

Научная статья  
УДК 550.837.76  
DOI: <https://doi.org/10.18127/j5604128-202405-10>

## Результаты экспериментов с георадаром «Сфера»

**В.В. Варенков<sup>1</sup>, Д.С. Горкин<sup>2</sup>, Д.А. Смирнов<sup>3</sup>, Т.В. Сахтерова<sup>4</sup>, В.И. Сахтеров<sup>5</sup>**

<sup>1-5</sup> Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН (Москва, г. Троицк, Россия)

<sup>1</sup> varenkov@mail.ru; <sup>2</sup> gorkin@izmiran.ru; <sup>3</sup> diman.smirny@yandex.ru; <sup>4</sup> sachter\_t@mail.ru; <sup>5</sup> sakhterov@mail.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. Одной из причин ограниченного распространения приборов является высокая стоимость профессионального геофизического оборудования. Группой сотрудников ИЗМИРАН разработан и проходит испытания георадар «Сфера» на основе приставки USB-осциллографа, предназначенный для поисковых работ начинающими специалистами, студентами и другими заинтересованными лицами. Георадар позволяет получить данные подповерхностной радиолокации, может использоваться для различных изысканий.

**Цель.** Представить результаты экспериментальных измерений георадара «Сфера». Данный георадар использовался при сравнительном профилировании дна Байкала вблизи западного берега озера в зимнее время. Также применялся в качестве регистратора при экспериментах с различными типами антенн.

**Результаты.** Проведены ряд экспериментов с различными антеннами и передатчиками с использованием георадара «Сфера». Представлены результаты экспериментов с многовибраторными резистивно-нагруженными дипольными антеннами, позволяющими повысить динамический потенциал и глубину измерений георадаров. Георадар использовался для профилирования участка дна вблизи западного берега озера Байкал в районе населенного пункта Листвянка Иркутской области по льду, для работ по сравнению характеристик различных радаров.

**Практическая значимость.** При всей своей простоте по сравнению с профессиональными георадарами представленный георадар «Сфера» позволяет проводить первоначальное ознакомление студентами учебных заведений с технологией глубинной георадиолокации и последующим широким внедрением в геофизических исследованиях.

### Ключевые слова

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

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

### Благодарности

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

### Для цитирования

*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. DOI: <https://doi.org/10.18127/j15604128-202405-10>

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

### Введение

На рынке геофизических приборов широко представлены приборы подповерхностного зондирования различных производителей, выполняющие широкий спектр задач. Есть классические малоглубинные георадары на основе стробоскопического осциллографа типа «Око», также присутствуют глубинные импульсные георадары типа «Грот» и «Лоза» [1, 2]. При всех достоинствах приведенные приборы имеют высокую стоимость, что ограничивает, к примеру, использование их при обучении в учебных организациях.

**Ц е л ь р а б о т ы** – представить результаты экспериментов с использованием георадара «Сфера» в исследованиях при разработке более сложной аппаратуры и при проведении геофизических работ.

### Материалы и методы

Представлен экспериментальный поисковый георадар, предназначенный для выполнения ряда инженерных, поисковых и других работ в благоприятное время года, обладающий всеми характеристиками выше приведенных георадаров, кроме всепогодного применения, но при меньшей стоимости. Эксперименты

© Варенков В.В., Горкин Д.С., Смирнов Д.А., Сахтерова Т.В., Сахтеров В.И., 2024

проводятся на трёх экземплярах. Работы направлены на устранение технических недостатков и усовершенствование программного обеспечения.

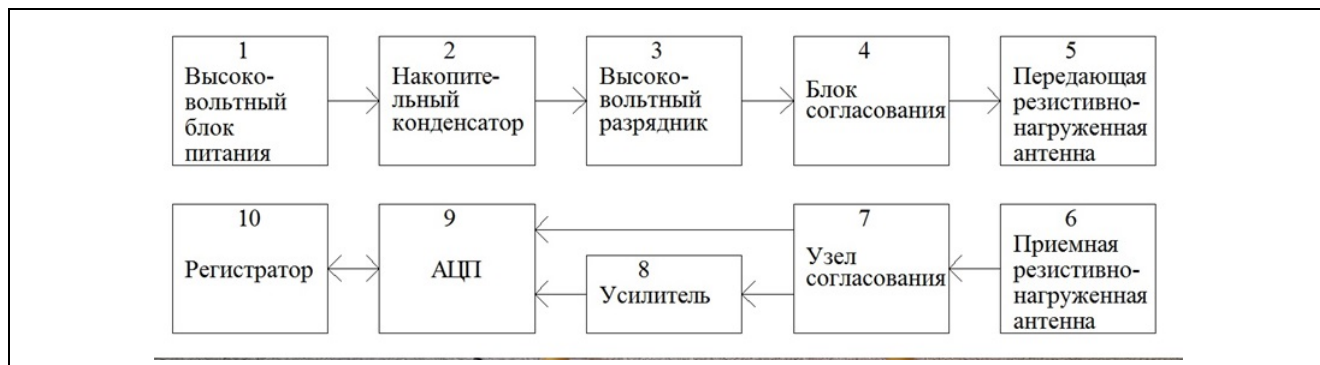


Рис. 1. Структурная схема георадара «Сфера»  
 Fig. 1. Block diagram of the “Sphere” GPR

Георадар «Сфера» реализован на базе высокочастотного многоканального USB осциллографа с частотой дискретизации 1 нс [3]. Структурная схема приведена на рис. 1. При проведении измерений используется передатчик с газонаполненным высоковольтным разрядником. Амплитуда сверхширокополосного (СШП) сигнала находится в диапазоне от 5 до 100 кВ. Для увеличения амплитуды используется последовательное включение разрядника [4].

В зависимости от выполняемой задачи для регистрации в приёмнике используются один или два канала. Для инженерных работ используется один канал с частотой дискретизации 1 нс, для геологических работ включаются два канала с разными усилениями с частотой дискретизации 2 нс или ниже. Такой способ позволяет ускорить процесс профилирования и повысить информативность полученных результатов. Данные одного канала при некотором включенном уровне ослабления показывают сигнал без ограничений, но меньшей глубины, второй канал, включенный без ослабления, показывает сигнал с максимальной глубиной, но верхние слои показываются с ограничениями сигнала. Также возможно программное управление длиной буфера до 64 тысяч отсчетов, что позволяет управлять временем записи одной точки. Для разных задач используется необходимое количество отсчетов и необходимое количество точек при профилировании.

Внешний вид георадара «Сфера» показан на рис. 2. Приведено стандартное расположение на универсальной рамке, позволяющей изменять расстояние между передатчиком и приемником от 0,6 до 2 м.

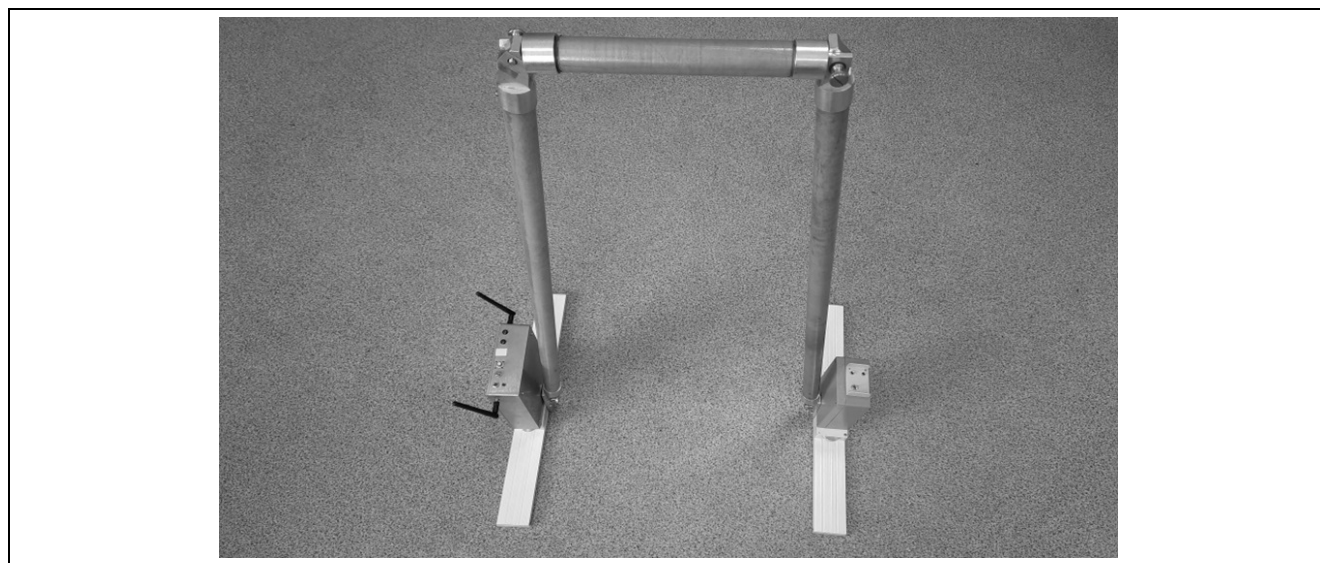


Рис. 2. Внешний вид георадара «Сфера»  
 Fig. 2. Photo of the «Sphere» GPR

На рис. 2 справа расположен передатчик с выходной амплитудой СШП сигнала 16 кВ. Длительность излучаемого импульса формируется длиной антенны. На этом рисунке приведены экспериментальные многовибраторные антенны, которые обладают повышенным усилением. Проведенные эксперименты показали, что усиление некоторых экземпляров антенн выше стандартных на 10 дБ. [5].

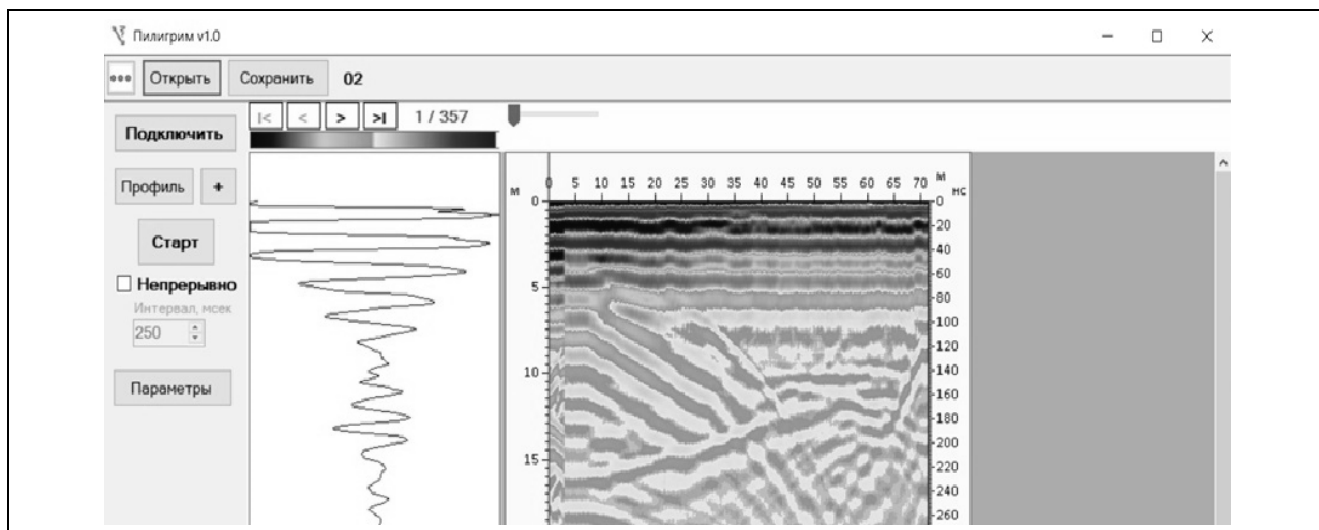


Рис. 3. Вид интерфейса программы управления «Пилигрим»  
 Fig. 3. Control software «Pilgrim»

Управление георадаром «Сфера» производится дистанционно по сети Wi-Fi с ноутбука, разрабатывается программа для смартфона. Установка параметров, управление процессом георадиолокации и сохранение полученных данных производится через программу «Пилигрим», внешний вид которой представлен на рис. 3: слева радарограмма в волновой форме, справа – профиль радарограммы.

### Заключение

На рис. 4 приведена одна радарограмма подповерхностной георадиолокации дна озера Байкал вблизи берега возле пос. Листвянка в феврале 2024 г., георадар «Сфера» с передатчиком с амплитудой СШП импульса подводимого к антенне 16 кВ, длина антенн 3 м. Проведенные экспериментальные работы были признаны удовлетворительными.

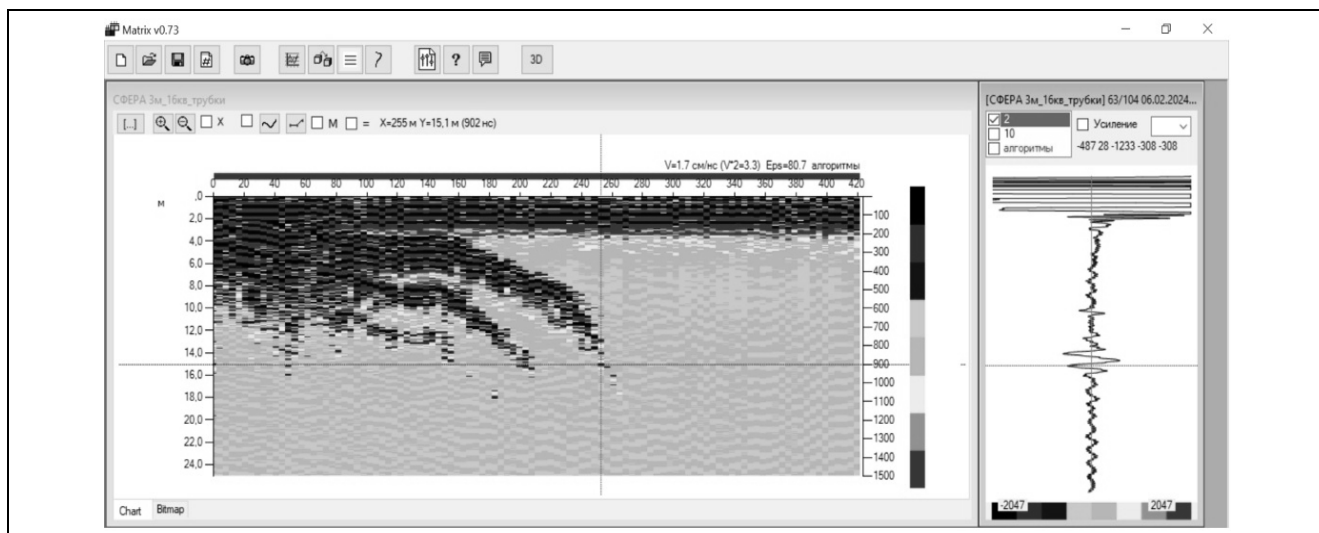


Рис. 4. Результат обработки данных георадара «Сфера» в программе MATRIX, радарограмма зондирования дна оз. Байкал около устья р. Ангара  
 Fig. 4. The result of data processing of the Sphere GPR in the MATRIX software – a radarogram of sounding the bottom of the lake. Baikal near the mouth of the Angara river

## Список источников

1. 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.
2. Попов А.В., Прокопович И.В., Едемский Д.Е., Морозов П.А., Беркут А.И. Глубинный георадар: принципы и применение // Электромагнитные волны и электронные системы. 2018. Т. 23. № 4. С. 28–36.
3. Горкин Д.С., Варенков В.В., Сахтеров В.И. Георадар для радиолокационного зондирования подстилающей поверхности. Патент на полезную модель RU218691U1, зарегистрирован в Госреестре 06.06.2023 г.
4. Горкин Д.С., Сахтеров В.И. Передатчик георадара. Патент на полезную модель № RU219610U1, зарегистрирован в Госреестре 27.07.2023 г.
5. 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.

## Информация об авторах

**Владимир Викторович Варенков** – научный сотрудник

SPIN-код: 6186-9270

**Дмитрий Сергеевич Горкин** – научный сотрудник

SPIN-код: 5641-7300

**Дмитрий Андреевич Смирнов** – инженер

SPIN-код: не представлен

**Татьяна Викторовна Сахтерова** – инженер

SPIN-код: не представлен

**Владимир Иванович Сахтеров** – к.ф.-м.н., ст. научный сотрудник

SPIN-код: 7559-8325

Статья поступила в редакцию 29.08.2024

Одобрена после рецензирования 10.09.2024

Принята к публикации 20.09.2024

## ЖУРНАЛ «АНТЕННЫ»

Главный редактор: член-корреспондент РАН **Владимир Степанович Верб**

Международный научно-технический и теоретический журнал, в котором публикуются оригинальные и обзорные статьи по основным направлениям теории и техники антенн, фидерных устройств и электродинамики СВЧ.

Основан А.А. Пистолькорсом



**Включен в Перечень ВАК**

Издается с 1966 г.

ISSN 0320-9601

Периодичность – 6 номеров в год

«Пресса России» – индекс 83826

**Научные специальности ВАК**

- 1.3.4. Радиофизика
- 2.2.13. Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения
- 2.2.14. Антенны, СВЧ-устройства и их технологии
- 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций
- 2.2.16. Радиолокация и радионавигация
- 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации

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](mailto:info@radiotec.ru)

Original article

# The results of experiments with the GPR «Sphere»

V.V. Varenkov<sup>1</sup>, D.S. Gorkin<sup>2</sup>, A.D. Smirnov<sup>3</sup>, T.V. Sahterova<sup>4</sup>, V.I. Sahterov<sup>5</sup>

<sup>1-5</sup> Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation Russian Academy of Sciences (IZMIRAN) (Moscow, Troitsk, Russia)

<sup>1</sup> varenkov@mail.ru; <sup>2</sup> gorkin@izmiran.ru; <sup>3</sup> diman.smirny@yandex.ru; <sup>4</sup> sachter\_t@mail.ru; <sup>5</sup> sakhterov@mail.ru

## Abstract

Currently, the market of subsurface probing devices widely presents ground penetrating radars of various manufacturers, there are classic stroboscopic ground penetrating radars, there are deep pulse ground penetrating radars [1, 2]. One of the reasons for the limited distribution of ground penetrating radars is the high cost of professional geophysical equipment. A group of IZMIRAN employees has developed and is testing the Sphere ground penetrating radar based on a USB oscilloscope attachment [3]. It is intended for prospecting work by novice specialists, students and other interested persons. The ground penetrating radar allows obtaining subsurface radar data and can be used for various surveys. The results of experimental measurements of the Sfera ground penetrating radar are presented. It was also used as a recorder in experiments with a transmitter with pulse amplitudes from 5 to 100 kV, with various types of antennas [4]. A number of experiments were conducted with various antennas using the Sphere ground penetrating radar receiver as a recorder. The results of experiments with multi-vibrator resistively loaded dipole antennas are presented, allowing to increase the dynamic potential and depth of measurements of ground penetrating radars [5]. It was also used for profiling one section of the western shore of Lake Baikal in the area of the Listvyanka near the Irkutsk region on ice, for works on comparison of characteristics of different radars. Inferior in reliability in comparison with professional ground penetrating radars, the ground penetrating radar "Sphere" allows to conduct initial familiarization with the technology of deep ground penetrating radar. It is intended for students of educational institutions for familiarization and subsequent wide implementation for use of geophysical research.

## Keywords

Ground Penetrating Radar, GPR, subsurface probing, resistive-loaded antennas, Loza, Grot. Sphere

## For citation

Varenkov V.V., Gorkin D.S., Smirnov A.D., Sahterova T.V., Sahterov V.I. The results of experiments with the GPR «Sphere». Electromagnetic waves and electronic systems. 2024. V. 29. № 5. P. 66–70. DOI: <https://doi.org/10.18127/j15604128-202405-10> (in Russian)

## References

1. Volkomirskaya L.B., Gulevich O.A., Varenkov V.V., Reznikov A.E., Saxterov V.I. Sovremenny`e georadary` serii «GROT» dlya e`kologicheskogo monitoring. E`kologicheskie sistemy` i pribory`. 2012. № 5. S. 3–5.
2. Popov A.V., Prokopovich I.V., Edemskij D.E., Morozov P.A., Berkut A.I. Glubinnyy`j georadar: principy` i primeneniye. E`lektromagnitny`e volny` i e`lektronny`e sistemy`. 2018. T. 23. № 4. S. 28–36.
3. Gorkin D.S., Varenkov V.V., Saxterov V.I. Georadar dlya radiolokacionnogo zondirovaniya podstilayushhej poverxnosti. Patent na poleznuyu model` RU218691U1, zaregistrirovann v Gosreestre 06.06.2023 g.
4. Gorkin D.S., Saxterov V.I. Peredatchik georadara. Patent na poleznuyu model` № RU219610U1, zaregistrirovann v Gosreestre 27.07.2023 g.
5. Averin A.A., Gorkin D.S., Varenkov V.V., Saxterov V.I. Uvelicheniye glubiny` zondirovaniya impul`snogo georadara putem snizheniya impedansa anteny`. E`lektromagnitny`e volny` i e`lektronny`e sistemy`. 2024. № 3. S. 49–58.

## Information about the authors

**Vladimir V. Varenkov** – Research Scientist

**Dmitiy S. Gorkin** – Research Scientist

**Dmitiy A. Smirnov** – Engineer

**Tatiana V. Sahterova** – Engineer

**Vladimir I. Sahterov** – Ph.D. (Phys.-Math.), Senior Research Scientist

The article was submitted 29.08.2024

Approved after reviewing 10.09.2024

Accepted for publication 20.09.2024