



ООО «НПО РАДИОЛОКАЦИЯ В ГЕОФИЗИКЕ И РАДИОФИЗИКЕ»

**РАДИОЛОКАЦИЯ В ГЕОФИЗИКЕ
И РАДИОФИЗИКЕ
«РГР-2025»**

Тезисы научно-технической конференции

**4 апреля 2025 года
Троицкий Дом ученых**

Научное электронное издание

**Москва
2025**

УДК 621.37
ББК 32.840
Р 24

**Организатор конференции
ООО «НПО РАДИОЛОКАЦИЯ В ГЕОФИЗИКЕ И РАДИОФИЗИКЕ»**

P24 Радиолокация в геофизике и радиофизике «РГР-2025»: сборник тезисов научно-технической конференции (Москва, Троицк 4 апреля 2025 г.). Научное издание. Под ред. В.И. Сахтерова. М.: ООО «НПО РГР», Издательство «Перо», 2025. – 50 с.
URL: <https://www.nporgr/library>
ISBN 978-5-00270-540-5

Представлены результаты исследований актуальных проблем, связанных с радиолокацией малой и сверхмалой дальности, подповерхностной георадиолокации, неразрушающего контроля в СВЧ диапазоне, радиолокационных систем безопасности, подповерхностной радиолокации и распространением радиоволн разных диапазонов в различных сферах; Предназначен для специалистов в области радиолокации, радиофизики, геофизики и радиосвязи, а также для студентов, аспирантов и докторантов соответствующих специальностей.
Тезисы, рисунки и формулы представлены в авторской правке.

**УДК 621.37
ББК 32.840**

ISBN 978-5-00270-540-5

© ООО «НПО РГР», 2025

РАДИОЛОКАЦИЯ В ГЕОФИЗИКЕ И РАДИОФИЗИКЕ

Сборник тезисов научно-технической конференции
Москва, Троицкий Дом ученых 4 апреля 2025 г.

Под редакцией В.И. Сахтерова

Издательство «Перо»
109052, Москва, Нижегородская ул., д. 29–33, стр. 27, ком. 105
Тел.: (495) 973–72–28, 665–34–36
www.pero-print.ru e-mail: info@pero-print.ru
Подписано в печать 29.12.2025. Формат 60х90/16.
Бумага офсетная. Усл. печ. л. 3,125. Тираж 50 экз. Заказ 1427.
Отпечатано в ООО «Издательство «Перо»

СОДЕРЖАНИЕ

Аверин А.А., Сахтерова Т.В. Научно-техническая конференция «радиолокация в геофизике и радиофизике» РГР-2025: краткий обзор5

Секция Ионосфера:**Приглашенный доклад:**

Котонаева Н.Г., Цибуля К.Г. Современное состояние мониторинга ионосферы в Росгидромете.....20

Пленарные доклады:

Шубин В.Н. Глобальная медианная модель Е-слоя ионосферы.....22

Щирый А.О. Алгоритм автоматического вычисления МНЧ отдельных мод КВ радиосигнала по ионограмме наклонного зондирования ионосферы..... 23

Сахтеров В.И., Аверин А.А., Ким В.Ю., Полиматиди В.П. Использование антенн зенитного излучения для наклонного зондирования ионосферы.....24

Секция Радиотехнические системы:**Пленарные доклады:**

Богати С.Р., Щербаков Г.Н., Рычков А.В. Используемые методы обнаружения микро-БПЛА.....25

Нгуен Ван Кыонг, Николаев А.В. Обзор подходов к расчёту дальности действия нелинейного радиообнаружителя.....26

Фам Дык Хи. Экспериментальное исследование нелинейного рассеяния электромагнитных волн с использованием спиральных антенн.....27

Николаев А.В. Электромагнитные методы навигации и ориентирования в лавовых трубках луны.....28

Секция Георадиолокация:**Приглашенный доклад:**

Ивашов С.И. Потенциал использования СВЧ в медицинской диагностике.....29

Пленарные доклады:

Горкин Д.С., Пивторак А.А., Егоров А.П. Развитие глубинной георадиолокации.....36

Смирнов Д.А., Аверин А.А., Варенков В.В., Сахтерова Т.В., Сахтеров В.И. Обнаружение слабоконтрастных объектов с помощью управления диаграммы направленности излучающей антенны.....37

Варенков В.В., Горкин Д.С. Восстановление сигналов георадара ограниченных по амплитуде.....38

Сахтеров В.И., Горкин Д.С. Способ и результаты повышения выходной мощности передатчика георадара.....39

Савватеев Я.В., Иляхин С.В., Корнилов Б. А. Применение математических методов для определения вступления сигнала под действием фонового поля (поля подсветки) при георадиолокационном зондировании.....40

Романов В. В., Иванов А. А. Алгоритм подавления регулярных помех в георадиолокации.....41

<u>Антипов В.В., Горкин Д.С.</u> Расчет коэффициентов отражения и прохождения сигнала георадара в программе MATRIX PRO.....	42
<u>Пивторак А.А., Горкин Д.С., Игова Ногейра Жуниор, Фернандо Аугусто Сарайва</u> Надежность геофизических исследований с использованием глубокого проникающего радара (ГПР) по сравнению с механическим зондированием в карстовой области в Кахамаре, Сан-паулу, Бразилия.....	43
<u>Едемский Д.Е., Прокопович И.В.</u> Георадарное обследование термоцирка на морене в долине р. Сунтар.....	43
<u>Морозов П.А.</u> (ИЗМИРАН), Морозов Ф.П., (ВНИИСМИ), Попов А.В. (ИЗМИРАН), Прокопович И.В. (МИРЭА). Диаграмма направленности антенн георадара и радиообразы подземных объектов.....	46
<u>Егоров А.П., Горкин Д.С. Аверин А.А.</u> Сравнительные испытания георадарных глубинных резистивных и жидкостных дипольных антенн с передатчиком повышенной мощности.....	47
<u>Горкин Д.С.</u> Оценка методов расчета глубинности георадиолокационных (георадарных) измерений.....	48
<u>Аверин А.А.</u> Экспедиция на остров Матуа (стендовый).....	49
Список участников и организаций участвовавших в конференции РГР-2025.....	50

УДК 621.3.091.22

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«РАДИОЛОКАЦИЯ В ГЕОФИЗИКЕ И РАДИОФИЗИКЕ»
РГР-2025: КРАТКИЙ ОБЗОР**

Аверин А.А., Сахтерова Т.В.

Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН

В 2004 г. по инициативе Лаборатории дистанционного зондирования МГТУ им Н.Э. Баумана и кафедры Аналоговые и цифровые радиосистемы МАИ был учреждён семинар, первое заседание которого состоялось 24 декабря 2004 г. Уже первые заседания 2004-2007 гг. показали, что рамки семинара являются тесными, учитывая количество и географию участников. На его базе была учреждена научно-техническая конференция «Радиолокационные системы малой и сверхмалой дальности» (РМД), которая до 2023 проводилась МГТУ им Н.Э. Баумана под постоянным руководством Сергея Ивановича Ивашова. В 2024 году очередная XV конференция «РМД-2024» была проведена в Институте земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова под руководством В.И. Сахтерова. Участвовало 50 авторов из 17 организаций, из 30 зарегистрированных докладов были заслушаны 28. По результатам конференции был издан сборник тезисов [1]. 13 докладов были доработаны до уровня и объема статей, после рецензирования и редактирования опубликованы в издательстве «Радиотехника» в пятом номере журнала «Электромагнитные волны и электронные системы» [2].

В феврале 2025 года администрация института решила реформировать очередную конференцию «РМД-2025» в более расширенный формат и провести конференцию «Радиозондирование на Земле и в космосе» осенью 2025 года, в которой для сохранения в истории заслуг С.И. Ивашова создали секцию «Радиолокация малой дальности». Научное сообщество, готовившее доклады к весне, не стало отменять намеченные встречи и выступления и согласовало проведение запланированного ранее мероприятия. 4 апреля 2025 года в Троицком Доме ученых была проведена научно-техническая конференция «Радиолокация в геофизике и радиофизике» РГР-2025 под руководством В.И. Сахтерова. В связи с малым временем организации было принято решение вместо Программного и Организационного комитетов организовать Редакционную коллегию с правом отбора докладов на конференцию и возможностью рецензирования по своим научным направлениям. Состав редколлегии:

Председатель — к.ф.-м.н. В.И. Сахтеров, ИПГ.

Члены редколлегии:

Направление — Ионосфера и распространение радиоволн:

д.ф.-м.н., доцент Н.Г. Котонаева, ИПГ,

д.ф.-м.н. И.В. Крашенинников, ИЗМИРАН,

к.ф.-м.н., доцент С.А. Колесник, ТГУ.

Направление — Радиотехнические системы:

д.ф.-м.н. С.Н. Андреев, МФТИ,

д.т.н., профессор А.А. Николаев, МТУСИ,

Направление — Георадиолокация:

к.г.-м.н. А.А. Иванов, МГРИ,

к.т.н. Д.Е. Едемский, ИЗМИРАН,

На конференции было организовано 3 секции:

«Ионосфера и распространение радиоволн», заслушано 4 доклада,

«Радиотехнические системы» — заслушано также 4 доклада

«Георадиолокация» — заслушано 11 докладов и рассмотрен один стендовый доклад.

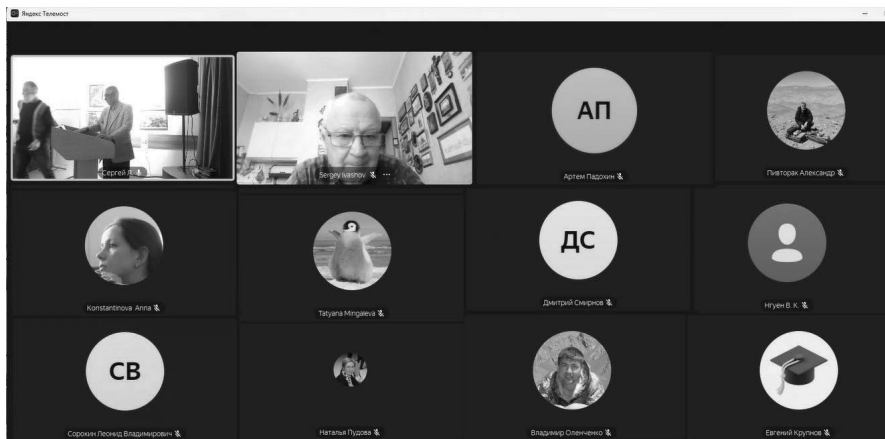


Рис. 1. Кадр с экрана с участниками конференции

Кратким вступительным словом открыл конференцию организатор мероприятия Владимир Иванович Сахтеров. Объяснив современное состояние организационных дел и прошедших за последнее время событий, он объявил конференцию открытой и предоставил слово приглашенному докладчику Константину Григорьевичу Цибуле в секции «Ионосфера и распространение радиоволн», представителю Института прикладной геофизики им. академика Е.К. Федорова. Константин Григорьевич в соавторстве с Надеждой Геннадьевной Котонаевой выступил с докладом «Современное состояние мониторинга ионосферы в Росгидромете». Докладчик достаточно подробно рассказал о состоянии сети ионосферных станций Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет), включающей в себя станции ИПГ, сети Арктического и антарктического научно-исследовательского института (АНИИ) и станции других институтов, в т.ч. станции Российской Академии Наук. За счет обширной сети ионосферных станций и научных приборов, расположенных на метеорологических станциях Росгидромета, ИПГ наиболее полно в Российской Федерации владеет информацией о состоянии ионосферы и ближнего космоса, что позволяет оказывать услуги по предоставлению информации соответствующим заинтересованным службам. Одним из направлений является прогноз радиосвязи в декаметровом диапазоне радиоволн в арктической зоне, разделенной на соответствующие сгруппированные территории. Также в автоматическом режиме происходит рассылка о солнечных возмущениях в различных диапазонах. Росгидромет для прогноза связи и космической погоды использует данные, полученные с космических спутников и обработанные коллективом ИПГ.

В 2024 году Роскосмосом были запущены два исследовательских спутника «Ионосфера-М», предназначенных для мониторинга магнитосферы и ионосферы. Спутники оснащены рядом научных приборов, основным среди которых является ионозонд «ЛАЭРТ», введенный на необходимую орбиту и проходящий режимы отладки. Для зондирования ионосферы используются три основных инструмента. Прибор ПЭС (приемник сигнала ГЛОНАСС/GPS) радиозатменным методом определяет характеристики верхней части ионосферы. Ионозонд ЛАЭРТ

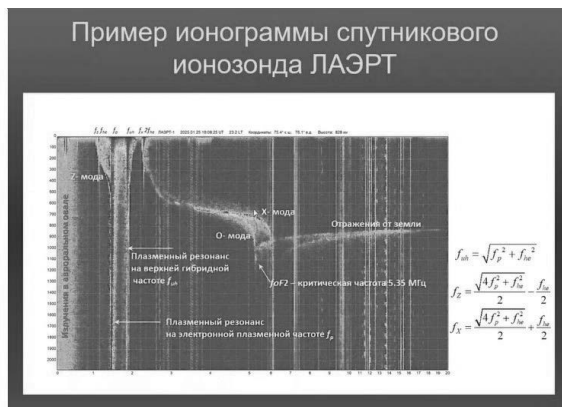


Рис.2 Ионограмма ионозонда Лазэрт

серверах ИПГ [3]. Его поблагодарили за доклад. Запись доклада можно просмотреть на Рутубе по ссылке:

<https://rutube.ru/video/727ba2d678d67737a0464fe119e84ce3/>.

Далее произошло изменение регламента. По просьбе Сергей Иванович Ивашова его приглашенный доклад «Потенциал использования СВЧ в медицинской диагностике» перенесли из секции «Георадиолокация», и он выступил следующим. Сергей Иванович рассказал об интересе к дистанционной диагностике людей радиолокационным методом в СВЧ-диапазоне, возникшим в конце 90-х годов XX столетия и в начале XXI.

Особое место в подобных исследованиях занимает диагностика типа инсульта головного мозга. Проблема связана с противоречивыми требованиями по разрешению (несколько миллиметров) и высоким затуханием электромагнитных волн в кровенасыщенных тканях, которое растёт с увеличением частоты. Кровь является хорошим электролитом, что препятствует распространению электромагнитных волн. Общим для всех упомянутых публикаций является частотный диапазон – около 1 ГГц. Докладчик довольно подробно рассказал об основных тенденция в этой области, о разработанной научной аппаратуре, в том числе только лабора-

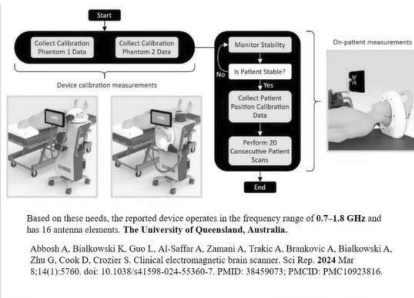


Рис.3. Рисунок из презентации С.И. Ивашова

торного применения, упомянул об автономных образцах аппаратуры. Привел результаты лабораторных клинических исследований. Ещё одной областью применения радиолокационного метода является маммография. Маммография — это исследование тканей молочных желёз с целью выявления новообразований (доброкачественных и злокачественных) и других патологических изменений — кальцинатов и кист. Но пока кроме декларации и научных публикаций не приводится результатов клинических испытаний, что говорит о застое в данном направлении. Нужно дождаться результатов масштабных клинических испытаний уже разработанных передвижных устройств, прежде чем делать какие-то выводы относительно возможности достижения этой цели. На этом Сергей Иванович закончил доклад, ответил на вопросы [4]; запись доклада можно просмотреть по ссылке:

<https://rutube.ru/video/741dbadbc14b080aa5e4eda25adb3cfd/>

Следующий участник Валентин Николаевич Шубин выступил с докладом «Глобальная медианная модель Е-слоя ионосферы» [5]. Он сообщил о разработке первой глобальной медианной модели критической частоты (f_oE) и высоты (h_mE) слоя Е ионосферы,

Глобальное распределение критических частот Е-слоя ионосферы

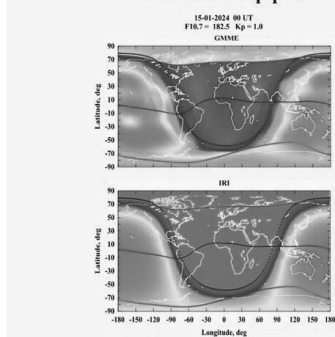


рис. 4 Презентация из доклада В.Н. Шубина

получения данных в режиме реального времени. Валентин Николаевич ответил на вопросы, запись доклада можно просмотреть по ссылке:

<https://rutube.ru/video/89939c375bc9253a4b785c09fb71a642/>

Далее с докладом «Алгоритм автоматического вычисления МНЧ отдельных мод КВ радиосигнала по ионограмме наклонного зондирования ионосферы» выступил Андрей Олегович Щирий. Условия ионосферного распространения коротких волн (КВ) зависят от множества суточных, сезонных, геотеллофизических факторов, протяженности и географического положения радиолинии и др. Оперативное автоматическое определение диапазона прохождения КВ радиосигнала в ионосфере крайне важно для радиотехнических систем КВ диапазона. Также актуально автоматическое определение одной только максимальной наблюдаемой частоты (МНЧ). И если для станций вертикального зондирования ионосферы программа автоматической обработки ионограмм, разработанная в ИПГ, используется для обработки данных ионосферной сети Росгидромет, то для ионограмм наклонного зондирования с использование ЛЧМ ионозондов обработка ионограмм имеет некоторые недостатки. Андрей Олегович подробно объяснил предложенную модификацию алгоритма автоматического вычисления МНЧ по ионограмме наклонного зондирования ионосферы. Привел оценки качества работы базового алгоритма, полученные пу-

построенной на данных из радиозатменных измерений, получаемых на основе анализа прохождения сигналов со спутников GPS и других научных спутников, включая китайские спутники. Привел типичные радиозатменные профили электронной плотности. Данные приведены для высокой и низкой солнечной активности. Разработанная модель сравнивается с Международной моделью ионосферы IRI (f_oE), со справочной моделью ионосферы СМИ- 88. Для построения модели использовались ионосферные данные с наземных ионосферных станций Подкаменная Тунгуска и Магадан, входящих в сеть ИПГ. Докладчик подробно рассказал о возможностях модели применительно к программам прогноза радиосвязи в приполярных районах России и сообщил о некоторых сложностях

тем сравнения с «ручной» обработкой ионограмм человеком (экспертом), и показал, как решаются проблемы по обработке хвостов наклонных ионограмм, проблемы по обработке слоя E и другие вопросы, касающиеся обнаружения слоя E.

Модифицированный алгоритм предполагается использовать для нахождения МНЧ конкретной моды [6]. Доклад был рекомендован для публикации в журнале «Гелиогеофизические исследования».

С докладом «Использование антенны зенитного излучения для наклонного зондирования ионосферы» выступил Владимир Иванович Сахтеров в соавторстве с Авериным А.А., Кимом В.Ю. и Полиматиди В.П. Данная работа посвящена модернизации антенны

типа «Дельта», используемой для вертикального зондирования. Ранее лабораторией диагностики ионосферных процессов под руководством Валерия Юрьевича Кима была проведена модернизация антенны типа «Ромб», было произведено удвоение полотен вибраторов, что позволило снизить минимальную рабочую частоту. При этом при использовании

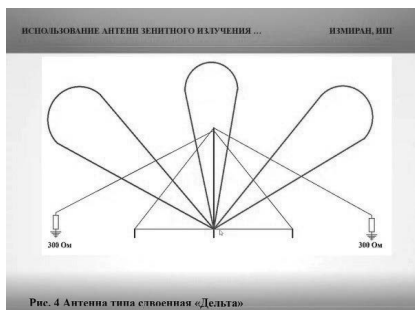


Рис. 6 Модернизированная антенна

использовать их для наклонного и наклонно-возвратного зондирования на запад в сторону Калининграда или на восток в сторону Казани. Сравнительные исследования показали, что при вертикальном зондировании с использованием экспериментальной сдвоенной «Дельты» минимальная принимаемая частота ниже по сравнению с частотой штатной антенны испытательного стенда ИЗМИРАН на 2 МГц. Для приема использовалась скрещенная укороченная «Дельта», для излучения антенна «Дельта» высотой 18 метров и длиной полотна 56 метров. Учитывая, что ранее сдвоенный «Ромб» показал хорошие результаты при наклоне зондирования с Ростовом-на-Дону и со стендом «Сура», необходимо продолжение работ со сдвоенной «Дельтой» для использования на ионосферных станциях, имеющих территориальные ограничения. Доклад был рекомендован для публикации в журнале «Гелиогеофизические исследования», запись доклада можно просмотреть по ссылке:

Алгоритм автоматического вычисления МНЧ (до модификации)

Выделение на ионограмме компонентов полезного сигнала

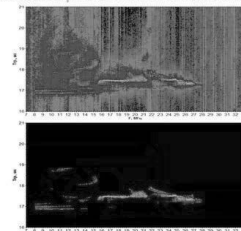


Рис.5 Алгоритм автоматического вычисления (А.О. Щирый)

зондирования получено боковое ракурсное рассеяние сигналов над полигоном «Сура» [7]. Для упрощения и удешевления антенны коллективом содокладчиков был проведен эксперимент с антенной типа «Дельта» с удвоением полотен вибраторов. На территории ИЗМИРАН была реализована такая экспериментальная антенна с использованием центральной мачты высотой 12 метров и 4 боковых стоек высотой 2 метра, при этом между внешними боковыми стойками - 60 метров. Данная антенна может применяться при использовании обоих вибраторов для вертикального ионосферного зондирования. При соответствующей коммутации вибраторов можно

<https://rutube.ru/video/d98a001242c5b2cec78256e29f3c2588/>

После небольшого перерыва заседание продолжилось докладами секции «Радиотехнические системы». Открыл секцию научный сотрудник Сергей Роландович Богати, который совместно с коллегами Г.Н. Щербаковым и А.В. Рычковым представил доклад на тему «Используемые методы обнаружения микро-БПЛА». Докладчики обратили внимание аудитории на тот факт, что современная авиация стремительно развивается, и одним из ключевых направлений является создание беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Особенный интерес вызывает класс миниатюрных БПЛА, поскольку именно этот сегмент демонстрирует значительное численное преобладание среди всех типов БПЛА и создает особые трудности их поиска существующими методами и средствами обнаружения. Авторы представили подробную классификацию пяти наиболее распространенных методов обнаружения БПЛА, выделяя преимущества и недостатки каждого метода. Они также продемонстрировали экспериментальные исследования по формированию радиообразов миниатюрных БПЛА, позво-



Рис.7 Кадр из презентации С.Р. Богати

ляющих эффективно осуществлять их поиск в пространстве с помощью искусственных нейронных сетей. По решению редколлегии доклад был рекомендован к публикации в журнале «Электromагнитные волны и электронные системы» [8].

Следующим выступил Нгуен Ван Кыонг (гражданин Вьетнама), аспирант Московского технического университета связи и информатики (МТУСИ), научный руководитель Алексей Владимирович Николаев. Тема доклада «Обзор подходов к расчёту дальности действия нелинейного радиообнаружения», задачей является обнаружение малоконтрастных объектов с помощью метода нелинейной радиолокации.

Были доложены выводы уравнения нелинейной радиолокации с учетом опыта Щербакова и Галлахера, а также сравнены известные и новые модели распространения радиоволн применительно к методу нелинейной радиолокации. Использовался анализ влияния нелинейной вольтамперной характеристики контакта металл-окисел-металл на структуру отраженного объектом сигнала, приведены обоснованные выводы обобщенного уравнения дальности обнаружения объекта с учетом геометрии корпуса и внешних факторов. Проведен анализ влияния мощности и длины волны на обнаружение объектов с учётом геометрической формы объекта и факторов окружающей среды. Дополнительно рассмотрено влияние электродинамических параметров укрывающей среды и угла наклона поляризации зондирующего сигнала, позволяющих увеличить дальность обнаружения мало-контрастного объекта [9]. На некоторые вопросы ответил научный руководитель вьетнамско-

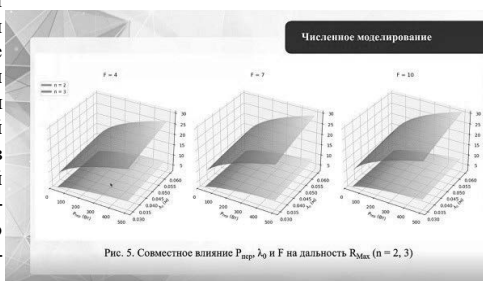


Рис. 5. Совместное влияние F , λ_0 и F на дальность $R_{\max}$ ($n = 2, 3$)

Рис.8. Диаграммы из доклада Нгуен Ван Кыонг

го аспиранта. По решению редколлегии доклад был рекомендован к публикации в журнале «Электромагнитные волны и электронные системы».

Следующий докладчик Фам Дык Хи (гражданин Вьетнама) также являлся аспирантом МТУСИ, научный руководитель Алексей Владимирович Николаев, доклад «Экспериментальное исследование нелинейного рассеяния электромагнитных волн с использованием спиральных антенн» является его самостоятельной работой. Основной целью исследования было изучение особенностей нелинейного рассеяния сигнала, возникающего при облучении исследуемых объектов полем источника на основной частоте зондирования и регистрации наведенного электрического сигнала на удвоенной частоте. Представлены результаты экспериментального исследования повышения эффективности локализации нелинейных объектов с использованием методов фазовой и амплитудной радиопеленгации сигнала. Исследования проводились с применением широкополосных



Рис.9. Диаграмма направленности антенн из доклада Фан Дык Хи

спиральных антенн с круговой поляризацией, обладающих частотно-независимыми характеристиками и обеспечивающих стабильную радиопеленгацию в широком диапазоне частот [10]. Для исследований применялась лабораторная установка кафедры «Техническая электродинамика» МТУСИ, в которой использовался векторный анализатор цепей. Эксперименты показали более узкую диаграмму направленности цилиндрической по сравнению с диаграммой направленности конической антенны при анализе наведенного электрического сигнала на удвоенной частоте. После ответа докладчика на дополнительные вопросы научный руководитель аспиранта дополнил и прокомментировал некоторые аспекты доклада.

Следующим выступающим стал Алексей Владимирович Николаев с докладом «Электромагнитные методы навигации и ориентирования в лавовых трубках Луны». Доклад был подготовлен совместно с коллегами Е.И. Старовойтовым и А.В. Колесниковым. В его докладе рассмотрены проблемы скорого будущего – электромагнитные технологии навигации и ориентирования для космонавтов и роботов в лавовых трубках Луны. Разработанный подход включает предварительное картирование маршрута с помощью машины-укладчика навигационных трасс, создающей "облако" точек и прокладывающей индукционные линии связи. Это позволяет рассчитывать положение космонавта и параметры отклонения робота при изменении маршрута в лавовой трубке. Использование интеграции данных лазерных локационных систем с инерциальной навигацией и одометрией обеспечивает

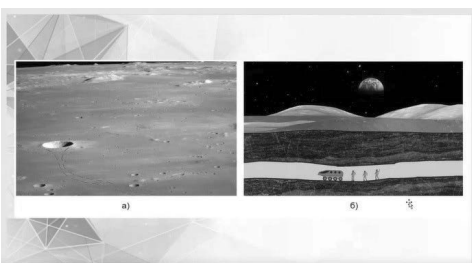


Рис.10. Кадр из доклада А.В. Николаева

высокую точность ориентации в сложных условиях лунной среды. Приведены результаты численного моделирования по S-параметрам и фазам сигнала, показывающие изменение сигналов с приемных вибраторов. По положению фазы можно получить данные о направлении отклонения подвижного объекта от линии связи, а по амплитуде сигнала – величину отклонения от линии, т.е. расстояние. Особое внимание уделено адаптации наземных решений для надежной работы навигационных систем на Луне [11]. Доклад вызвал интерес, докладчик ответил на вопросы. По решению редколлегии доклад был рекомендован к публикации в журнале «Электромагнитные волны и электронные системы». Записи докладов данной секции в свободный доступ по просьбе докладчиков не размещались.

После перерыва первым в секции «Георадиолокация» Дмитрий Сергеевич Горкин в соавторстве с Пивтораком А.А. и Егоровым А.П. выступил с докладом «Развитие глубинной георадиолокации». Георадиолокация или георадарный метод геофизических исследований широко представлен как в инженерных, так и в научных направлениях исследований. Это связано с тем, что применение георадарного метода значительно повышает информативность и детальность получаемых данных. Докладчик представил известных производителей аппаратуры подповерхностного радиозондирования, разделив их на малоглубинные и глубинные георадары. Глубинные георадары работают в диапазоне частот от 1 до 50 МГц, малоглубинные в диапазоне выше 75 МГц. Далее докладчик привел модели, характеризующие исследуемые среды, известные на данный момент. До 90 % современных георадаров являются малоглубинными и используются для исследования от первых метров до 30 метров.

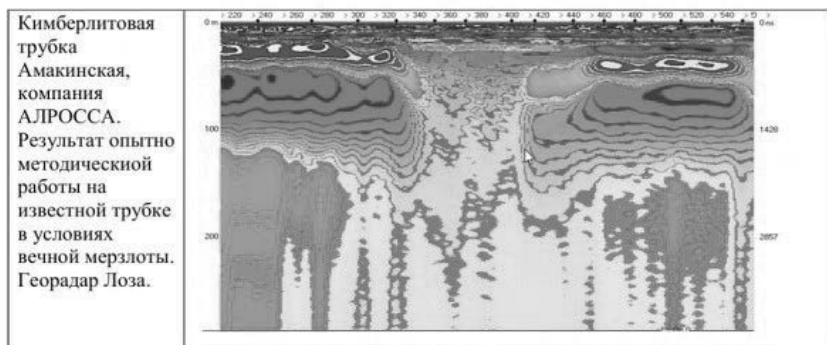


Рис.11. Радарограмма из презентации Д.С.Горкина

Были приведены примеры использования глубинных георадаров в разных странах и континентах с объяснением полученных результатов исследований. При обсуждении выступления были заданы вопросы как теоретического направления, так по результатам практической работы. Редколлегия рекомендовала доклад к публикации в журнале «Электромагнитные волны и электронные системы», обзав добавив его теоретическими выкладками и дополнительными математическими расчетами и численными значениями. Запись доклада можно просмотреть по ссылке:

<https://rutube.ru/video/20ac2f3210a5d740e2a05e9c4be099c5/>

Следующий докладчик младший научный сотрудник ИЗМИРАН Дмитрий Андреевич Смирнов в соавторстве с Авериным А.А., Варенковым В.В., Сахтеровой Т.В. и Сахтеровым В.И. представил доклад «Обнаружение слабоконтрастных объектов с помощью управления

диаграммой направленности излучающей антенны». Выступающий в начале доклада подробно рассмотрел проблему обнаружения слабоконтрастных объектов и сред при подповерхностном зондировании, количественные и качественные оценки. Коснулся вопросов аппарат-

ной части для проведения таких исследований, в частности о трёхантенном георадаре. Упомянул о применении приемных антенн с управляемой диаграммой, привел осциллограммы принимаемых сигналов. Далее докладчик продемонстрировал результаты измерений при использовании передатчика с двумя положениями диаграммы направленности $+7$ и -7 градусов, по отдельности принятый сигнал в одной точке без механического переключения, две радарограммы одного профиля и суммарная радарограмма [12]. В конце доклада зачитал выводы о работе и список своих публи-

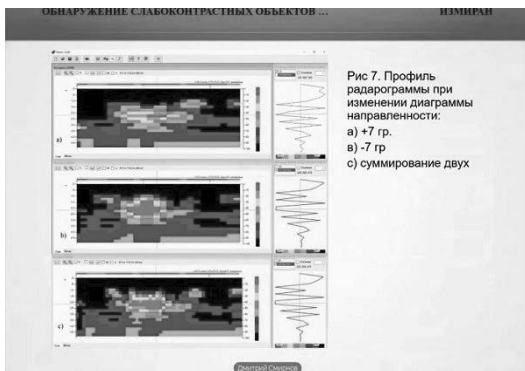


Рис 7. Профиль радарограммы при изменении диаграммы направленности:
а) $+7$ гр.
б) -7 гр.
с) суммирование двух

Рис.12 Рисунок из презентации Д.А. Смирнова

каций по данной тематике. Продолжительность вопросов и ответов оказалась длительней, чем сам доклад. Редколлегия рекомендовала доклад к публикации в журнале «Электromагнитные волны и электронные системы», обаяв более подробно остановиться на технической части. Запись доклада можно посмотреть по ссылке: <https://rutube.ru/video/98e4d0e2828b8792cb29dcdd740d692/>

Далее выступил Владимир Викторович Варенков в соавторстве с Горкиным Д.С. с докладом «Восстановление сигналов георадара ограниченных по амплитуде».

Доклад посвящен объединению нескольких радарограмм, принятых в одной точке при проведении профилирования (восстановлению полной волновой формы). Задача относится в обработке сигнала георадара «Грот12» в программе Grot, разработчиком которой является автор. Конечным результатом является увеличение динамического диапазона получаемой радарограммы, что было показано на примерах, с объяснением необходимых требований к обрабатываемым данным с георадаров [13]. Тема оказалась интересной, обсуждение доклада продолжалось больше запланированного времени. Редколлегия рекомендовала доклад к публикации в журнале «Электromагнитные волны и электронные системы». Запись выступления можно посмотреть на Рутубе по ссылке: <https://rutube.ru/video/1d268ea10be1f6b582511a1850e6b327/>

С докладом «Способ и результаты повышения выходной мощности передатчика георадара» выступил Владимир Иванович Сахтеров в соавторстве с Горкиным Д.С. Особенностью

При сигнале большой амплитуды когда требуется достичь максимально большой глубины амплитуды верхней части выходят за пределы диапазона аналогового преобразователя (АЦП) и на данном обрезается сигнал и мы не видим пика отрицательной и положительной фазы синусоиды. В этих местах информация теряется, так как невозможно выявить особенности пришедшего сигнала.

Если сигнал слабый, то изменения сигнала становятся малозаметными. Если в процессе обработки данных усилить слабый сигнал, то будет снижаться точность оцифровки, зависящая от разрядности АЦП. Хотя усиление сигнала может лучше проявить изменения амплитуд, изначальная дискретность оцифровки будет давать огульную картину.

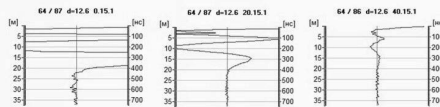


Рис 13 Радарограммы из доклада В.В. Варенкова

глубинной георадиолокации является повышенная амплитуда подводимого к антенне сверхширокополосного сигнала, стандартное значение которого - 5 кВ, в последнее время используется 16 кВ. Для дальнейшего повышения амплитуды сигнала нужны высоковольтные газонаполненные разрядники, которые имеют высокую стоимость. Для удешевления прибора было предложено последовательное включение газонаполненных разрядников на 16 кВ. При использова-

нии 4 последовательно включенных разрядников, позволивших достичь амплитуды импульса 64 кВ, были проведены экспериментальные работы с глубиной георадиолокации 700 метров, что подтверждено бурением скважины. Докладчик продемонстрировал схемы приборов, осциллограммы принимаемых сигналов и измеренные диаграммы направленности с изменением амплитуд для передатчиков разных мощностей [14]. Редколлегия рекомендовала доклад к публикации в журнале «Электромагнитные волны и электронные системы». Запись доклада можно просмотреть на Рутубе по ссылке:



Рис.14. Кадр из доклада В.И. Сахтерова

<https://rutube.ru/video/b3f4410598518749edc9e3a295a44774/>

Следующим выступил Вадим Валерьевич Антипов в соавторстве с Горкиным Д.С. с докладом «Расчет коэффициентов отражения и прохождения сигнала георадара в программе MATRIX PRO». Эта программа обработки георадарных данных совершенствуется продолжительное время Дмитрием Сергеевичем Горкиным. В зависимости от требуемых областей применения он привлекает для специализированных способов обработки получаемых данных специалистов соответствующей области и квалификации.

Модуль расчета коэффициентов отражения и прохождения сигнала разрабатывался с В.В. Антиповым, о достигнутых результатах модернизированной программы с демонстрацией разных моментов обработки и было доложено. Кроме

моделирования были произведены экспериментальные исследования на различных объектах, включая водоемы, продемонстрированы сравнительные результаты. Также показаны некоторые программные возможности программы MATRIX PRO. Представление одной и той же радарограммы в различных вариантах обработки позволяет рассмотреть некоторые фрагменты среды, выявив неоднородности. Хотя со стороны это выглядит как мультипликация, но пока на данном этапе развития программ обработки геофизических данных приходится применять различные фильтры и разные цветовые палитры [15]. После доклада было

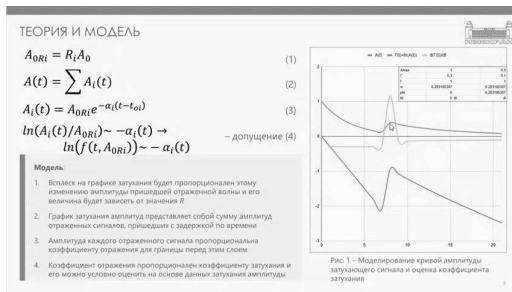


Рис.15. Рисунок презентации В.В. Антипова

его обсуждение, докладчику было указано на некоторые недостатки представления информации доклада. Редколлегия рекомендовала доклад к публикации в журнале «Электромагнитные волны и электронные системы». Запись доклада можно посмотреть на Рутубе по ссылке: <https://rutube.ru/video/a022f6cebeab1a6387ce414951a39a67/>

Александр Анатольевич Пивторак совместно с соавторами Горкиным Д.С., Иегова Ногейра Жуниор, Фернандо Аугусто Сарайва выступил с докладом «Надежность геофизических исследований глубинного георадара по сравнению с механическим зондированием в карстовой области в Камаре, Сан-паулу, Бразилия». Доклад посвящен обнаружению карстов на территориях, подверженных эрозии. В Бразилии проблема наличия карстов усугубляется их вертикальным ростом. В конечном результате такие карсты доходят до поверхности, вызывая провалы верхних слоев вместе с находящимися там строениями. Поэтому основной задачей для данной местности является обнаружение глубинных карстов на начальном этапе их роста. Для обнаружения использовали георадар «Лоза», исследовались глубины до ста метров, одновременно проводились сейсмоизмерения, данные проверялись результатами бурения. После доклада оратор ответил на заданные вопросы. На предложение редколлегии опубликовать статью по этой важнейшей теме было заявлено об уже готовящейся публикации бразильских ученых в специализированном журнале. Было обещано следующую работу опубликовать в России. Запись доклада можно посмотреть на Рутубе по ссылке: <https://rutube.ru/video/e57385a9f39fa1ebec072b85e09ccfc/>



нарушения использовали георадар «Лоза», исследовались глубины до ста метров, одновременно проводились сейсмоизмерения, данные проверялись результатами бурения. После доклада оратор ответил на заданные вопросы. На предложение редколлегии опубликовать статью по этой важнейшей теме было заявлено об уже готовящейся публикации бразильских ученых в специализированном журнале. Было обещано следующую работу опубликовать в России. Запись доклада можно посмотреть на Рутубе по ссылке: <https://rutube.ru/video/e57385a9f39fa1ebec072b85e09ccfc/>

Рис 16 Процесс образования карстов из доклада А.А. Пивторака

щейся публикации бразильских ученых в специализированном журнале. Было обещано следующую работу опубликовать в России. Запись доклада можно посмотреть на Рутубе по ссылке: <https://rutube.ru/video/e57385a9f39fa1ebec072b85e09ccfc/>

Докладчик Дмитрий Евгеньевич Едемский в соавторстве с Тумским В.Е., Прокоповичем И.В. представил доклад «Георадарное обследование термоцирка на морене в долине р. Сунтар» В



Рис.17 Кадры из презентации Д.Е.Едемского

нем представлены результаты исследований повторно-жильных льдов в долине реки Сунтар (Якутия) на примере изучения термоцирка. Термоцирком называют разрушения склона, проис-

ходящего за счет вытаивания мерзлого грунта и льда. Работы проводились с использованием георадара «Лоза», профили прокладывались как вдоль бровки термощирка так и поперек нее. На основе предложенных волновых признаков, сформулированных из анализа полученных полевых данных и оценок модельных задач, была построена пространственная карта расположения полигонально-жильные структур [16]. Редколлегия рекомендовала доклад к публикации в журнале «Электромагнитные волны и электронные системы». Запись доклада можно просмотреть на Рутубе по ссылке:

<https://rutube.ru/video/7a013c0a8ebc02c6bc6d81b6949de15f/>

Павел Анатольевич Морозов в соавторстве с Морозовым Ф.П., Поповым А.В., Прокоповичем И.В. представил доклад «Диаграмма направленности антенн георадара и радиообразы подземных объектов»

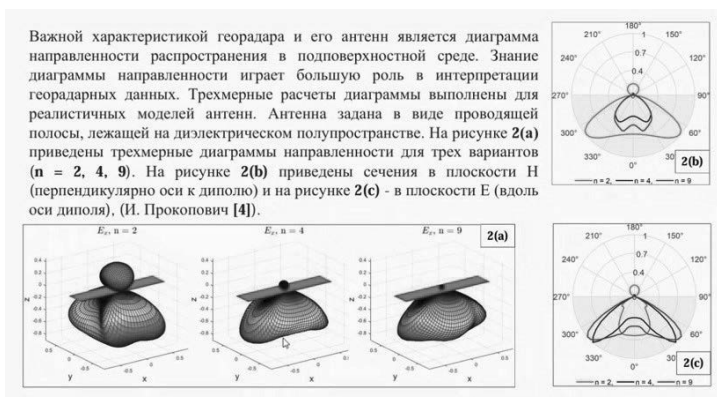


Рис.18. Диаграммы направленности антенн

Докладчик в своем рассказе сопоставил результаты экспериментов с георадаром в полевых условиях и модельных расчетов диаграмм направленности резистивно-нагруженных дипольных антенн. В работе диаграмма

направленности оценивалась по ослаблению отраженного сигнала от известных объектов, например, провода ЛЭП для воздушной полусферы или от закопанного локального объекта для нижней полусферы. Все экспериментальные результаты были накоплены в ходе многолетней плодотворной работы с археологами. Такое сотрудничество позволяет довольно оперативно производить сравнение



Рис.19 Радиообразы паспопок из локлала П.А.Морозова
ние результатов георадарной съемки и результатов раскопок. В последнее время научная группа проводила множество совместных работ с археологами в Крыму и Египте на объектах в

районе среднего Нила. В Египте были найдены разрушенные захоронения [17]. Докладчик на примере радарограмм объяснил радиообразы найденных объектов. Редколлегия рекомендовала доклад к публикации в журнале «Электромагнитные волны и электронные системы». Запись доклада можно посмотреть на Рутубе по ссылке: <https://rutube.ru/video/ebbe72881c8ef06ccea62f9420259c92/>

Следующий специалист выступал по видеосвязи из Казахстана. Антон Павлович Егоров с соавторами Горкиным Д.С. и Авериным А.А. представил доклад «Сравнительные испытания георадарных глубинных резистивных и жидкостных дипольных антенн с передатчиком повышенной мощности». Дмитрий Сергеевич Горкин в 2024 году получил патент «Жидкостная антенна георадара». В данном докладе приводятся результаты проведенных работ с такими антеннами, сравнение жидкостных антенн с резистивно-нагруженными антеннами. Основываясь на полученных результатах, докладчик сделал вывод о том, что жидкостные антенны имеют более четкое пространственное разрешение и большую глубину зондирования, были представлены результаты зондирования до 350 метров. Запись доклада можно посмотреть на Рутубе по ссылке: <https://rutube.ru/video/f125f78d969e0559f64849d729872f46/>

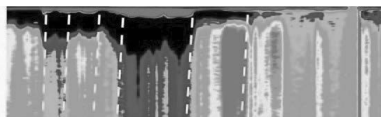


Рис. 3. Передатчик диполь резистивный. Приемный диполь жидкостной. Тектоника выделена белым пунктиром. Профиль максимально соответствует с геологической информацией и указывает на наличие тектонике и аномалии на месте выхода дикла. Самая максимальная глубинность по сравнению с другим профилем.

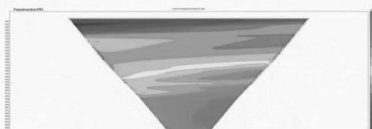


рис.20. Радарограммы и сравнение с результатами электрозондирования

С заключительным докладом «Оценка методов расчета глубинности георадиолокационных (георадарных) измерений» выступил Дмитрий Сергеевич Горкин. Это выступление было продолжением его доклада «Развитие глубинной георадиолокации». Акцент был сделан на сравнение характеристик разных георадаров и на несоответствие реальных результатов современных работ расчетным данным

из учебной литературы, ограничивающим георадиолокацию глубиной 30 метров. Приведенные данные основаны на сравнительных измерениях различными приборами на одних и тех же профилях. В 2024 году были проведены экспериментальные работы на озере Байкал и на карьере добычи доломита в Подмоскowie. Выступающий доложил о нескольких несоответствиях по глубинности в расчетах георадиолокации по сравнению с классической формулой радиолокации. Редколлегия рекомендовала доклад к публикации в журнале «Электромагнитные волны и электронные системы»

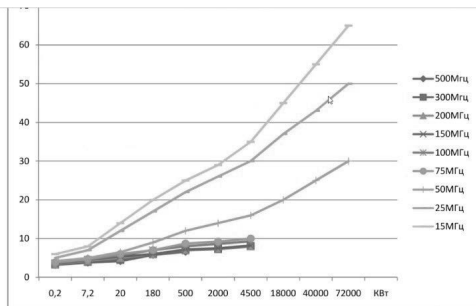


Рис. 1. График максимальной глубины для георадара при измерении удельного сопротивления 50 Ом/м. Частоты (пазых элн антенн) 500 МГц-15 МГц. Мощность 1500 Вт.

Рис.21. Кадр из презентации Д.С. Горкина

после глубокой переработки с более расширенным теоретическим обоснованием [18]. По окончании доклада было его обсуждение, а также краткое подведение итогов состоявшегося научного мероприятия. Руководитель конференции поблагодарил докладчиков, получил взаимные

благодарности. На этом научный диспут был завершён. А в гостеприимном Троицком Доме ученых по расписанию начинались следующие мероприятия.

Дополнительно представим некоторые кадры из стендового доклада Александра Анатольевича Аверина «Экспедиция на остров Матуа».



Рис.22 Георадиолокация на о. Матуа

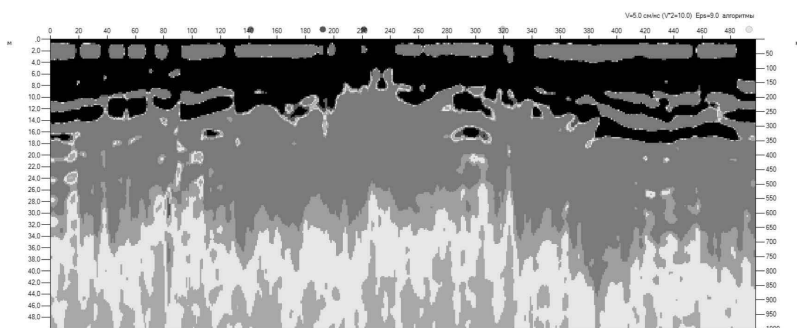


Рис.23 Один из профилей георадиолокации

Летом 2024 года Александр Анатольевич участвовал в экспедиции Русского географического общества на остров Матуа Курильской гряды. Он провел георадарные исследования подземных коммуникаций, сооруженных оккупационными войсками Японии во время второй мировой войны.

Литература:

1. Радиолокационные системы малой и сверхмалой дальности: сборник тезисов XV научно-технической конференции (Москва, Троицк 1 марта 2024 г.). Научное электронное издание. Под ред. В.И. Сахтерова, Москва: ИЗМИРАН, 2024. -148 с.
2. Кузнецов В.Д., Ивашов С.И., Сахтеров В.И. Вступительное слово // Электромагнитные волны и электронные системы. 2024 Т. 29. №3 С.5-6

3. Репин А.Ю., Котонаева Н.Г., Васильев А.Е., Журавлев С.В., Денисова В.И., Кулямин Д.В., Цыбуля К.Г. Перспективы развития системы ионосферного мониторинга Росгидромета: наблюдение, моделирование, прогнозы // Распространение радиоволн: сборник докладов XXVIII Всероссийской открытой научной конференции (Йошкар-Ола, 16–19 мая 2023 года) / редколлегия: Д. С. Лукин, Д. В. Иванов, Н. В. Рябова и др. – Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2023. С.67-74
4. S.I. Ivashov, V.V. Razevig, A.P. Sheyko, I.A. Vasilyev. Detection of Human Breathing and Heartbeat by Remote Radar. Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS 2004), March 28-31, 2004, Pisa, Italy, pp. 663-666.
5. Шубин В.Н., Деминов М.Г. Глобальная динамическая модель критической частоты f2-слоя ионосферы // Геомагнетизм и аэрономия. 2019. Т. 59. № 4. С. 461-473
6. Щирий А.О. Использование нейронных сетей для дальнейшего развития программной части аппаратно-программных комплексов радиозондирования ионосферы // Электромагнитные волны и электронные системы. 2024. Т. 29. № 5. С. 55–60. DOI: <https://doi.org/10.18127/j15604128-202405-08>
7. Урядов В.П., Вертоградов Г.Г., Понятов А.А., Вертоградов В.Г., Кубатко С.В., Черкашин Ю.Н., Крашенинников И.В., Комраков Г.П., Валов В.А. О структуре и динамике области ионосферы с искусственными мелкомасштабными неоднородностями по данным комплексных измерений характеристик рассеянных радиосигналов// Изв. вузов. Радиофизика. 51, 1011-1025, (2008).
8. Щербаков Г.Н., Рычков А.В., Богати С.Р., Ужицин М.В. Определение оптимальных параметров датчика цели устройства обнаружения низколетящих беспилотных летательных аппаратов малого размера // Электромагнитные волны и электронные системы. 2025. Т. 30. № 3. С. 41–47. DOI: <https://doi.org/10.18127/j15604128-202503-06>
9. Нгуен Ван Кыонг, Николаев А.В., Прошин А.Б. Сравнение методик расчета максимальной дальности обнаружения нелинейных радиолокационных станций // Электромагнитные волны и электронные системы. 2025. Т. 30. № 3. С. 85–93. DOI: <https://doi.org/10.18127/j15604128-202503-10>
10. Фам Дык Хи, Нгуен Ван Кыонг, Николаев А.В., Волошин А.Ю. Сравнение методов определения угловых координат объектов в грунте с помощью нелинейной радиолокационной станции // Электромагнитные волны и электронные системы. 2024. Т. 29. № 5. С. 47–54. DOI: <https://doi.org/10.18127/j15604128-202405-07>
11. Старовойтов Е.И., Логунов А.А., Николаев А.В., Колесников А.В., Федосов Д.В., Прошин А.Б. Лазерная локация и навигационные системы с индукционной связью для исследования лавовых труб на Луне // Электромагнитные волны и электронные системы. 2025. Т. 30. № 3. С. 48–61. DOI: <https://doi.org/10.18127/j15604128-202503-07>
12. Смирнов Д.А., Аверин А.А., Варенков В.В., Сахтерова Т.В., Сахтеров В.И. Обнаружение слабоконтрастных объектов георадаром с управляемой диаграммой направленности антенны // Электромагнитные волны и электронные системы. 2025. Т. 30. № 3. С. 105–113. DOI: <https://doi.org/10.18127/j15604128-202503-12>
13. Варенков В.В., Горкин Д.С. Восстановление сигналов георадара, ограниченных по амплитуде, в программе MATRIX // Электромагнитные волны и электронные системы. 2025. Т. 30. № 3 С. 6–11. DOI: <https://doi.org/10.18127/j15604128-202503-02>
14. Горкин Д.С., Сахтеров В.И. Результаты повышения выходной мощности передатчика георадара // Электромагнитные волны и электронные системы. 2025. Т. 30. № 3. С. 76–84. DOI: <https://doi.org/10.18127/j15604128-202503-09>
15. Антипов В.В., Горкин Д.С. Расчет коэффициентов отражения и прохождения сигнала георадара в программе MATRIX PRO // Электромагнитные волны и электронные системы. 2025. Т. 30. № 3. С. 22–31. DOI: <https://doi.org/10.18127/j15604128-202503-04>
16. Едемский Д.Е., Тумской В.Е., Прокопович И.В. Георадарное обследование термопирка на морене в долине р. Сунтар // Электромагнитные волны и электронные системы. 2025. Т. 30. № 3. С. 94–104. DOI: <https://doi.org/10.18127/j15604128-202503-11>
17. Морозов П.А., Морозов Ф.П., Попов А.В., Прокопович И.В. Диаграмма направленности антенн георадара и радиобразы подземных объектов // Электромагнитные волны и электронные системы. 2025. Т. 30. № 3. С. 114–120. DOI: <https://doi.org/10.18127/j15604128-202503-13>
18. Аверин А.А., Антипов В.В., Горкин Д.С., Копейкин В.В., Смирнов Д.А., Пивторак А.А., Сахтеров В.И. Развитие глубинной георадиолокации // Электромагнитные волны и электронные системы. 2025. Т. 30. № 3. С. 62–75. DOI: <https://doi.org/10.18127/j15604128-202503-08>

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ МОНИТОРИНГА ИОНОСФЕРЫ В РОСТИДРОМЕТЕ

Цибуля К.Г., Котонаева Н.Г. (приглашенный доклад)

Институт прикладной геофизики им. Академика Е.К.Федорова, г.Москва
kgc@ipg.geospace.ru

Основные данные, необходимые для мониторинга и прогноза состояния ионосферы, поступают с сети ионосферных станций. Десять из них входят в сеть Института прикладной геофизики им. Е. К. Федорова (ИПГ); это Калининград, Москва, Электроугли, Ростов, Салехард, Новосибирск, Подкамменная Тунгуска, Магадан, Хабаровск, Петропавловск. Эти станции оборудованы современным ионозондами вертикального зондирования «Парус». Дополнительными источниками являются сеть Арктического и антарктического научно-исследовательского института (Петербург, Мурманск, Амдерма, Диксон, Норильск, Тикси, Певек) и некоторые станции Российской академии наук (Екатеринбург, Иркутск). Вся информация поступает в центральную базу данных ИПГ. За время существования базы (2011–2025 г.) в ней накопилось около 34 000 000 ионограмм из разных источников, из них более 3 700 000 получено ионозондами «Парус». В Федеральном информационно-аналитическом центре ИПГ производится непрерывный контроль качества поступающих данных и отслеживание сильных возмущений ионосферы.

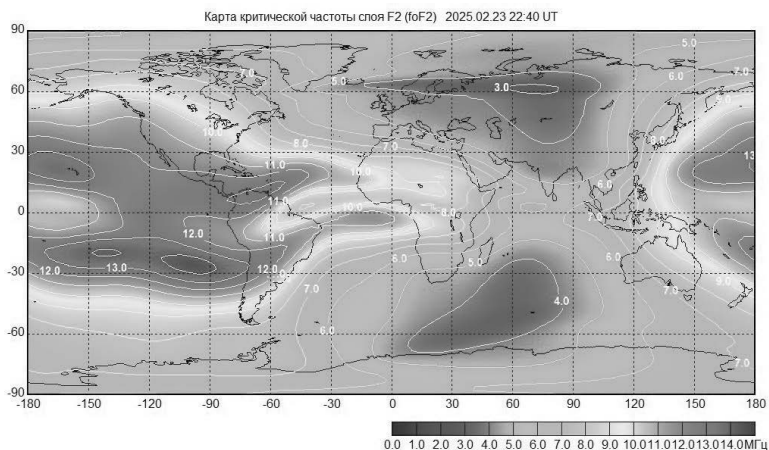


Рис. 1. Карта критической частоты слоя F2 без учета измеренных значений.

Недавно, 5 ноября 2024 г., был произведен успешный вывод первых двух спутников созвездия «Ионосфера-М» на солнечно-синхронную орбиту с местным временем 9 ч. Они стали важнейшим источником ионосферной информации, компенсируя недостаток данных, приходящих из-за рубежа. Эксплуатация спутниковых ионозондов «Лазэрт» началась в январе 2025 г. и успешно продолжается до сих пор. За три первых месяца, в течении которых проводились летные испытания, получено более 100 000 ионограмм верхнего зондирования. Запуск двух следующих спутников «Ионосфера-М» ожидается в июле 2025 г. на солнечно-

синхронную орбиту с местным временем 3 ч, что еще более расширит поток данных, необходимых для непрерывного мониторинга ионосферы. Поступающие ионограммы на много превосходят по качеству и количеству результаты всех экспериментов по спутниковому зондированию как в нашей стране, так и за рубежом.

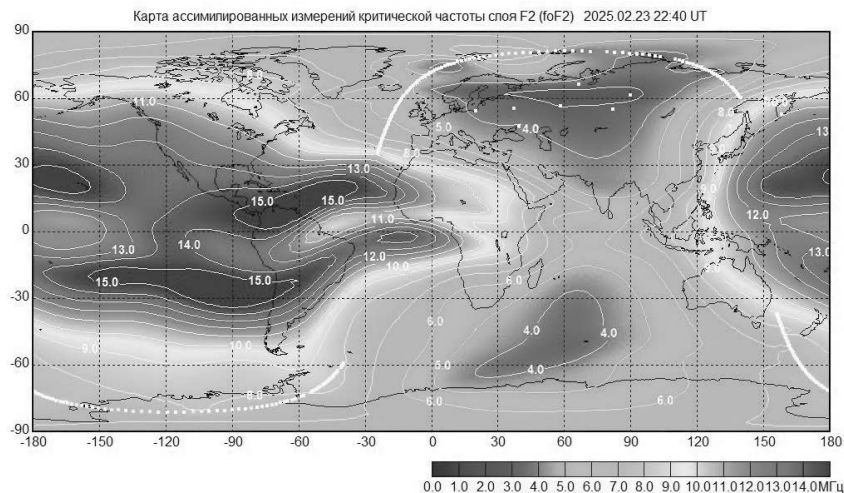


Рис. 2. Карта критической частоты слоя F2 с учетом измеренных значений.

Все ионосферные наблюдения, поступившие в центральную базу данных, используются для корректировки глобальной ионосферной модели SIMP, разработанной в ИПГ. Точечные измерения ионосферных параметров ассимилируются в модель с использованием метода кригинга, а также используются для краткосрочного прогноза ситуации в ионосфере. Результаты ассимиляции приведены на Рис. 1. Точками отмечены географические локации измерений – наземные ионозонды на территории Российской Федерации и дуги зондирования двух спутников «Ионосфера-М» над полярными шапками.

Литература:

1. Денисова В.И., Журавлев С.В., Котонаева Н.Г., Романов И.В., Цыбуля К.Г. Развитие государственной системы мониторинга ионосферы в интересах обеспечения вооруженных сил российской федерации геофизической информацией // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. 2022. № S685. С. 100-107.
2. Котонаева Н.Г., Данилкин Н.П., Журавлев С.В. Перспективная целевая работа по радиозондированию ионосферы на российской орбитальной станции// В книге: Материалы 22-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, 2024. С. 442.
3. Котонаева Н.Г., Данилкин Н.П., Журавлев С.В. 25 лет - эксперименту по внешнему зондированию ионосферы с пилотируемого космического комплекса "МИР" // Метеорология и гидрология. 2024. № 7. С. 135-136.

ГЛОБАЛЬНАЯ МЕДИАННАЯ МОДЕЛЬ Е-СЛОЯ ИОНОСФЕРЫ

В. Н. Шубин

ИЗМИРАН г. Троицк, shubin@mail.ru

В последние годы радиозатменные измерения атмосферы и ионосферы Земли на бортовых низкоорбитальных спутниках с использованием сигналов глобальной системы позиционирования превратились в один из основных источников ионосферных данных. В данном докладе сообщается о разработке глобальных медианных моделей критической частоты (f_oE) и высоты (h_mE) слоя Е ионосферы, построенных на данных, в основном полученных из радиозатменных измерений. Для построения модели были использованы радиозатменные профили электронной концентрации низкоорбитальных спутников CHAMP (2001–2008), COSMIC (2006–2020), COSMIC-2 (2019–2023), FY-3C (2014–2020), FY-3D (2019–2023), FY-3E (2022–2023). Из полученных радиозатменных профилей были выделены максимумы электронной концентрации в диапазоне высот 90–135 км. Максимумы электронной концентрации с большими высотными градиентами, которые связаны со спорадическим Е-слоем, при построении модели устранялись с помощью специальных фильтров. Построенные модели сравниваются с Международной моделью ионосферы IRI (f_oE), со справочной моделью ионосферы СМИ-88 (h_mE) и измерениями f_oE , h_mE на наземных ионосферных станциях Подкаменная Тунгуска (61.6°N, 90.0°E) и Магадан (60.1°N, 150.9°E).

1. Деминов М.Г., Шубин В.Н., Бадин В.И. Модель критической частоты Е-слоя для авроральной области // Геомагнетизм и аэронавигация. 2021. Т. 61. № 5. С. 610-617.
2. Bilitza D., Altadill D., Truhlik V., Shubin V.N., Galkin I., Reinisch B., Huang X. INTERNATIONAL REFERENCE IONOSPHERE 2016: FROM IONOSPHERIC CLIMATE TO REAL-TIME WEATHER PREDICTIONS // Space Weather. 2017. Т. 15. № 2. С. 418-429.

УДК: 621.3.09 + 519.246.8

АЛГОРИТМ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВЫЧИСЛЕНИЯ МНЧ ОТДЕЛЬНЫХ МОД КВ РАДИОСИГНАЛА ПО ИОНОГРАММЕ НАКЛОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ИОНОСФЕРЫ**А. О. Щирый¹*****¹ИЗМИРАН г. Троицк, andreyschiriy@gmail.com***

Условия ионосферного распространения коротких волн (КВ) зависят от множества суточных, сезонных, гео- и гелиофизических факторов, протяженности и географического положения радиолинии и др. Оперативное автоматическое определение диапазона прохождения КВ радиосигнала в ионосфере крайне важно для радиотехнических систем КВ диапазона. Также актуально автоматическое определение одной только максимальной наблюдаемой частоты (МНЧ), поскольку по её значению калибруются многие ионосферные модели (как правило, при этом требуется не глобальная МНЧ, а МНЧ определенной моды). В докладе предложена модификация алгоритма автоматического вычисления МНЧ по ионограмме наклонного зондирования ионосферы. Базовый алгоритм [1] основан на критерии обнаружения резко выделяющихся значений выборки, причем критерий применяется “наоборот”, т.е. резко выделяющиеся отсчеты выборки (в данном случае, амплитудного спектра сигнала ионозонда) считаются полезным сигналом; далее для ионограммы с выделенным полезным сигналом, интерпретируемой как двумерный массив данных, происходит выделение границ областей, занятых сигналом – таким образом происходит вычисление наименьшей и максимальной наблюдаемых частот. Приведены оценки качества работы базового алгоритма, полученные путем сравнения с «ручной» обработкой ионограмм человеком (экспертом) – коэффициент корреляции (Пирсона) около 0,998. Алгоритм хорошо работает при определении глобальной МНЧ, однако для определения МНЧ конкретных мод требуется его модификация. Построчное суммирование амплитуд точек ионограммы и «нарезание» на области по полученной суммарной гистограмме позволяют выделить диапазон времен группового запаздывания (область интереса), в котором будет находиться МНЧ согласно базовому алгоритму. Ограничение областью интереса позволяет находить МНЧ конкретной моды.

Список литературы:

1. Щирый А.О. Разработка и моделирование алгоритмов автоматического измерения характеристик ионосферных коротковолновых радиолиний: Автореф. дис. канд. техн. наук; Санкт-Петербургский гос. ун-т телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича. СПб., 2007. 19 с.

УДК 621.371.332.1

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АНТЕНН ЗЕНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ НАКЛОННОГО
ЗОНДИРОВАНИЯ ИОНОСФЕРЫ.

Аверин А.А.¹, Ким В.Ю.¹, Полиматиди В.П.¹, Сахтеров В.И.²

¹Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В.Пушкова
РАН (г. Троицк, Россия)

²Институт прикладной геофизики им. академика Е.К.Федорова (г. Москва)

Аннотация

Постановка проблемы. Ионосферная сеть Росгидромета, оснащенная отечественными ионозондами «Парус-А» производит измерения состояния ионосферы в 15-минутном режиме, при этом в последнее время появилась тенденция измерения в 5-минутном режиме. Также в связи с сокращением времени зондирования до 1-6 секунд появляется возможность получения дополнительных измерений в режимах наклонного зондирования.

Цель. Предложить возможность модернизации антенно-фидерных устройств ионозондов «Парус-А» для осуществления наклонного зондирования ионосферы.

Результаты. Проведены экспериментальные исследования антенных систем, используемых в ионозондах серии «Парус-А» и излучающей антенны ЛЧМ-ионозонда используемой в ИЗМИРАН для совместных экспериментов с Нижним Новгородом и Ростовом-на-дону.

Практическая значимость. Возможность использования стандартных антенно-фидерных устройств ионозондов «Парус-А» после модернизации для проведения наклонного зондирования ионосферы.

Ключевые слова: ионосфера, ионозонд, «Парус-А», антенны, скрещенный диполь, большой и малый ромб, дельта-антенна, вертикальное зондирование, наклонное зондирование.

Литература:

1. Колесник С.А., Романов И.В., Пикалов М.В., Тузилкин Д.А. Исследовательский ионозонд «ТОМИОН» // «Радиолокационные системы малой и сверхмалой дальности»: Тезисы XV научно-технической конференции. Научное электронное издание. Под ред. В.И. Сахтерова, Москва: ИЗМИРАН, 2024. С.60-63.
2. Литвинов С.В., Паньшин Е.А., Скрипачев В.О., Стариковский А.И. Влияние взаимного расположения антенн ионозондов «Парус-А» на результаты наклонного зондирования // Антенны. 2024. № 4. С. 27–35.
3. Урядов В.П., Вертоградов Г.Г., Понятов А.А., Вертоградов В.Г., Кубатко С.В., Черкашин Ю.Н., Крашенинников И.В., Комраков Г.П., Валов В.А. О структуре и динамике области ионосферы с искусственными мелкомасштабными неоднородностями по данным комплексных измерений характеристик рассеянных радиосигналов// Изв. вузов. Радиофизика. 51, 1011-1025, (2008).

УДК: 621.396.96

ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ МЕТОДЫ ОБНАРУЖЕНИЯ МИКРО-БПЛА

С.Р. Богати, Г.Н. Щербаков, А.В. Рычков

Военный учебно-научный центр Сухопутных войск «Общевойсковая академия
Вооружённых Сил Российской Федерации», г. Москва, bogati93@gmail.com

***Аннотация.** В данной работе представлен аналитический обзор современных методов выявления беспилотных летательных аппаратов, в частности микро-БпЛА весовой категории от 0.13 килограммов, причём особое внимание уделяется необходимости интегрированного использования различных технологических подходов для эффективного обнаружения подобных летательных аппаратов в рамках комплексных систем противодействия несанкционированным полётам.*

Ключевые слова: микро-БпЛА, радиолокация, СВЧ, мониторинг, обнаружение

УДК 627.37

ОБЗОР ПОДХОДОВ К РАСЧЁТУ ДАЛЬНОСТИ ДЕЙСТВИЯ НЕЛИНЕЙНОГО РАДИООБНАРУЖИТЕЛЯ

Нгуен Ван Кыонг, Московский технический университет связи и информатики (МТУСИ), аспирант; v.k.nguen@edu.mtuqi.ru

Николаев А.В., Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, главный научный сотрудник, МТУСИ, заведующий кафедрой «Техническая электродинамика и антенны», доцент, д.т.н.; alarmoren@yandex.ru

Аннотация. В данной работе предлагается методика расчёта дальности действия нелинейного радиобнаружителя. Рассматриваются новые уравнения, предназначенные для количественной оценки предельной дальности радиотехнических систем, функционирующих в условиях взаимодействия с нелинейными целями. Представленные модели направлены на повышение эффективности обнаружения и улучшение эксплуатационных характеристик систем. Разработанные решения интегрированы с ранее существующими подходами, что обеспечивает формирование единой расчётной базы для анализа параметров зондирования. В статье описана модифицированная методика расчёта дальности, обладающая высокой инженерной применимостью. Также обозначены направления для дальнейшего совершенствования предложенного подхода.

Ключевые слова: интермодуляция в радиосвязи, нелинейный радар, нелинейный объект, нелинейное преобразование, дальность действия нелинейного радара, уравнения радиолинии.

УДК 621.396.96

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОГО РАССЕЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПИРАЛЬНЫХ АНТЕНН

Фам Дык Хи, Московский технический университет связи и информатики (МТУСИ),
аспирант, d.h.fam@edu.mtuci.ru

Аннотация. В работе представлены результаты экспериментального исследования повышения эффективности локализации нелинейных объектов с использованием методов фазовой и амплитудной радиопеленгации сигнала. Исследования проводились с применением широкополосных спиральных антенн с круговой поляризацией, обладающих частотно-независимыми характеристиками и обеспечивающих стабильную работу в широком диапазоне частот.

Была разработана и апробирована экспериментальная установка на базе векторного анализатора цепей, включающая две поворотные платформы для измерения диаграмм направленности. Исследования проводились путём измерения отражённого от нелинейного объекта сигнала на основной (f_0) и второй гармонической ($2f_0$) частотах. Полученные результаты демонстрируют существенные различия в пространственных характеристиках излучения на этих частотах, в частности, выявлено сужение основного лепестка и изменение уровня боковых лепестков при переходе к гармоническому компоненту.

Ключевые слова: нелинейное рассеяние, нелинейный объект, диаграмма направленности, спиральная антенна, круговая поляризация, вторая гармоника.

УДК: 629.78:523.3:527.62

**ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ МЕТОДЫ НАВИГАЦИИ И ОРИЕНТИРОВАНИЯ В
ЛАВОВЫХ ТРУБКАХ ЛУНЫ**

Николаев А.В. Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН (ИМАШ РАН),
главный научный сотрудник; alarmoren@yandex.ru

Аннотация.

В статье рассмотрены электромагнитные технологии навигации и ориентирования для космонавтов и роботов в лавовых трубках Луны. Разработанный подход включает предварительное картирование маршрута с помощью машины-укладчика навигационных трасс, создающей "облако" точек и прокладывающей индукционные линии связи. Это позволяет рассчитывать положение космонавта и параметры отклонения робота при изменении траектории. Использование интеграции данных лазерных локационных систем с инерциальной навигацией и одометрией обеспечивает высокую точность ориентации в сложных условиях лунной среды. Особое внимание уделено адаптации наземных решений для надежной работы навигационных систем на Луне.

Ключевые слова: методы навигации, ориентирование, лавовые трубки Луны, машина-укладчик навигационных трасс, индукционные линии связи, лазерные локационные системы, инерциальная навигация, одометрия

ПОТЕНЦИАЛ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СВЧ В МЕДИЦИНСКОЙ ДИАГНОСТИКЕ

(приглашенный доклад)

Ивашов С.И. sivashov@rslab.ru

Лаборатория дистанционного зондирования г.Москва

В конце 90-х и начале нулевых возник интерес к дистанционной диагностике людей радиолокационными методами в СВЧ-диапазоне [1-6]. Особое место в подобных исследованиях занимает диагностика типа инсульта головного мозга.

В медицине диагностируются два вида инсульта: тромб в сосуде (**ишемический инсульт**, на него приходится **85% всех случаев**) и разрыв сосуда и образование гематомы (**геморрагический инсульт**, **15%**). В обоих случаях нарушается доступ кислорода и, как следствие, возникает поражение участка тканей мозга, приводящее к тяжёлым последствиям. Известно, что ранняя диагностика при инсульте повышает шансы на выживание больного, а также снижается тяжесть последствий. В настоящее время основным методом диагностики инсульта является компьютерная томография, которая из-за громоздкости оборудования пока проводится только в клинических условиях. Оптимальным была бы возможность постановки диагноза непосредственно врачом скорой помощи по его прибытию к больному. Это связано с тем, что при этих двух типах инсульта используется разная тактика лечения прямо противоположная друг другу: в первом случае пациенту надо давать препарат разжижающий кровь с тем, чтобы восстановить кровоток в сосуде, во втором наоборот – повышающий её свёртываемость для уменьшения размеры гематомы.

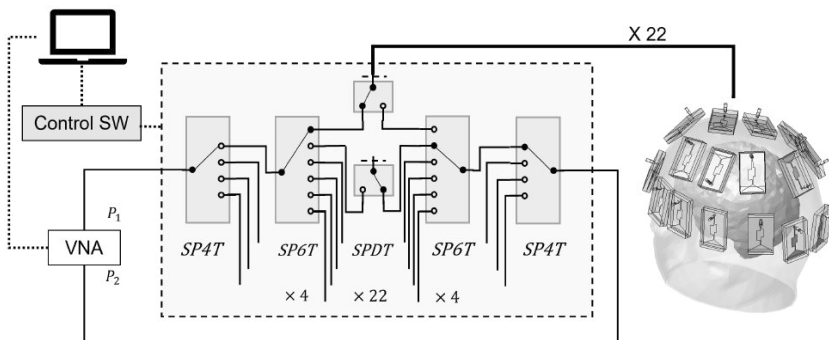


Рис.

1. Аппаратная архитектура прототипа СВЧ-сканера инсульта мозга. Сигнал, генерируемый через 2-портовый VNA, мультиплексируется через коммутационную матрицу с 22 выходными портами, подключенными к элементам, составляющим антенную решетку. Ноутбук управляет коммутаторами и VNA [7]

А силу этого важно иметь в карете скорой помощи портативный томограф головного мозга для первичной диагностики. Более двух десятилетий наблюдений за попытками создания портативного и малогабаритного микроволнового томографа для диагностики инсульта не внушают особого оптимизма. Пока всё в подавляющем количестве случаев ограничивается экспериментальными проверками технологии на фантомах головного мозга или математическим моделированием [7-10]. Проблема связана с противоречивыми требованиями по разрешению (несколько миллиметров) и высоким затуханием

электромагнитных волн в кровенасыщенных тканях, которое растёт с увеличением частоты. Кровь является хорошим электролитом, что препятствует распространению электромагнитных волн. Общим для всех публикаций является частотный диапазон – около 1 ГГц. Выбор диапазона определяется тем, что на более высоких частотах не удаётся зарегистрировать сигнал от внутренних областей мозга, а при снижении частоты получаемое пространственное разрешение оказывается недостаточным для диагностики. Возможно, эти попытки тщетны и напоминают известную задачу квадратуры круга. Принципиальная схема СВЧ-томографа приведена на рис. 1.



Рис. 2. Внешний вид подвижного СВЧ-томографа фирмы EMTensor GmbH,

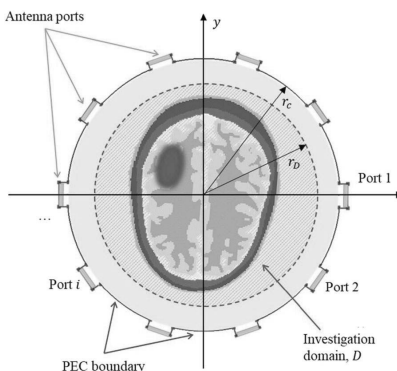


Рис. 3. Схема расположения антенн и модельное изображение гематомы головного мозга, на схеме представлено красным пятном.

Важно всё-таки отметить, что в последние годы наметился некоторый прогресс в этой области. В [11] описан передвижной СВЧ-томограф, рис. 2 и 3. Прибор работает в диапазоне частот 0.92-1.08 ГГц.

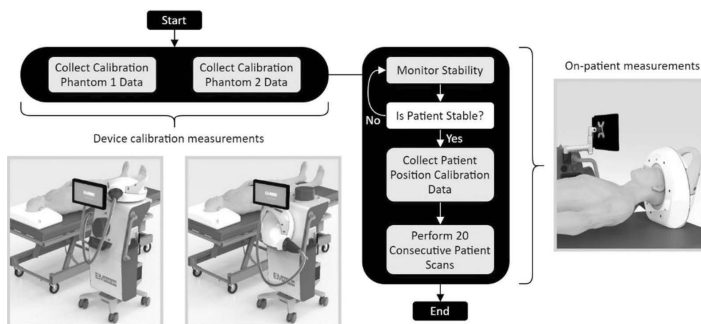


Рис. 4. Схема калибровки и использования СВЧ-сканера, разработанного в университете Квинсленда. Австралия.

Авторы разработки предполагают его использование в клинических условиях у постели больного с тем, чтобы избежать необходимости транспортировать его в помещение, где расположен полноценный компьютерный томограф.

Приведенное на рис. 3 изображение является модельным, что не позволяет судить о его эффективности. В работе австралийских авторов из университета Квинсленда, Австралия, [12] описана более продвинутая установка, использование которой дошло до клинических испытаний, рис. 4. Описанное устройство работает в диапазоне частот 0.7–1.8 ГГц и состоит из 16 антенных элементов.

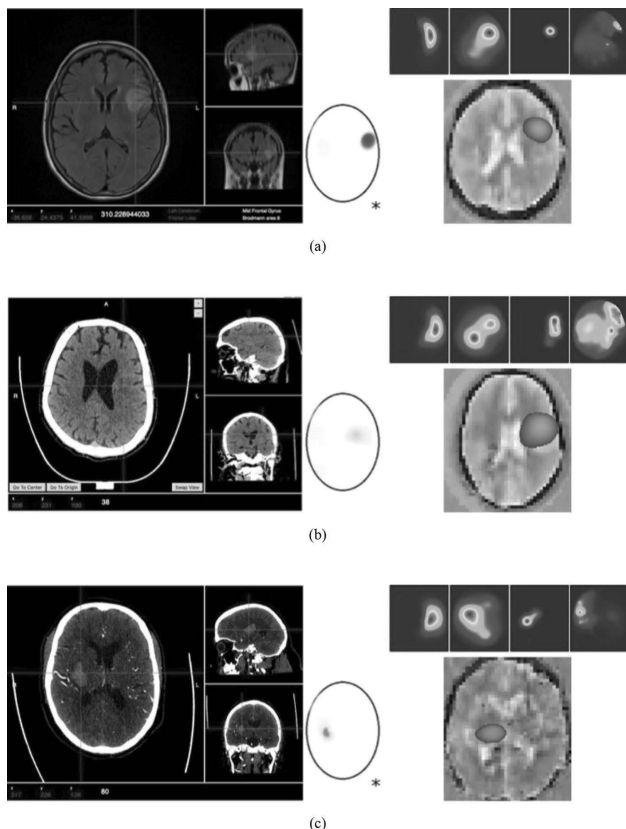


Рис. 5. Данные пациентов из клинического исследования, представляющие исходные данные приведены слева, а набор выходных данных четырех отдельных алгоритмов справа – верхний ряд, клинически интерпретированные исходные данные и объединенные выходные данные показывают обнаруженную область, окрашенную в красный цвет для геморрагического инсульта и в синий цвет для ишемического инсульта.

В этой работе были приведены результаты клинического использования устройства у пациентов с инсультом. Результаты исследований при общем количестве обследованных пациентов 50 показывают достижение точности классификации типа инсульта 98% и при 80% точности его локализации, т.е. только в одном случае из 50 диагноз был ошибочным.

Авторы утверждают, что благодаря своей относительно легкой конструкции и простоты использования медицинским персоналом, устройство может использоваться в отделениях интенсивной терапии, отделениях неотложной помощи и парамедиками для диагностики на месте. Тем не менее, данное устройство остаётся достаточно громоздким, что затрудняет его размещение в карете скорой помощи для транспортировке к больному для первичной диагностики. Результаты клинических исследований приведены на рис.5.

Хотя описываемый прибор по-прежнему остаётся достаточно громоздким, но, несомненно, приведенные в работе [12] результаты являются значительным шагом вперёд на пути создания портативного СВЧ-томографа, способного найти своё место в оборудовании машины скорой помощи.

Ещё одной областью применения является маммография. Маммография — это исследование тканей молочных желёз с целью выявления новообразований (доброкачественных и злокачественных) и других патологических изменений — кальцинатов и кист. В настоящее время в мире в подавляющем большинстве случаев для диагностики рака женской молочной железы (РМЖ) используют рентгеновскую проекционную маммографию, пленочную (аналоговую) или цифровую, рис. 6 [13].

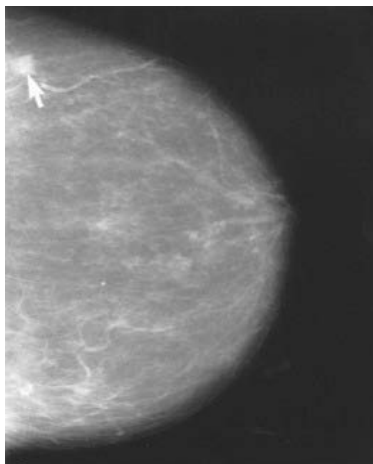


Рис. 6. Маммограмма, на рентгеновском снимке молочной железы стрелкой показано злокачественное образование.

Следует отметить, что согласно рекомендации ВОЗ достаточным для диагностики РМЖ на ранних стадиях является аппарат, позволяющий получать изображение, с разрешением не менее 20 пар линий на миллиметр, для аналоговых, и 20 пикселей на мм², для цифровых установок. Аппараты с меньшим разрешением для ранней диагностики образований

молочной железы не пригодны [13]. Рентгеновская маммография в силу короткой длины волны вполне удовлетворяет указанным требованиям.

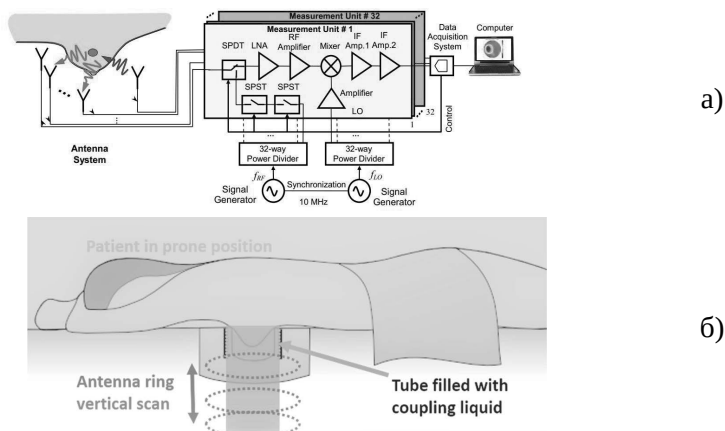


Рис. 7. Принципиальная схема СВЧ-маммографа а) и положение пациентки при обследовании б).

Основной недостаток рентгеновского метода – ионизирующее излучение, что ограничивает его использование для молодых женщин и девочек. В этой области также предпринимаются усилия по использованию СВЧ для диагностики. С учетом того, что молочные железы менее кровонасыщены, появляется возможность повышения разрешения использовать более высокие частоты, вплоть до миллиметрового диапазона [14]. Принципиальная схема СВЧ- маммографа и положение пациентки при обследовании приведены на рис. 7.



Рис. 8. СВЧ-маммограф фирмы Wavelia.

Также как и в случае с диагностикой инсульта основная масса исследований проводится на фантомах молочных желёз [15]. Единственный прибор, как утверждают авторы исследования, который дошёл до стадии клинических испытаний, изображён на рис. 8 [16].

Эта система СВЧ-визуализации молочной железы, разработанная фирмой Wavelia, Ирландия, была установлена в университетской больнице г. Голуэй, для первых клинических испытаний на людях. К сожалению, ни в [16], ни на сайте фирмы Wavelia не приводятся технические данные прибора, включая диапазон рабочих частот, а также отсутствуют результаты клинических испытаний.

В заключение можно отметить, что приоритетной является задача разработки переносного СВЧ-томографа головного мозга для диагностики типа инсульта. Хотя в последние годы был достигнут определённый прогресс в этой области, но конечная цель пока не достигнута. Нужно дождаться результатов масштабных клинических испытаний уже разработанных передвижных устройств, прежде чем делать какие-то выводы относительно возможности достижения этой цели.

Литература

1. Staderini E.M., UWB Radars in Medicine. - IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, January 2002, pp. 13-18.
2. Greneker E. F. Radar Sensing of Heartbeat and Respiration at a Distance with Security Applications. - Proceedings of SPIE, Radar Sensor Technology II. Volume 3066, Orlando, Florida, April 1997, pp. 22-27.
3. Barnes M.A., Nag S., Payment T. Covert situational awareness with handheld ultra wideband short pulse radar. - SPIE Conference on "Radar Sensor Technology VI". Orlando, Fla. 19 Apr., 2001, Proc. SPIE. 2001. 4374, pp. 66-77.
4. Immoreev I.J., Samkov S.V., Ultra Wideband (UWB) Radar for the Remote Measuring of Main Parameters of Patient's Vital Activity. - Radio Physics and Radio Astronomy (Ukraine), 2002, v.7, No. 4, pp. 404-407.
5. S.I. Ivashov, V.V. Razevig, A.P. Sheyko, I.A. Vasilyev. Detection of Human Breathing and Heartbeat by Remote Radar. Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS 2004), March 28-31, 2004, Pisa, Italy, pp. 663-666.
6. S. Y. Semenov, R. H. Svenson, A. E. Boulyshev, et al., "Microwave tomography: two-dimensional system for biological imaging," IEEE Transactions on Biomedical Engineering, vol. 43, no. 9, pp. 869-877, 1996.
7. D. O. Rodriguez-Duarte, C. Origlia, J. A. T. Vazquez, R. Scapaticci, L. Crocco and F. Vipiana, "Experimental Assessment of Real-Time Brain Stroke Monitoring via a Microwave Imaging Scanner," in IEEE Open Journal of Antennas and Propagation, vol. 3, pp. 824-835, 2022, doi: 10.1109/OJAP.2022.3192884
8. Fedeli, A.; Schenone, V.; Estatico, C.; Randazzo, A. Stroke Detection and Monitoring by Means of a Multifrequency Microwave Inversion Approach. Electronics 2025, 14, 543. <https://doi.org/10.3390/electronics14030543>
9. Youness Akazzim, Otman El Mrabet, Jordi Romeu and Luis Jofre-Roca, Multi-Element UWB Probe Optimization for Medical Microwave Imaging, Sensors, December 2022, DOI:10.3390/s23010271
10. S. S. S. Mousavi and M. S. Majedi, "Reconstruction and Classification of Brain Strokes Using Deep Learning-Based Microwave Imaging," in IEEE Access, vol. 13, pp. 27024-27036, 2025, doi: 10.1109/ACCESS.2025.3538773

11. Alessandro Fedeli , Member, IEEE, Valentina Schenone , Andrea Randazzo , Senior Member, Matteo Pastorino , Fellow, IEEE, Tommy Henriksson, and Serguei Semenov, Nonlinear S-Parameters Inversion for Stroke Imaging, IEEE transactions on microwave theory and techniques, vol. 69, no. 3, march 2021, doi:10.1109/TMTT.2020.3040483
12. Abbosh A, Bialkowski K, Guo L, Al-Saffar A, Zamani A, Trakic A, Brankovic A, Bialkowski A, Zhu G, Cook D, Crozier S. Clinical electromagnetic brain scanner. Sci Rep. 2024 Mar 8;14(1):5760. doi: 10.1038/s41598-024-55360-7
13. <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D0%BC%D0%BC%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D1%84%D0%B8%D1%8F>
14. S Di Meo, M T Bevacqua, G Matrone, L Crocco, T Isernia, M Pasian, Millimeter-wave breast cancer imaging by means of a dual-step approach combining radar and tomographic techniques: preliminary results, 2022 44th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC), Scottish Event Campus, Glasgow, UK, July 11-15, 2022, pp. 508-511. DOI: [10.1109/EMBC48229.2022.9871999](https://doi.org/10.1109/EMBC48229.2022.9871999)
15. A. de Jesus Aragão, D. Carvalho, B. Sanches and W. A. M. van Noije, "A Review On Microwave Imaging Systems for Breast Cancer Detection," in IEEE Access, vol. 12, pp. 190611-190628, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3516762
16. Fasoula A, Duchesne L, Gil Cano JD, Lawrence P, Robin G, Bernard JG. On-Site Validation of a Microwave Breast Imaging System, before First Patient Study. Diagnostics (Basel). 2018 Aug 18;8(3):53. doi: 10.3390/diagnostics8030053

УДК: 621.3.091.22

РАЗВИТИЕ ГЛУБИННОЙ ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ.

Горкин Д.С ИЗМИРАН, gorkin@izmiran.ru

Пивторак А.А. Deep GPR Research Company, info@deep-gpr.com

Егоров А.П. «ГеоЭкспертКонсалт», info@geoexpertconsult.ru

Георадиолокация или георадарный метод геофизических исследований широко представлен как в инженерных, так и в научных направлениях исследований.

Это связано с тем, что применение георадарного метода значительно повышает информативность и детальность получаемых данных. При дефектоскопии зданий и сооружений, при поиске коммуникаций, археологических исследованиях, при инженерно-геологических исследованиях и даже при геологоразведке.

Такое широкое применение стало возможно благодаря значительному прорыву, который произошел в георадиолокации за последние десятилетия. Технологические инновации позволили разработчикам значительно повысить глубину исследований, что привело к расширению сферы применения.

На сегодняшний день сформировался основной международный «костяк» компаний, которые занимаются производством и разработкой нового оборудования. Среди них такие известные бренды как LOZA (Россия), GROT(Россия), Логис (Россия), GSSI (США), MALA/RAMAC (Швеция), NOGGIN (Канада).

Производимое ими оборудование условно можно подразделить на два класса: малоглубинное и глубинное.

Литература:

1. Варенков В.В., Горкин Д.С., Смирнов Д.А., Сахтерова Т.В., Сахтеров В.И. Результаты экспериментов с георадаром «Сфера» // Электромагнитные волны и электронные системы. 2024. Т. 29. № 5. С. 66–70. EDN: UJVGKQ DOI: <https://doi.org/10.18127/j15604128-202405-10>
2. Аверин А.А., Горкин Д.С., Варенков В.В., Сахтеров В.И. Увеличение глубины зондирования импульсного георадара путем снижения импеданса антенны // Электромагнитные волны и электронные системы. 2024. Т. 29. №3 С.49-58 EDN: VQOAIQ DOI: <https://doi.org/10.18127/j5604128-202403-06>

УДК: 621.3.091.22

ОБНАРУЖЕНИЕ СЛАБОКОНТРАСТНЫХ ОБЪЕКТОВ С ПОМОЩЬЮ УПРАВЛЕНИЯ
ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ ИЗЛУЧАЮЩЕЙ АНТЕННЫ

Д. А. Смирнов, А. А. Аверин, В. В. Варенков, Т. В. Сахтерова, В. И. Сахтеров

ИЗМИРАН г. Троицк, diman.smirnyu@yandex.ru

Аннотация. В работе рассматривается актуальная проблема обнаружения слабоконтрастных объектов при подповерхностном радиозондировании, возникающая в случаях, когда диэлектрическая проницаемость вмещающей среды и объекта близки. Такие условия характерны для многих практических задач, включая поиск трубопроводов или зон повышенной влажности в грунте. Существующие методы обнаружения, основанные на анализе амплитудных характеристик отраженного сигнала, часто оказываются недостаточно эффективными и требуют многократного профилирования объекта с разных направлений. При этом традиционные подходы с перемещением антенной системы значительно увеличивают трудозатраты. Целью данной работы является разработка и экспериментальная проверка нового метода обнаружения слабоконтрастных объектов, основанного на управлении диаграммой направленности излучающей антенны георадара. Основное преимущество предложенного подхода заключается в возможности получения дополнительной информации об объекте без изменения пространственного положения измерительной системы, что значительно сокращает время обследования. В ходе исследований был разработан экспериментальный образец антенной системы на основе модифицированного резистивно-нагруженного диполя, обеспечивающей плавное изменение диаграммы направленности с углом отклонения главного лепестка в диапазоне $\pm 7^\circ$. Для проверки эффективности метода создан специализированный полигон с переменными параметрами контрастности объектов. Полигон включает сухой песчаный массив с пластиковыми трубами различного диаметра, где возможно моделирование разных условий заполнения труб водой. Результаты показали, что предложенный метод позволяет выявлять фазовые и амплитудные особенности отраженных сигналов, недоступные при традиционном однопозиционном зондировании, что существенно повышает качество обнаружения слабоконтрастных объектов. Практическая значимость работы подтверждена успешными испытаниями методики при обследовании реальных инженерных коммуникаций. Перспективы работы связаны с дальнейшим развитием как аппаратной части (многоантенные системы), так и алгоритмов обработки сигналов.

Ключевые слова: георадиолокация; управление диаграммой направленности; слабоконтрастные объекты, георадар, резистивно-нагруженная дипольная антенна.

Литература:

1. Смирнов Д.А., Горкин Д.С., Варенков В.В., Сахтеров В.И. Управление диаграммой направленности приемной антенны георадара применительно к обнаружению слабоконтрастных объектов // Распространение радиоволн: сборник докладов I Всероссийской молодежной научной школы-конференции, посвященной памяти Д. С. Лукина (Йошкар-Ола, 11–14 ноября 2024 года) / редколлегия: Д. В. Иванов, Н. В. Рябова, А. С. Крюковский и др. – Электронные данные. – Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2024. – С.72-75. EDN: FJNPGJ

УДК: 621.3.091.22

ВОССТАНОВЛЕНИЕ СИГНАЛОВ ГЕОРАДАРА ОГРАНИЧЕННЫХ ПО
АМПЛИТУДЕ В ПРОГРАММЕ MATRIX

В. В. Варенков¹, Д. С. Горкин¹

¹ИЗМИРАН г. Троицк, 89268482777@mail.ru

Аннотация

Постановка проблемы

Для успешной интерпретации данных желательно получать сигналы с большой амплитудой, но, чтобы они при этом не имели ограничений по амплитуде. Для изучения верхней части разреза применяется ослабление. Полный разреза от верха до низа приходится изучать фрагментарно.

Цель

Цель: по результатам обследования построить картину полного разреза по всей глубине.

Результаты

Практическое построение полного разреза по данным с набором ослаблений показывает существенное повышение динамического диапазона (соотношения сигнал/шум).

Практическая значимость

Получение целостной картины разреза сверху до низа с детализацией по всей глубине.

Ключевые слова: георадар, геофизика, ослабление сигнала, геологический разрез.

Литература:

1. Горкин Д.С., Варенков В.В. Программа для ЭВМ: MATRIX. Номер регистрации (свидетельства): RU 2023663673 от 27.06.2023. EDN: TBHTDN
2. Аверин А.А., Антипов В.В., Горкин Д.С. Способ сравнения параметров георадаров // Электромагнитные волны и электронные системы. 2024. Т. 29. № 5. С. 71–75. EDN: RTBTFM DOI: <https://doi.org/10.18127/j15604128-202405-11>
3. Варенков В.В., Горкин Д.С., Смирнов Д.А., Сахтерова Т.В., Сахтеров В.И. Результаты экспериментов с георадаром «Сфера» // Электромагнитные волны и электронные системы. 2024. Т. 29. № 5. С. 66–70. EDN: UJVGKQ DOI: <https://doi.org/10.18127/j15604128-202405-10>

УДК 621.3.091.22

СПОСОБ И РЕЗУЛЬТАТЫ ПОВЫШЕНИЯ ВЫХОДНОЙ МОЩНОСТИ ПЕРЕДАТЧИКА ГЕОРАДАРА

Д.С. Горкин¹, В.И. Сахтеров²

¹Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В.Пушкова
РАН (г. Троицк, Россия)

²Институт прикладной геофизики им. академика Е.К.Федорова (г. Москва)

Аннотация

Постановка проблемы. Есть несколько направлений для повышения дальности георадиолокации, первое – уменьшение центральной частоты зондирующего импульса, что приводит к увеличению длины антенн до сотни метров, второе – повышение выходной мощности передатчика. Кроме этого возможно повышение эффективности антенно-фидерных устройств и применение математических методов обработки, к примеру, накопление принимаемого сигнала. При увеличении длины антенн дальность зондирования повышается, но при этом уменьшается пространственное разрешение и, следовательно, теряется информативность о строении исследуемой среды. При повышении выходной мощности передатчика георадара при фиксированной длине антенн дальность зондирования также повышается, но не снижается пространственное разрешение.

Цель. Разработать способ увеличения выходной мощности, используя для этого оригинальные решения, позволяющие применять электронные компоненты с более низкой стоимостью.

Результаты. Разработан и запатентован способ увеличения выходной мощности передатчика георадара. Данный способ применяется в передатчиках глубинных георадаров повышенной мощности. Использование найденного решения повышает уровень сервисных качеств георадиолокации для пользователей, так как имеется возможность устанавливать необходимую мощность излучения под конкретное исследование.

Практическая значимость. В настоящее время данный способ уже применяют для глубинной радиолокации импульсными георадарами повышенной мощности с резистивно-нагруженными дипольными антеннами, что позволило достичь глубин зондирования до 200 м, а в отдельных случаях - до 500 м.

Ключевые слова

георадар, резистивно-нагруженная дипольная антенна, глубинная георадиолокация

Литература:

1. Аверин А.А., Антипов В.В., Горкин Д.С. Способ сравнения параметров георадаров // Электромагнитные волны и электронные системы. 2024. Т. 29. № 5. С. 71–75. EDN: RTBTFM
DOI: <https://doi.org/10.18127/j15604128-202405-11>

УДК: 621.3.091.22

ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВСТУПЛЕНИЯ
СИГНАЛА ПОД ДЕЙСТВИЕМ ФОНОВОГО ПОЛЯ (ПОЛЯ ПОДСВЕТКИ) ПРИ
ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННОМ ЗОНДИРОВАНИИ

Савватеев Я.В., Иляхин С.В., Корнилов Б. А.

ИФЗ РАН им.О.Ю.Шмидта, savvateev-yar@yandex.ru,

РГТРУ им.С.Орждоникидзе, isv11@mail.ru,

научно-технический кооператив «Диоген», ntkdiogen48@mail.ru

Под воздействием фонового поля при георадиолокационном зондировании повышается временная разрешенность записи, облегчающей поисковые задачи. Для определения наличия аномалий, связанных с наличием локальных объектов, необходимо иметь объективный критерий для картирования объектов поиска. Одним из методов решения подобной задачи является метод винеровской деконволюции, заключающийся в операции свёртки трасс, полученных в стандартных условиях георадиолокационного зондирования, и полученных под дополнительным действием фонового поля (поля подсветки).

Ключевые слова: частотный спектр; спектральная плотность энергии, локальные объекты; операция свёртки; дельта-функция.

Литература:

1. Волкомирская Л.Б., Гулевич О.А., Кривошеев Н.В., Резников А.Е., Сахтеров В.И. О связи крутизны фронта зондирующего электромагнитного импульса в среде с поглощением и дисперсией и эффективности обнаружения аномалий диэлектрической проницаемости. // Инженерный вестник Дона, №4 2018
2. Набатов В.В., Вознесенский А.С. Георадиолокационное обнаружение полостей в заобделочном пространстве тоннелей метрополитенов // Горный журнал. 2015. № 2. С. 15–20. DOI 10.17580/gzh.2015.02.03.

УДК 550.8.055

АЛГОРИТМ ПОДАВЛЕНИЯ РЕГУЛЯРНЫХ ПОМЕХ В ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ

В. В. Романов¹, А. А. Иванов¹

¹МГРИ г. Москва, biwolf@mail.ru

Аннотация

Постановка проблемы. При обработке георадиолокационных данных значительные трудности создают коррелированные помехи, такие как горизонтальные оси синфазности, которые маскируют полезные сигналы. Традиционные методы фильтрации (например, вычитание среднего или медианная фильтрация) часто оказываются неэффективными из-за нестационарности спектрально-корреляционных параметров сигналов и помех, а также их спектрального перекрытия. Это приводит к потере важной информации и снижению точности интерпретации данных.

Цель. Разработка и апробация адаптивного алгоритма подавления коррелированных помех на основе фильтра воспроизведения, который минимизирует среднеквадратическое отклонение между обработанным сигналом и его эталонной формой.

Результаты. Предложен алгоритм, сочетающий расчет автокорреляционной функции трассы, синтез частотной характеристики фильтра воспроизведения и последующее вычитание помех. Тестирование на модельных данных (импульс Берлаге + помеха) подтвердило близость спектра обработанного сигнала к эталонному. Обработка реальных радарограмм показала ослабление помех на 30–50%, что позволило выделить ранее скрытые детали волнового поля. Обнаружено, что метод эффективен для подавления низкочастотных (5 МГц) и высокочастотных (165 МГц) помех, включая аппаратные артефакты.

Практическая значимость. Предложенный алгоритм позволяет повысить точность интерпретации данных при разведке месторождений, инженерных изысканиях и археологических исследованиях. Рекомендован для обработки данных с высокой долей коррелированных помех, особенно в условиях неоднородных приповерхностных слоев.

Ключевые слова: георадиолокация, фильтр воспроизведения, коррелированные помехи, автокорреляционная функция, адаптивная фильтрация.

УДК 550.8.055

РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТОВ ОТРАЖЕНИЯ И ПРОХОЖДЕНИЯ СИГНАЛА ГЕОРАДАРА В ПРОГРАММЕ MATRIX PRO

Антипов В.В.¹, Горкин Д.С.¹¹ Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, Москва, г. Троицк, Россия

Летом 2025 года в Подмоскowie были проведены съемки георадаром «ЭХО СФЕРА». Частота 150 МГц, длина антенн 1 м, мощность передатчика 500 кВт (5000 В).

На рис. 1, 2 приведены результаты съемки в амплитудно-фазовом представлении. На рисунках видно, что в левой ¼ части съемки выполнялись по берегу водоема, а в правой ¾ части – по воде. Глубина пресного водоема около 1 м. Дно песчано-галечное.

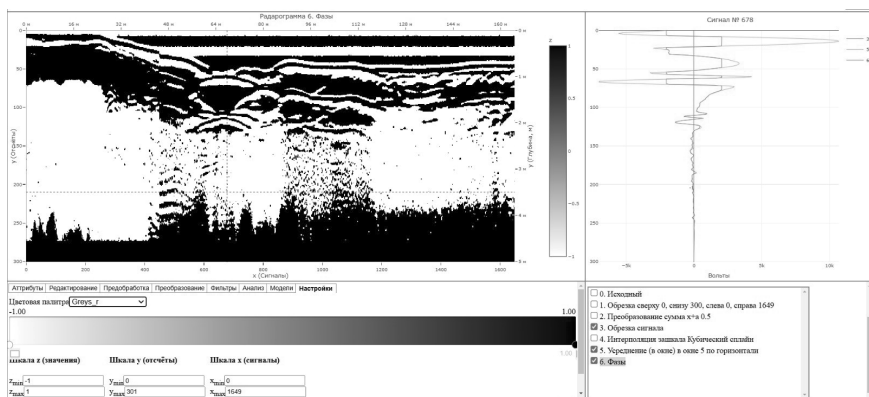


Рис 1. Исходные данные. Амплитудно-фазовое представление, интерфейс программы MATRIX PRO

Литература:

1. Горкин Д.С., Антипов В.В. Программа для ЭВМ: MATRIX PRO. Номер регистрации (свидетельства): RU 2025619848 от 06.04.2025г. EDN: CWXDHY
2. Горкин Д.С., Варенков В.В., Сахтеров В.И. «Георадар для радиолокационного зондирования подстилающей поверхности». Патент на полезную модель RU 218691 U1, зарегистрирован в Госреестре 06.06.2023г. EDN: BOTIAU

УДК: 621.3.091.22

**НАДЕЖНОСТЬ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ГЛУБИННОГО ГЕОРАДАРА В
СРАВНЕНИИ С МЕХАНИЧЕСКИМ ЗОНДИРОВАНИЕМ В КАРСТОВОЙ ОБЛАСТИ В
КАМАХАРЕ, САН-ПАУЛУ, БРАЗИЛИЯ.**

Иегова Ногейра Жуниор, геолог и магистр наук Института наук о Земле Университета Сан-Паулу, Бразилия

Фернандо Аугусто Сарайва, геолог и доктор наук из Института наук о Земле Университета Сан-Паулу, Бразилия

Пивторак А.А., геолог, Deep GPR Research Company, Россия

Горкин Д. С., н.с. ИЗМИРАН, Россия

Глубинным георадаром ЛОЗА были проведены опытно методические работы в известняках на глубины до 100м, для выяснения эффективности данного метода бесконтактной электроразведки при инженерных изысканиях для строительства. В зонах потенциально карстующихся известняков, для уменьшения рисков связанных с дальнейшими разрушений зданий и сооружений.

В карстовых породах, просачивание воды через трещины на протяжении тысяч лет способствовало медленному растворению стен, образуя «пустоты» различных размеров и даже пещеры. Просадка грунта, вызванная этими «пустотами», создает проблемы для гражданского строительства из-за возникновения осадок; трещины и разломы на дамбах, в конструкциях, на тротуарах и полах, и даже обрушения сводов пещер, приводящие к несчастным случаям.

Для реализации проекта строительства логистического комплекса на карстовом участке было проведено 206 механических исследований, в ходе которых были выявлены факторы, указывающие на наличие «пустот», такие как падение пробоотборника; внезапное и резкое падение показателей СПТ; участки с низким или нулевым извлечением выбуренной породы, а также с очень высокими или полными потерями воды при бурении. Также были оценены двадцать один профиль геофизических исследований, выполненных с использованием глубокопроникающего радара (DPR) с низкочастотными электромагнитными волнами, на глубине до 100 м, что позволило получить аномалии, характерные для «пустот» и их формы; потоки подземных вод, соответствующие зонам преимущественного растворения; трещины и проседание почвы.

Совместная оценка проведенных исследований позволила нам сделать вывод о том, что геофизические профили на 76,92–78,57% соответствуют результатам механических изысканий, при этом «пустоты» были надлежащим образом отображены с точки зрения их местоположения, расположения и формы, что позволило рекомендовать возможные меры по укреплению фундаментов.

Литература:

1. Алексеев А.Г., Дуйсиналиев Н.А., Антипов В.В., Горкин Д.С., Сахтеров В.И. Мониторинг динамики деградации мерзлоты с помощью глубинной высокоразрешающей импульсной электроразведки // Нефть. Газ. Новации. 2023 № 4 (269), С.60-63

ГЕОРАДАРНОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОЦИРКА НА МОРЕНЕ В ДОЛИНЕ Р. СУНТАР

Д.Е. Едемский¹, В.Е. Тумской², И.В. Прокопович¹

¹ Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова
РАН, Москва, г. Троицк, Россия

² Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, Якутск, Россия
deedemsky@gmail.com

В условиях глобального изменения климата Арктика и субарктические регионы подвергаются наиболее интенсивным трансформациям. Одним из ключевых процессов, сопровождающих эти изменения, является деградация вечной мерзлоты, которая оказывает значительное влияние на экосистемы, гидрологический режим и инфраструктуру.

Целью данного исследования является обследование оползневого склона, примыкающего к термоцирку в долине реки Сунтар методом георадиолокации. Оценка применимости данного метода для локализации структуры полигональножильных льдов (ПЖЛ) и прогноза развития термокарстовых процессов.

Представлены результаты обследования Сунтарского термоцирка, расположенного в долине р. Сунтар, Оймяконского нагорья, Якутия. Геологическое строение вскрытых термоцирком отложений имеет мощность 4-5 м. Моренный материал представлен классическими валунными суглинками. По криогенному строению в отложениях выделяется две криофации. Сезонноталый слой (СТС), имеет мощность около 1 м. В верхней части отложений термоцирком вскрыты 2 ледяные жилы, шириной 2,5-3 м. Кровля ледяных жил расположена на уровне подошвы СТС.

В данных исследованиях был выполнен двухмерный численный эксперимент в пакете grgMax. На модельных задачах рассмотрены особенности работы метода георадиолокации в условиях вечной мерзлоты при наличии СТС. Рассмотрена модельная радарограмма ледяного клина в однородной вмещающей среде, из которой видно, что верхняя часть ледяного клина четко фиксируется. Эта особенность должна наблюдаться и в летний период, когда кровля ледяного клина совпадает с подошвой активного слоя. Показано, что отражения от боковых стенок клина возможны, если на стенках клина имеются неоднородности с формированием точек дифракции и плоскостей отражения зондирующего сигнала. Такая ситуация позволяет определять по точкам локальных неоднородностей границы боковых стенок ледяного клина.

Для уточнения атрибутов ледяных жил на георадарных профилях были пройдены два профиля с центральной частотой антенн 150 МГц непосредственно над ледяными структурами, которые визуально наблюдаются на задней стенке термоцирка. Как показали результаты измерений, рис. 1, мы получили ярко выраженные верхние границы ледяного тела (1), что соответствует результатам моделирования. Кровля ледяной структуры на обоих профилях фиксируется на отметке ~50 нс, что соответствует ~1-1,5 м. Углы кровли ледяной жилы являются точками, дифракции с формированием гипербола (2). Кроме этого на радарограмме рис. 1а, и в меньшей степени на рис. 1б наблюдается эффект уменьшения затухания сигнала и формирование отражений типа «реверберация».

Аналогичные эксперименты проведены и с применением антенн 50 МГц. При использовании данной антенны наиболее эффективным атрибутом локализации ледяных жил оказался атрибут дифракции зондирующего сигнала на ледяной жиле, что соответствует модельным задачам. Кровля ледяного тела располагается на отметке ~ 50 нс и хорошо читается на радарограмме, а на отметках ~ 30 нс наблюдаются локальные изменения с области СТС над жилой. На всех профилях обнаружены локальные аномалии, которые были проинтерпретированы как ледяные жилы, являющиеся элементами полигональножильной структуры ориентированной вдоль стенки отрыва термоцирка с формированием прямоугольных полигональных ячеек размером $\sim 30 \times 30$ м.

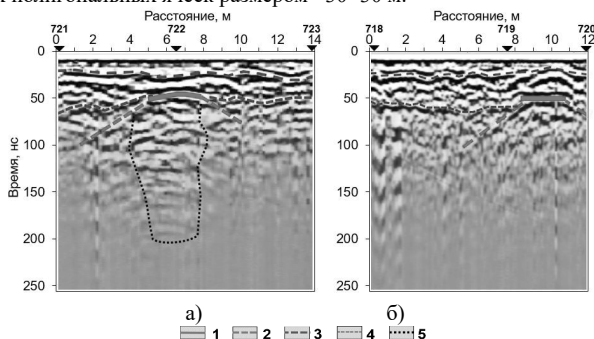


Рис. 1. Фрагменты георадарного профиля 143 Б150, антенны 150 МГц 1 – ледяная жила; 2 – кровля моренных отложений с высокой льдистостью; 3 – подошва СТС; 4 – кровля нижней криофации с относительно высокой льдистостью; 5 – границы ледяной жилы.

Проведенные измерения и последующая обработка на основе атрибутного анализа показали возможность обнаружения и картирования ПЖЛ на моренном склоне при наличии активного слоя мощностью >1 м и локальных помех. Результаты исследований позволили определить перечень применяемых атрибутов для локализации и картирования полигональной сети и определить зависимость применяемых атрибутов от центральной частоты антенной системы. В процессе глобального изменения климата в условиях деградации вечной мерзлоты данная методика и инструментарий позволит повысить понимание и достоверность прогноза развития термокарстовых процессов.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, грант № 25-27-00208.

Литература:

- Едемский Д.Е., Тумской В.Е., Прокопович И.В. Опыт применения георадиолокации для изучения ледяных жил. // Электромагнитные волны и электронные системы, т. 23, No 5, 2024.
- Едемский Д.Е., Тумской В.Е., Прокопович И.В. Изучение сильнольдистых отложений с повторно-жильными льдами методом георадиолокации // Электромагнитные волны и электронные системы. 2024. Т. 29. № 5. С. 22–28. DOI: 10.18127/j15604128-202405-04.

УДК 550.837.76

ДИАГРАММА НАПРАВЛЕННОСТИ АНТЕНН ГЕОРАДАРА И РАДИООБРАЗЫ ПОДЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ. (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ АРХЕОЛОГИЧЕСКОЙ ЭКСПЕДИЦИИ 2024 ГОДА В ГЕБЕЛЬ ЭЛЬ-НУР, СРЕДНИЙ ЕГИПЕТ)

Морозов П.А. к.ф.-м.н., зам. директора¹, ст. науч. сотрудник², e-mail: pmoroz5@yandex.ru

Морозов Ф.П., инженер-геофизик¹, e-mail: fmorozov92@mail.ru

Попов А.В. д.ф.-м.н., гл. науч. сотрудник², e-mail: popov@izmiran.ru

Прокопович И.В. к.ф.-м.н., ст. науч. сотрудник², ст. преподаватель³, e-mail: prokop21@mail.ru

1. ООО «Компания ВНИИСМИ». Москва.
2. Институт земного магнетизма ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова (ИЗМИРАН). Москва, г. Троицк.
3. Московский государственный институт радиотехники, электроники и автоматики (МИРЭА), Москва

Абстракт

Постановка проблемы. Георадар позволяет оперативно, не нарушающим способом, исследовать диапазон глубин, интересующий археологов. За счет повышенной мощности зондирующего импульса георадар дает возможность получать непрерывную информацию о строении геологической среды на большую глубину – до десятка метров, с шагом от десятка сантиметров.

Результаты. В докладе приводятся результаты георадарных исследований в археологической экспедиции ИВ РАН в Египте в 24 году. Приведены примеры интерпретации экспериментальных данных: радиообразы подземных объектов, обладающих характерными признаками антропогенного происхождения и 2D и 3D оценки диаграммы направленности георадарного сигнала, полученные в теоретических модельных расчетах.

Практическая значимость. Координаты обнаруженных объектов с признаками антропогенного происхождения переданы руководителю археологической экспедиции.

Георадарные данные позволят повысить эффективность археологических исследований снизить объем непроизводительных земляных работ.

Ключевые слова.

Георадар, импульсное электромагнитное зондирование, диаграмма направленности, радиообразы подземных объектов.

Литература:

1. Боголюбов Л.А., Лазарев М.А., Морозов Ф.П., Морозов П.А., Попов А.В., Прокопович И.В. Оценка диаграммы направленности дипольной антенны георадара в подповерхностной среде и в верхней полусфере // Электромагнитные волны и электронные системы. 2024. Т. 29. № 5. С. 82–88. EDN: IDNEML DOI: <https://doi.org/10.18127/j15604128-202405-13>

УДК: 621.3.091.22

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ГЕОРАДАРНЫХ ГЛУБИННЫХ РЕЗИСТИВНЫХ И
ЖИДКОСТНЫХ ДИПОЛЬНЫХ АНТЕНН С ПЕРЕДАТЧИКОМ ПОВЫШЕННОЙ
МОЩНОСТИ.

Егоров А.П. геофизик, «ГеоЭкспертКонсалт», г. Усть-Каменегорск, Республика Казахстан
Горкин Д.С., н.с. ИЗМИРАН, Троицк
Аверин А.А., н.с. ИЗМИРАН, Троицк

Весной 2024г в Республике Казахстан, в окрестностях г. Семей были проведены глубинные георадарные работы. Дополнительно были проведены сравнительные тесты на эталонном участке по данным геологической карты на эффективность работы резистивно-нагруженных и жидких диполей. Вмещающие породы алевролиты и выход дайки порфиринов.

Сложность состояла в том, что на поверхности присутствовали солончаковые влажные глины с очень низким сопротивлением, как во многих областях РК, где контактная электроразведка работает с трудом.

Длина антенн диполей 20м, несущая частота 7,5МГц, мощность передатчика 72 000 000Вт, напряжение 60 000В. Георадарный комплекс «ЭХО СФЕРА».

Так же была проведена глубинная контактная электроразведка модификация электротомография. Генератор ВП 1000м, на больших токах.

Литература:

1. Горкин Д.С., Сахтеров В.И. «Жидкостная антенна георадара». Патент на полезную модель № RU 225504 U1, зарегистрирован в Госреестре 23.04.2024г. EDN: WMAMJI
2. Аверин А.А., Горкин Д.С., Варенков В.В., Сахтеров В.И. Увеличение глубины зондирования импульсного георадара путем снижения импеданса антенны // Электромагнитные волны и электронные системы. 2024 Т. 29. №3 С.49-58 EDN: VQOAIQ DOI: <https://doi.org/10.18127/j5604128-202403-06>
3. Варенков В.В., Горкин Д.С., Смирнов Д.А., Сахтерова Т.В., Сахтеров В.И. Результаты экспериментов с георадаром «Сфера» // Электромагнитные волны и электронные системы. 2024. Т. 29. № 5. С. 66–70. EDN: UJVGKQ DOI: <https://doi.org/10.18127/j15604128-202405-10>

УДК: 621.3.091.22

**ОЦЕНКА МЕТОДОВ РАСЧЕТА ГЛУБИННОСТИ ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННЫХ
(ГЕОРАДАРНЫХ) ИЗМЕРЕНИЙ.**

Горкин Д.С. ИЗМИРАН.

Для предварительных расчетов глубинности георадиолокационных измерений, а так же сходимости с реальными данными которые отражаются в отчете требуется оценить глубинный потенциал прибора. Для этого оператору необходима методика и формула по которой он делает оценку глубины георадиолокационного измерения.

Методики оценки глубинности отличаются между собой по способу расчетов и соответственно сходимость данных по глубине георадиолокации отличается в разы.

Заказчик при сдаче отчета опирается на один из трех понятных ему способов, что не всегда верно. Требуется разобраться какие методики хорошо соответствуют фактическим данным измерений накопленных за последние 25 лет.

Литература:

1. Попов А.В., Прокопович И.В., Едемский Д.Е., Морозов П.А., Беркут А.И., Меркулов С.В. Глубинный георадар: принципы и применение //Электромагнитные волны и электронные системы, т. 23, № 4 с. 28-36, 2018
2. Волкомирская Л.Б., Гулевич О.А., Ляхов Г.А., Резников А.Е. Георадиолокация больших глубин // Журнал радиоэлектроники. 2019. № 4.
3. Волкомирская Л.Б., Гулевич О.А., Варенков В.В., Резников А.Е., Сахтеров В.И.. Современные георадары серии «ПРОТ» для экологического мониторинга // Экологические системы и приборы №5 2012г., С.3-5 EDN: [SJWFDH](#)
4. Владов М.Л., Судакова М.С. Георадиолокация: от физических основ до перспективных направлений. М.: ГЕОС, 2017. - 240 с.

ЭКСПЕДИЦИЯ НА ОСТРОВ МАТУА

Аверин А.А. , н.с.

ИЗМИРАН г. Троицк, a_averin@mail.ru

(стендовый доклад)

Русское Географическое общество в течении нескольких последних лет проводит экспедиции в различные регионы России по местам боевых действий. Ранее были проведены экспедиции на острова Балтийского моря, где были проведены плодотворные геофизические исследования. В районе Курильской гряды также проводились исследовательские экспедиции, результаты докладывались на конференциях и публиковались в открытой печати.

В июле 2024г. была проведена очередная экспедиция Русского Географического общества совместно с экспедиционным корпусом министерства обороны «Восточный бастион-Курильская гряда». Нами проводились геофизические исследования методом подповерхностной георадиолокации. С помощью георадара «Лоза-В», было обследовано несколько участков на о.Матуа.

Целью обследования было обнаружение японских подземных коммуникаций военного назначения оставшихся после второй мировой войны. На одном из участков под землей, были обнаружены пустоты, предположительно два подземных бункера, на глубине примерно 10 и 5м. получилось пробраться благодаря помощи техники и последующей раскопки проведенной поисковиками волонтерами.

Литература:

1. Едемский Д.Е., Попов А.В., Прокопович И.В., Дегтерев А.В., Рыбин А.В. Опыт георадиолокационного зондирования почвенно-пирокластического чехла юго-восточной части о. Матуа (Курильские острова) «Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле» № 4, Вып. 40, с. 69-81, 2018. DOI: 10.31431/1816-5524-2018-4-40-69-81.
2. Едемский Д.Е., Прокопович И.В. Георадиолокационное обследование геолого-геоморфологического строения берегов залива Касатка, остров Итуруп. Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2020. – № 5. – С. 24-32. – DOI: 10.17513/mjprfi.13063.

Список участников и организаций участвовавших в конференции РГР-2025

Аверин Александр Анатольевич	ИЗМИРАН, РГО, Москва
Антипов Вадим Валерьевич	ИЗМИРАН, Москва
Богати Сергей Роландович	Общевойсковая академия им. М.В. Фрунзе, Москва
Варенков Владимир Викторович	ИЗМИРАН, Москва
Горкин Дмитрий Сергеевич	ИЗМИРАН, Москва
Горкин Дмитрий Сергеевич	ИЗМИРАН
Егоров Антон Петрович	ТОО "ГеоЭкспертКонсалт", Алма-Ата, Казахстан
Едемский Дмитрий Евгеньевич	ИЗМИРАН, Москва
Иванов Андрей Александрович	РГГРУ им.С.Орджоникидзе, Москва
Ивашов Сергей Иванович	Лаборатория дистанционного зондирования, Москва
Иегова Ноге́йра Жуниор,	Instituto de Geociências da University of Sro Paulo
Иляхин Сергей Васильевич	РГГРУ им.С.Орджоникидзе, Москва
Ким Валерий Юрьевич	ИЗМИРАН, Москва
Корнилов Борис Анатольевич	НТК «Диоген»
Котонаева Надежда Геннадьевна	ИПГ им. академика Е.К. Федорова, Москва
Морозов Павел Анатольевич	ИЗМИРАН, ВНИИСМИ, Москва
Морозов Федор Павлович	ВНИИСМИ, Москва
Нгуен Ван Кыонг	МТУСИ, Москва
Николаев Алексей Владимирович	МТУСИ, ИМАШ РАН, Москва
Пивторак Александр Анатольевич	Deep GPR Research Company, Санкт-Петербург
Полиматиди Валерий Панаеович	ИЗМИРАН, Москва
Попов Алексей Владимирович	ИЗМИРАН, Москва
Прокопович Игорь Валерьевич	ИЗМИРАН, МИРЭА, Москва
Романов Виктор Валерьевич,	РГГРУ им.С.Орджоникидзе, Москва
Рычков Андрей Владимирович	Общевойсковая академия им. М.В. Фрунзе, Москва
Савватеев Ярослав Викторович	ИФЗ РАН им.О.Ю.Шмидта, Москва
Сахтеров Владимир Иванович	ИПГ им. академика Е.К. Федорова, ООО «НПО РГР»
Сахтерова Татьяна Викторовна	ИЗМИРАН, Москва
Смирнов Дмитрий Андреевич	ИЗМИРАН, Москва
Фам Дык Хи	МТУСИ, Москва
Фернандо Аугусто Сарайва	Instituto de Geociências da University of Sro Paulo
Цибуля Константин Григорьевич,	ИПГ им. академика Е.К. Федорова, Москва
Шубин Валентин Николаевич	ИЗМИРАН, Москва
Щербаков Григорий Николаевич	Общевойсковая академия им. М.В. Фрунзе, Москва
Щирий Андрей Олегович	ИЗМИРАН, Москва