-641	7	Balkov E.V., Fadeev D.I., Karin Y.G., Manshtein A.K., Manshtein Y.A., Panin G.L.	10.1016/j.rgg.2017.04.004
13.	Трехмерное моделирование импульсных зондирований с использованием быстрого преобразования Фурье	статья в журнале	// Геология и геофизика. – 2016. – Т. 57. – № 2. – С. 411-420	10	Эпов М.И., Шурина Э.П., Штабель Е.П., Штабель Н.В.	10.15372/GiG20160209
14.	Errors of Estimating the Parameters of Local Magnetic Anomalies Based on Magnetic	статья в журнале	// Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. –	6	Kosykh V.P., Gromilin G.I., Firsov A.P., Savluk A.V.	10.3103/S8756699018040027

№	Название работы	Вид работы	Выходные данные	Объем (стр)	Авторы	DOI
	Survey Performed at Different Altitudes by an Unmanned Aerial Vehicle		2018. – Т. 54. – № 4. – С. 328-333			
15.	Магнитометрическая съемка "царского" кургана и ближайшей территории на археологическом памятнике Урочище Балчикова-3 с помощью беспилотного летательного аппарата	статья в журнале	// Теория и практика археологических исследований. – 2017. – № 4 (20). – С. 103-111	9	Тишкин А.А., Фирсов А.П., Злыгостев И.Н., Савлук А.В., Колесов А.С., Шеремет А.С.	10.14258/tpai(2017)4(20).-08

Список верен
ученый секретарь ИНГТ СО РАН
к.ф.-м.н.



М.П. Козлова