

Научная статья
УДК 550.837.76
DOI: <https://doi.org/10.18127/j5604128-202405-11>

Способ сравнения параметров георадаров

А.А. Аверин¹, В.В. Антипов², Д.С. Горкин³

^{1–3} Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН
(Москва, г. Троицк, Россия)

¹ averin@izmiran.ru, ² vadim.v.antipov@gmail.com, ³ gorkin@izmiran.ru

Аннотация

Постановка проблемы. В настоящее время на рынке приборов подповерхностного зондирования широко представлены георадары различных производителей, выпускающих как классические стробоскопические георадары, так и глубинные импульсные георадары. И если для инженерных изысканий преимущество по пространственному разрешению размеров объектов принадлежит классическим георадарам, то при проведении геологических исследований начинают преобладать импульсные георадары, достигая глубин зондирования нескольких сотен метров, теряя при этом пространственное разрешение объектов и геологических слоев. Для сравнения результатов измерения георадаров различных типов было предложено использовать пологий понижающийся берег пресного водоема, переходящий в дно.

Цель. Провести сравнение характеристик георадаров разных изготовителей при сравнительном профилировании дна западного побережья озера Байкал в зимнее время. Глубина зондирования фиксировалась по пропаданию отраженного сигнала от границы дна и донных отложений.

Результаты. Проведены профилирования одного донного участка вблизи западного берега озера Байкал в районе населенного пункта Листвянка Иркутской области по льду несколькими георадарами с разными амплитудами излучаемого сигнала. Проведенные эксперименты показали правильность предположения о возможности измерения реальной глубины зондирования георадаров по отражению от пологого дна пресного водоема. В зависимости от излучаемой мощности фиксировался принимаемый сигнал разных амплитуд, но дно у западного побережья озера Байкал на данном участке из пологого довольно быстро переходит в круто падающий спуск с углом к горизонту до 70 градусов, вследствие чего возникает критический угол отражения излученного сигнала, и независимо от излученной мощности отраженный сигнал не фиксируется, уходит за пределы зоны измерения.

Практическая значимость. Предложенный способ позволяет произвести сравнительные измерения георадаров с учетом положения дна и диаграммы направленности антенно-фидерных устройств.

Ключевые слова

Георадар, резистивно-нагруженные антенны, подповерхностное зондирование, Питон, Лоза, Грот, Сфера

Исследование выполнено при финансовой поддержке грантом РНФ № 22-12-00083.

Благодарности

Выражаем благодарность ООО «Интерраскан» и лично Нурбулату Амангельдиевичу Дуйсиналиеву за помощь в проведении экспедиции на озеро Байкал.

Для цитирования

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. DOI: <https://doi.org/10.18127/j15604128-202405-11>

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

В настоящее время на рынке геофизического оборудования для подповерхностного зондирования широко представлены георадары разных изготовителей [1–3]. Для инженерных, археологических и других исследований первого десятка метров грунта в основном используются классические георадары с записью принимаемого сигнала на основе стробоскопического осциллографа. Для них характерна высокая частота излучения импульса, обычно от 20 до 200 кГц, при этом амплитуда излучаемого импульса не превышает 600 В. У глубинных импульсных георадаров с использованием аналого-цифровых преобразователей порядка 1 ГГц таких ограничений по амплитуде излученного сигнала нет, сверхширокополосные (СШП) сигналы излучаются с частотой от единиц до нескольких сотен Гц. Между пользователями идет активный научный спор о возможной глубине зондирования и максимальном пространственном разрешении для обнаружения небольших объектов.

Ц е л ь р а б о т ы – разработать и проверить метод сравнения характеристик георадаров разных производителей с возможностью объективного контроля в одинаковых условиях.

© Аверин А.А., Антипов В.В., Горкин Д.С., 2024

Материалы и методы исследования

Во время дискуссий на конференциях по подповерхностному зондированию радиофизиком к.ф.-м.н. В.В. Копейкиным было предложено производить сравнение характеристик георадаров на пресном водоеме с пологим снижением дна. В этом случае получаются одинаковые условия исследования для любого георадара на любом доступном водоеме в зимнее время. Для приборов с высокочастотными антеннами можно исследовать их характеристики и в летнее время с резиновых лодок. В феврале 2024 г. была организована экспедиция на озеро Байкал в пос. Листвянка, расположенный на западном берегу озера. На рис. 1 представлена радарограмма георадара «Питон», максимальная глубина зондирования составила порядка 11 м, в левой части представлен профиль, справа – волновая форма отраженного сигнала после обработки.

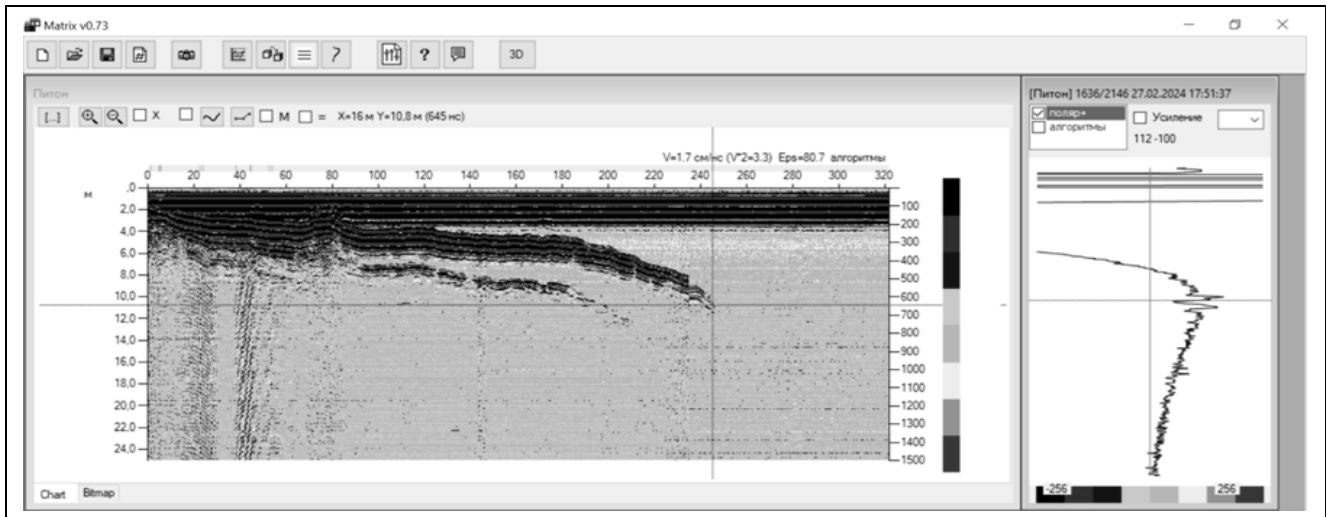


Рис. 1. Радарограмма с функцией сигнала по основному профилю, георадар Питон, антенны 3 м, передатчик 0,6 кВ
Fig. 1. Radargram with signal function along the main profile, GPR Python, 3 m antennas, 0.6 kV transmitter

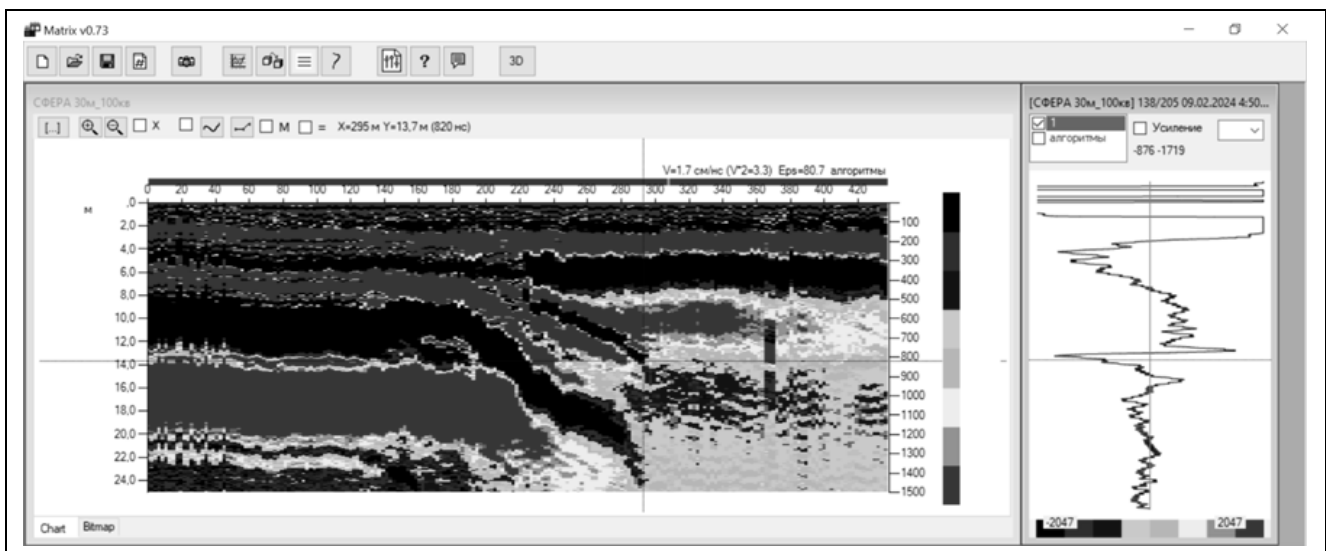


Рис. 2. Радарограмма с функцией сигнала по основному профилю, георадар СФЕРА, антенны 30 м, передатчик 100 кВ
Fig. 2. Radargram with signal function along the main profile, SPHERE ground penetrating radar, 30 m antennas, 100 kV transmitter

На данном участке были проведены измерения георадарами «Питон», «Лоза», «Грот» и «Сфера» с антеннами длиной от 3 до 30 м и амплитудами излучаемого СШП импульса 0,6; 5, 16, 50 и 100 кВ [4]. Отраженный сигнал получен от границы дна с глубины 14 м, хотя, как видно на рис. 2, на пологой части дна озера в скальном грунте есть отражение сигнала и с больших глубин.

Обсуждение полученных результатов

Проведенный анализ показал, что выбранное место для исследований имеет недостатки, дно озера в районе пропадания отражения сигнала из пологого становится круто падающим, до 70 градусов к уровню горизонта. Вследствие этого возникает превышение критического угла отражения с полным пропаданием сигнала в сторону приемной антенны. Нужно учитывать специфику работы георадаров, прием сигнала начинается одновременно с излучением СШП импульса, используются сигналы в процессе формирования диаграммы направленности, в переходной зоне и от сформированной диаграммы направленности антенны. В начале используются сигналы от бокового излучения СШП импульса в процессе формирования диаграммы направленности (рис. 3,а), далее происходит переходное изменение распределения поля и на расстоянии более 5 длин волн – работает уже сформированная диаграмма направленности антенны (рис. 3,б). Были проведены эксперименты в различных комбинациях: антенны разных длин, передатчики с амплитудами выходного импульса от 5 до 100 кВ. Способ формирования высоковольтных СШП импульсов (свыше 30 кВ) приведен в патенте [5]. Расположение антенн применялось как параллельно, так и последовательно.

Большого отличия результатов измерения различными типами георадаров в данном участке озера Байкал не выявлено, что связано с особенностями профиля дна в месте георадиолокации. Пропадание отраженного сигнала происходит на глубинах от 12 до 14 м, в районе перехода дна от пологого к круто падающему. Планируется экспедиция на восточный берег озера Байкал или другие пресноводные водоемы для отработки способа сравнения характеристик различных приборов подповерхностного зондирования. Обработка полученных данных производилась в программе MATRIX, с использованием оригинальных методов фильтрации сигналов и методов обработки [6].

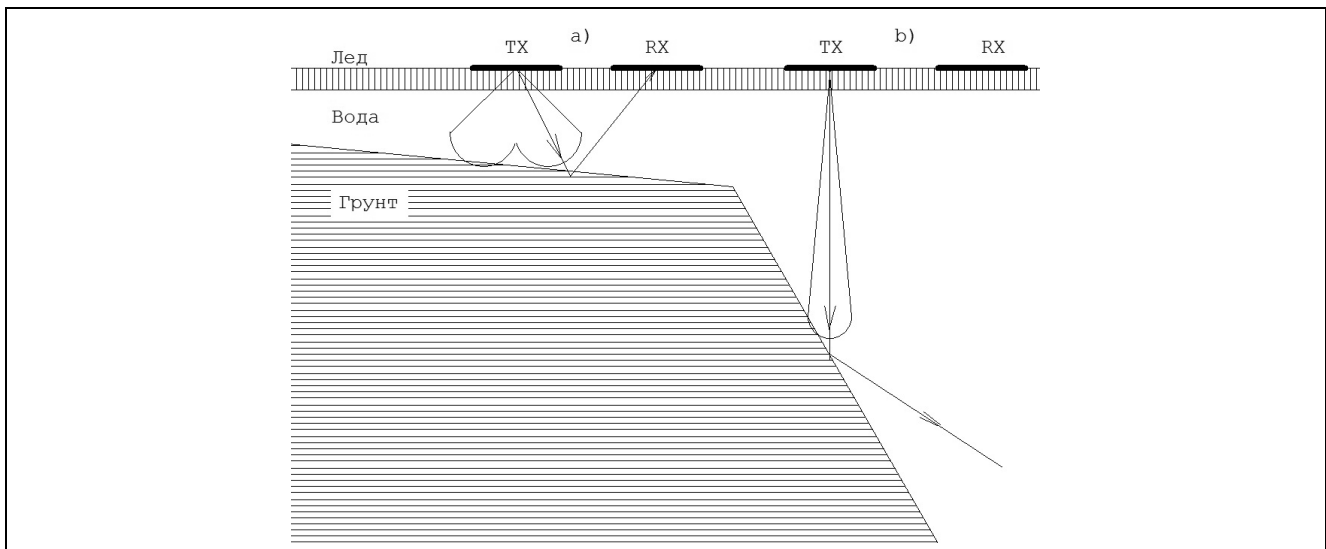


Рис. 3. Модель радиолокационного зондирования круто падающего дна, геометрия падения и отражения электромагнитной волны в лучевом векторном отображении

Fig. 3. Model of GPR profiling of a steeply falling bottom, geometry of incidence and reflection of electromagnetic waves in a ray vector display

Заключение

Предложенный способ позволяет произвести сравнение характеристик георадаров различных типов при отражении сигнала от четкой контролируемой границы сред между водой и дном пресноводного водоема. Как показали эксперименты, данный способ можно использовать до появления критического угла отражения. Можно предположить, что такой критический угол отражения может встречаться и в твердых средах. Такой эффект наблюдается при наличии вертикальных трещин в средах из кварцевых пород: довольно часто они не отражаются на радарограммах. Даже при их зрительном наблюдении бывает, что на радарограмме нет отражений. Для обнаружения подобных трещин необходимо изменить угол профилирования объекта. Исследования на водоемах, подобные описанным в статье, можно применять для определения временных задержек георадара и его калибровки.

Список источников

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. 2018. Т. 23. № 4. С. 28–36.
2. Волкомирская Л.Б., Гулевич О.А., Варенков В.В., Резников А.Е., Сахтеров В.И. Современные георадары серии «ГРОТ» для экологического мониторинга // Экологические системы и приборы. 2012. № 5. С. 3–5.
<http://www.geoscanners.com>
3. 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. № 3. С. 49–58 DOI: <https://doi.org/10.18127/j5604128-202403-06>
4. Горкин Д.С., Сахтеров В.И. Передатчик георадара. Патент на полезную модель № RU219610U1, зарегистрирован в Госреестре 27.07.2023 г.
5. Горкин Д.С., Варенков В.В. Программа для ЭВМ: MATRIX. Номер регистрации (свидетельства): RU2023663673 от 27.06.2023.

Информация об авторах

Александр Анатольевич Аверин – мл. научный сотрудник

SPIN-код: 1995-8814

Вадим Валерьевич Антипов – к.т.н., вед. инженер

SPIN-код: 1685-6542

Дмитрий Сергеевич Горкин – научный сотрудник

SPIN-код: 5641-7300

Статья поступила в редакцию 03.09.2024

Одобрена после рецензирования 09.09.2024

Принята к публикации 20.09.2024

Журнал «Нанотехнологии: разработка, применение – XXI век»

Главный редактор: доктор технических наук, профессор Александр Григорьевич Гудков

Международный научно-технический журнал «Нанотехнологии: разработка, применение - XXI век»



Включен в Перечень ВАК

Издается с 2009 г.

ISSN: 2225-0980

Периодичность: 4 выпуска в год

«Пресса России» — индекс: 32633

Научные специальности ВАК:

- 1.3.4. Радиофизика
- 1.3.11. Физика полупроводников
- 1.5.2. Биофизика
- 1.5.4. Биохимия
- 2.2.2. Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств
- 2.2.9. Проектирование и технология приборостроения и радиоэлектронной аппаратуры
- 2.2.13. Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения
- 2.2.14. Антенны, СВЧ-устройства и их технологии

Подписаться на журналы, выпускаемые Издательством «Радиотехника» (см. 4-ю сторону обложки), можно с любого месяца и на любой срок непосредственно в Издательстве.

Адрес Издательства:

107031, г. Москва, К-31, Кузнецкий мост, д. 20/6,

тел./факс: (495) 625-78-72, 621-48-37, 625-92-41

<http://www.radiotec.ru>, e-mail: info@radiotec.ru

A method for comparing the parameters of GPR

A.A. Averin¹, V.V. Antipov², D.S. Gorkin³

^{1–3} Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation (Moscow, Troitsk, Russia)

¹ averin@izmiran.ru, ² vadim.v.antipov@gmail.com, ³ gorkin@izmiran.ru

Abstract

Currently, the market of subsurface sounding devices is widely represented by ground penetrating radars of various manufacturers, producing both classic stroboscopic ground penetrating radars and deep pulse ground penetrating radars. And if for engineering surveys the advantage in resolving the size of objects belongs to classic ground penetrating radars, then during geological studies pulse ground penetrating radars begin to prevail, reaching depths of several hundred meters, naturally, the spatial resolution of objects and geological layers decreases. To compare the results of ground penetrating radar measurements, it was proposed to use a gently sloping bank of a freshwater reservoir. Profiling of one section of the western shore of Lake Baikal near the settlement of Listvyanka in the Irkutsk region on ice was carried out using several ground penetrating radars from different manufacturers with supplied standard antennas and transmitters. The "Sphere" ground penetrating radar was used with experimental transmitters with different amplitudes of the emitted signal from 5 to 100 kV. The length of resistively loaded dipole antennas was from 2 to 30 meters. Additionally, an experiment was conducted with multi-vibrator resistively loaded dipole antennas, the experiment showed an increase in the amplitude of the received signal by 10 dB. Profiling was performed with antennas located in parallel, measurements were also taken with antennas located in series, the transmitter in front, the receiver behind, the distance between the antennas is equal to the length of one vibrator. A comparison of the obtained results of the characteristics of georadars from different manufacturers was made. The probing depth was recorded by the disappearance of the reflected signal from the boundary of the bottom and bottom sediments. The experiments showed the correctness of the assumption about the possibility of measuring the real probing depth of georadars by reflection from the flat bottom of a freshwater body. Depending on the emitted power, the received signal of different amplitudes was recorded, but the western shore of Lake Baikal in this area from a gentle slope rather quickly turns into a steep slope with an angle to the horizon of up to 70 degrees, as a result of which a critical angle of reflection of the emitted signal occurs at a bottom depth of about 12–14 meters, and regardless of the emitted power, the reflected signal is absent. Note that on the radargram of a gentle bottom, signal reflections are visible from layers significantly lower than 20 meters.

Keywords

Georadar, resistively loaded antennas, subsurface sensing, Loza, Grot, Sphere

For citation

Averin A.A., Antipov V.V., Gorkin D.S. A method for comparing the parameters of GPR. *Electromagnetic waves and electronic systems*. 2024. V. 29. № 5. P. 71–75. DOI: <https://doi.org/10.18127/j15604128-202405-11> (in Russian)

References

1. Popov A.V., Prokopovich I.V., Edemskij D.E., Morozov P.A., Berkut A.I., Merkulov S.V. Glubinnyj georadar: principy i primeneniye. *Elektromagnitnye volny i elektronnyye sistemy*. 2018. T. 23. № 4. S. 28–36.
2. Volkovskaya L.B., Gulevich O.A., Varenkov V.V., Reznikov A.E., Sahterov V.I. Sovremennyye georadary serii «GROT» dlya ekologicheskogo monitoringa. *Ekologicheskie sistemy i pribory*. 2012. № 5. S. 3–5.
3. <http://www.geoscanners.com>
4. Averin A.A., Gorkin D.S., Varenkov V.V., Sahterov V.I. Uvelicheniye glubiny zondirovaniya impul'snogo georadara putem snizheniya impedansa anteny. *Elektromagnitnye volny i elektronnyye sistemy*. 2024. № 3. S. 49–58. DOI: <https://doi.org/10.18127/j15604128-202403-06>
5. Gorkin D.S., Sahterov V.I. Peredatchik georadara. Patent na poleznuyu model' № RU219610U1, zaregistrirovannyy v Gosreestre 27.07.2023 g.
6. Gorkin D.S., Varenkov V.V. Programma dlya EVM: MATRIX. Nomer registratsii (svidetel'stva): RU2023663673 ot 27.06.2023.

Information about the authors

Alexander A. Averin – Junior Research Scientist

Vadim V. Antipov – Ph.D. (Eng.), Senior Engineer

Dmitry S. Gorkin – Research Scientist

The article was submitted 03.09.2024

Approved after reviewing 09.09.2024

Accepted for publication 20.09.2024