

УТВЕРЖДАЮ

Директор федерального государственного
бюджетного учреждения науки «Институт
вычислительной математики и математи-
ческой геофизики Сибирского отделения
Российской академии наук»,
д.ф -м.н , профессор РАН

_____ М.А. Марченко

_____ 2021 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук»

на диссертационную работу Балкова Евгения Вячеславовича "**Программно-алгоритмическое и аппаратное обеспечение малоглубинного электромагнитного профилирования, зондирования и электротомографии**", представленную на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 25.00.10 – геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых

В диссертационной работе Е.В. Балкова изложены новые научно обоснованные технические, технологические и программные решения по созданию технологии изучения сложно-построенной геологической среды в диапазоне глубин до 100 м.

Объект исследования – малоглубинное электромагнитное профилирование, зондирование и электротомография на предмет развития их программно-алгоритмического и аппаратного обеспечения, а также использования при решении практических задач инженерной геофизики, геоэкологии и археологии.

Цель исследований – повысить достоверность измерений при частотном профилировании, зондированиях и электротомографии с увеличенным пространственным разрешением геоэлектрических моделей среды на малых глубинах; улучшить технологические, эксплуатационные и эргономические характеристики аппаратуры; расширить применимость методов для решения задач в других областях знания.

Результаты работы представляют значительный интерес как для развития электромагнитных и электрических методов исследования малых глубин, так и для практики геофизического исследования в смежных областях знания, поскольку обеспечивают повышение оперативности, разрешающей способности и достоверности определения удельного электрического сопротивления (УЭС).

Актуальность темы исследований диктуется необходимостью создания современной аппаратуры и программного обеспечения для малоуглубинных исследований, отличающейся высокими метрологическими и эргономическими характеристиками, возможностью комплексирования различных методов исследования строения среды (ЭМП, ЭМЗ, ЭТ) и компактностью. Следует отметить, что комплексирование этих дополняющих друг друга методов для практических задач по поиску и разведке аномальных геоэлектрических структур является актуальной задачей.

Новизна полученных результатов, выводов и рекомендаций сформулирована в диссертации корректно и не вызывает сомнений. Следует особо выделить следующие аспекты:

- разработано и апробировано на практике новое устройство для малоуглубинного радиально-частотного зондирования с особым расположением приемных катушек на которой вертикальная компонента напряженности магнитного поля от генераторной катушки равна нулю;
- разработана конструкция новой аппаратуры Скала-48 для электротомографии и соответствующее программно-алгоритмическое обеспечение;
- на практических примерах изучения аномалий УЭС при решении археологических, экологических и инженерных задач доказана эффективность совместного применения ЭМП и ЭТ аппаратурно-программными комплексов ЭМС и Скала-48.

Научная и практическая значимость полученных результатов

В представленном диссертационном исследовании, основной научный интерес представляет следующее:

- теоретически обоснованы предлагаемые алгоритмы калибровки, управления, экспресс-обработки, одномерной инверсии и визуализации для аппаратуры малоуглубинного электромагнитного профилирования и частотного зондирования ЭМС;
- на основе численного моделирования показано, что предложенный способ радиально-частотного зондирования с особым расположением измерительных катушек эффективно компенсирует прямое поле генераторной катушки.

Следует отметить, что теоретические исследования автора подтвердились на практике.

Практическая значимость определена широким внедрением полученных результатов. Программно-алгоритмические разработки используются для калибровки аппаратуры, обработки и интерпретации данных в аппаратурно-программных комплексах ЭМС и Скала-48, серийно выпускаемых в ИНГГ СО РАН совместно с ООО «КБ Электростроения». К настоящему времени более 100 комплектов

аппаратурно-программного комплекса ЭМС и более 70 Скала-48 используется производственными и научно-исследовательскими организациями в России и за рубежом. Разработанное программно-алгоритмическое обеспечение в составе аппаратурно-программных комплексов ЭМС и Скала-48 применяется в учебном процессе и полевой геофизической практике на геолого-геофизическом факультете в Новосибирском государственном университете.

Обоснованность и достоверность научных результатов, выводов и заключений

Достоверность полученных результатов диссертационного исследования подтверждается проведением работ на тестовом электрометрическом полигоне и полевых исследований при решении практических задач по поиску мест скопления микросфер на территории золоотвала Томь-Усинской ГРЭС (Кемеровская область), оценке объемов загрязнения промышленными захоронениями пестицидов территории вблизи с. Юргинское (Тюменская область), поиску и детальному исследованию археологических объектов памятника Венгерова-2 (Новосибирская область).

Результаты работ автора неоднократно обсуждались на международных и российских конференциях и хорошо известны специалистам. Соискатель имеет более 80 опубликованных научных работ по теме диссертации.

Оценка содержания диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения. Объем – 254 страницы текста, 89 рисунков и 7 таблиц. Список использованных источников содержит 255 наименований. В каждой из четырех глав диссертации приведен анализ известных аппаратурных и программных разработок, ключевых публикаций по соответствующей тематике, раскрывающий как историю развития, так и современное состояние исследований. Главы содержат результаты апробации разработанных алгоритмов, программ и аппаратных решений на объектах электрометрического полигона и при полевых работах, а также преимущества и ограничения соответствующих разработок.

В главе 1 приведен аналитический обзор современного программно-алгоритмического и аппаратурного обеспечения для малоглубинного электромагнитного профилирования и зондирования. Рассмотрены более 25 моделей различных приборов с указанием основных характеристик, рассматриваются устройства и программное обеспечение (ПО), используемое для управления сбором, обработки, инверсии и визуализации данных. Подробно описаны алгоритмические и программные разработки соискателя для аппаратуры малоглубинного частотного профилирования и зондирования ЭМС, разработанной в ИНГГ СО РАН. Среди них: оригинальный способ и ПО калибровки, основанные на подборе эффективных параметров при использовании избыточного числа измерений; алгоритм трансформации сигналов, регистрируемых аппаратурой, в кажущееся удельное сопротивление; ПО EMS Control для проектирования системы наблюдения, управления работой, экспресс-обработки и координатной привязки сигналов аппаратуры с использованием мобильного контроллера под управлением ОС Windows Mobile; ПО ISystem,

предназначенное для оперативной обработки и автоматической визуализации результатов. Изложено устройство электрометрического полигона ИНГГ СО РАН, на котором обустроено более трех десятков объектов, имитирующих реальные. Описано тестирование и верификация программно-алгоритмических разработок соискателя в ходе исследований на тестовых объектах полигона. Приведены результаты комплексных полевых работ с использованием описанных разработок, выполненных совместно с итальянской компанией Geostudi Astier, по исследованию структуры подземных газовых каналов в районе кальдеры древнего вулкана вблизи города Латера (Италия), а также совместных работ с Институтом археологии и этнографии СО РАН на археологическом памятнике Венгерово-2 (Венгеровский р-н Новосибирской обл.), выделяющемся своими уникальными объектами эпох бронзы и неолита.

В главе 2 исследованы ограничения применения компактной индукционной аппаратуры для малоглубинного частотного зондирования. Для определения зондирующей способности аппаратуры ЭМС выполнено численное моделирование синтетических сигналов и их трансформация для широкого диапазона параметров двухслойной среды и аппаратуры. Расчетами показано, что аппаратура ЭМС может быть использована не только для профилирования, но и для зондирования. Однако диапазон сред, для которых может выполняться зондирование, существенно ограничен проводящими средами с высоким контрастом УЭС слоев. Описана разработка вычислительного модуля для решения прямой задачи расчета электромагнитного поля над горизонтально-слоистой средой и обратной задачи восстановления УЭС и мощностей слоев среды по сигналам ЭМС, а также ПО EMS v2, в котором реализован развитый графический интерфейс для профильной одномерной инверсии. Изложены результаты апробации алгоритмов и ПО инверсии в ходе комплексных исследований геотермальных зон в Камчатском регионе, установлена корреляция полученных результатов с результатами, полученными с использованием стороннего ПО и альтернативного электроразведочного метода электротомографии.

В главе 3 описана разработка, реализующая оригинальный способ малоглубинного индукционного зондирования, при котором, в отличие от всех рассмотренных в работе ранее приборов, генераторная и приемные катушки разнесены не только по горизонтали, но и по вертикали для компенсации первичного поля генераторной катушки. Зондирование выполняется при одновременном изменении двух параметров – частоты и разноса, реализуя радиально-частотное зондирование (РЧЗ). Описана разработка макета прибора, имеющего жесткий каркас, и его основных узлов, в котором набор из пяти приемных катушек располагается в зоне компенсации прямого поля на разном удалении от генератора. Приведены результаты численного моделирования и практических испытаний для оценки влияния на регистрируемый сигнал смещения измерительных катушек относительно линии компенсации. Численным моделированием показана большая зависимость УЭС от частоты для сигналов РЧЗ, что говорит о расширении диапазона применимости такой реализации зондирования по сравнению с частотным зондированием (аппара-

турой ЭМС). Численным моделированием установлено преимущество новой аппаратной разработки РЧЗ при работах по поиску или с присутствием паразитных локальных приповерхностных объектов. Описаны полевые тесты макета аппаратуры РЧЗ на территории электрометрического полигона, подтверждающие результаты, полученные на синтетических данных.

В главе 4 описана современная модификация метода сопротивлений – электромография, приведен обзор и оценка современного уровня развития аппаратного и методического обеспечения метода. Описана разработка моноблочной конструкции новой аппаратуры Скала-48, в которой генераторный, измерительный и коммутационный модули объединены в одном корпусе (в России на момент данного исследования подобная аппаратура не производилась), а также соответствующего ПО SibER Tools для создания протоколов измерения и обработки данных. Рассмотрены примеры успешной апробации описанных аппаратурных и программных разработок при решении практических задач по поиску мест скопления микросфер на территории золоотвала Томь-Усинской ГРЭС (Кемеровская область), оценке объемов загрязнения промышленными захоронениями пестицидов территории вблизи с. Юргинское (Тюменская область).

В заключении приводится оценка преимуществ описанных программно-алгоритмических и аппаратурных разработок в сравнении с традиционными подходами, известным ПО и аппаратурой. Содержание этого раздела свидетельствует о том, что поставленные научные задачи успешно решены, заявленная цель исследования достигнута. Вместе с тем, указаны ограничения разработок и намечены перспективные направления исследований.

Диссертационная работа и автореферат характеризуются четкой структурой, логической последовательностью и связностью, выдержаны в научном стиле и в полной мере отвечают цели и задачам исследования. Содержание автореферата соответствует содержанию текста диссертации. Диссертация и автореферат написаны лично автором, ссылки на работы других авторов оформлены корректно.

Защищаемые научные результаты в полной мере изложены в 13 публикациях в ведущих рецензируемых отечественных журналах из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы результаты диссертаций, двух патентах на изобретение, четырех свидетельствах на программу для ЭВМ и одной монографии (в соавторстве), а также широко представлены в других научных изданиях, на международных и российских научно-практических конференциях (более 40 докладов).

Замечания.

1. Автором проведен обзор аппаратурного и программно-аналитического обеспечения для малоглубинных исследований. Характеристики аппаратуры приведены в Таблице 2, однако отсутствуют некоторые важные для сравнения аппаратур характеристики – диапазон регистрируемых сигналов, степень компенсации первичного поля от генератора. Далее для ЭМС эти характеристики приведены, а какие они для зарубежных устройств?

2. Стр. 116. «Обработка результатов измерения разработанного макета аппаратуры РЧЗ велась в единицах АЦП контрольно-измерительного модуля». Почему не использовался общепринятый стандарт измерения в Вольтах?
3. Возможен ли перенос разработанных программ на КПК с другими операционными системами, например, Palm OS или Linux?

Указанные замечания не снижают ценности полученных автором результатов. Диссертация Е.В. Балкова является научно-исследовательской работой, вносящей новый существенный вклад в проблему изучения геоэлектрических свойств среды на малых глубинах. Автореферат соответствует диссертации.

Диссертация соответствует критериям, установленным п. 9 "Положения о присуждении ученых степеней" (утвержденного постановлением № 842 Правительства РФ от 24 сентября 2013 г., с изменениями от 21 апреля 2016 г. "О внесении изменений в Положение о присуждении ученых степеней") для ученой степени доктора наук, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук.

Диссертация, автореферат и отзыв рассмотрены и обсуждены на совместном заседании лабораторий («Суперкомпьютерного моделирования», «Вычислительных задач геофизики», «Геофизической информатики», «Обратных задач естествознания»), направление научных исследований которых соответствует тематике диссертации. Отзыв утвержден в качестве официального отзыва ведущей организации на заседании Ученого совета ИВМиМГ СО РАН ~~от 10.10.2021 г.~~, протокол № ~~13~~ *13*

Главный научный сотрудник лаборатории
суперкомпьютерного моделирования ИВМиМГ СО РАН,
доктор технических наук _____ Глинский Борис Михайлович
(тел.: 8 (383) 330-62-79; адрес: пр. Академика Лаврентьева, 6, Новосибирск,
630090; e-mail: gbm@org.ssc.ru)

Согласен на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, их дальнейшую обработку и передачу в соответствии с требованиями Минобрнауки России.»

Ученый секретарь ИВМиМГ СО РАН,
кандидат физико-математических наук _____ Л.В. Вшивкова