

Информационные возможности георадиолокационного метода при обследовании строительных объектов

©2022 А. А. Аузин✉

*Воронежский государственный университет,
Университетская пл., 1, 394018, Воронеж, Российская Федерация*

Аннотация

Введение: Обследование строительных объектов (зданий и сооружений) имеет целью выяснение их конструктивных характеристик и технического состояния, что, в свою очередь, определяет возможность дальнейшей безаварийной эксплуатации данного объекта и его ремонтпригодность. Для погребенных в грунтах и скрытых от прямого изучения элементов зданий и сооружений, фактически единственным реальным источником данных об их конструктивных характеристиках являются результаты геофизических исследований. При этом одним из наиболее универсальных и эффективных инструментов получения подобной информации является георадиолокационное обследование.

Методика: В работе представлены материалы, которые были получены автором в процессе выполнения геофизических исследований, направленных на выяснение геометрических характеристик, внутреннего строения и технического состояния разнообразных строительных объектов. Необходимо отметить, что круг обследованных геофизическими методами объектов включает в себя не только собственно здания и сооружения (фундаменты, полы, стены и пр.), но и вмещающие и несущие эти объекты или их элементы грунты. В частности, в статье приводятся материалы изучения карстово-суффозионных и оползневых процессов. За рамки данной статьи вынесено рассмотрение результатов обследования мостовых сооружений. Эту проблему планируется рассмотреть в последующем.

Результаты и обсуждение: Приведенные данные свидетельствуют, что георадиолокационный метод весьма эффективен и универсален и позволяет решать широкий круг задач, связанных с обследованием строительных объектов и их элементов, как расположенных над поверхностью земли, так и погребенных в грунтах. Индуктивный способ возбуждения электромагнитных полей и измерения их параметров допускает проведение исследований не только в непосредственном контакте с изучаемым объектом, но и на существенном удалении от него, в том числе, и в ситуациях, когда объект скрыт под слоем воды, льда, асфальта и пр.

Заключение: Результаты исследований свидетельствуют о том, что георадиолокационный метод является одним из наиболее универсальных и эффективных средств изучения конструктивных характеристик и технического состояния строительных объектов и грунтовых массивов. Возможность выбора антенных блоков позволяет оптимизировать аппаратные решения под конкретные задачи и условия проведения исследований.

Ключевые слова: георадиолокационное обследование, инженерные сооружения, скрытые элементы конструкций.

Для цитирования: Аузин А. А. Информационные возможности георадиолокационного метода при обследовании строительных объектов // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология.* 2022. №2. С. 54–62. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology.2022.2/9279>



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

✉ Аузин Андрей Альбертович, e-mail: AAuzin@yandex.ru

Введение

Под обследованием строительного объекта (здания или сооружения) понимается проведение комплекса работ, выполняемых с целью определения его конструктивных параметров и технического состояния [1].

Необходимость обследования наиболее очевидна в случаях, когда данные о конструкции объекта частично или полностью отсутствуют или их достоверность сомнительна.

Для скрытых, в том числе, заглубленных в грунт элементов зданий и сооружений, которые недоступны для прямого визуального и инструментального изучения, выяснение их конструктивных параметров вызывает вполне очевидные трудности. Важнейшую роль при обследовании такого рода объектов играют геофизические методы, основными достоинствами которых являются [2, 3, 4, 5]:

– неразрушающее взаимодействие с исследуемой средой;

– возможность бесконтактного изучения геофизических полей, позволяющая проводить непрерывные профильные измерения на грунтовых, бетонных и асфальтовых поверхностях, с воды и льда, с летательных аппаратов (в том числе БПЛА) и пр.;

– принципиальная возможность повторения исследований тем же или иным набором геофизических методов при неизменности условий их проведения;

– относительная простота организации геофизического мониторинга, т.е. отслеживания изменений состояния геологической среды посредством постоянных или периодических измерений параметров геофизических полей;

– возможность организации дистанционных измерений, когда измерительные устройства находятся на значительном удалении от обследуемого объекта.

Многообразие геофизических методов, имеющих различные физические основы и принципы возбуждения и измерения физических полей, позволяет решать разноплановые и разномасштабные задачи, возникающие в процессе изучения самого широкого круга объектов.

С относительно недавнего времени, в комплексе исследований, выполняемых при проведении обследования, все более уверенные позиции занимает георадиолокация [2, 4, 5, 6, 7], которая, по сравнению со многими другими геофизическими методами, имеет ряд очевидных преимуществ:

– возможность работы в движении при непрерывной записи радарограмм;

– бесконтактные возбуждение и измерение параметров электромагнитного поля делают возможным обследование объектов, скрытых под асфальтом, бетоном, льдом и др.;

– возможность применения разночастотных антенных блоков позволяет в известной степени оптимизировать соотношение между детальностью исследований и их глубиной (дальностью действия);

– компактность аппаратуры георадиолокации, в том числе, возможность применения выносных экра-

нированных антенных блоков, допускает проведение работ в ограниченном пространстве в условиях внешних помех [2, 4].

Среди конкретных задач, возникающих в процессе обследования различных строительных объектов, при решении которых важную роль играет георадиолокация, можно выделить:

– определение конструктивных характеристик и технического состояния зданий и сооружений, в частности – выяснение характера армирования бетонных конструкций и выявление в них пустот, замоченных, разуплотненных и разрушенных участков и пр.;

– определение конструкции и оценка технического состояния фундаментов зданий и сооружений. При этом могут определяться основные характеристики фундаментов – их типы, размеры, глубины заложения и пр. В рамках указанной задачи отдельным пунктом необходимо отметить обследование фундаментов мостовых сооружений, в том числе скрытых, находящихся в грунте и (или) под слоем воды, частей их опор. В данном случае определяются типы фундаментов, количество и расположение свай, глубины их заложения, наличие и размеры ростверков и др.;

– обследование различных гидротехнических сооружений – дамб, плотин, прудов-накопителей, хвостохранилищ и отстойников. В рамках решения данной задачи осуществляются: выявление мест нарушения целостности противофильтрационных экранов, локализация зон фильтрации флюидов через тела дамб, мест их инфильтрации из отстойников и прудов-накопителей, определение внутренней структуры сооружений, картирование иловых отложений и батиметрия прудов-накопителей, хвостохранилищ и отстойников;

– изучение мест, где планируется складирование отходов производства – хвостохранилищ, отстойников и пр., на предмет наличия потенциально опасных в инженерно-геологическом плане процессов и явлений – карстово-суффозионных и оползневых, зон трещиноватости, разуплотнения, замачивания, проседания и пр.;

– изучение хвостохранилищ горнодобывающих и горно-обогатительных предприятий, являющихся фактическими или потенциальными источниками минерального сырья, на предмет оценки содержания в них полезных компонентов и их распределения в теле хвостохранилища, его внутренней структуры, влажности и пр.

Необходимо отметить, что обследование зданий и сооружений обычно сопровождается и изучением грунтов, причем, как непосредственно лежащих в основаниях фундаментов, так залегающих на примыкающих территориях. Исследования выполняются с целью выявления изменений свойств грунтов и развития деструктивных процессов, определения фактической несущей способности на момент исследований, а также обнаружения и изучения расположенных в их толще погребенных искусственных объектов. В этом случае среди основных задач обследования фигурируют:

- выявление и изучение карстово-суффозионных и оползневых проявлений, участков трещиноватости и переувлажнения;
- выявление и трассировка инородных объектов искусственного происхождения, погребенных в грунтах, в том числе – трубопроводов, подземных галерей, силовых кабелей, остатков строительных конструкций, старых дорог и пр.;
- выявление участков разреза с нарушениями естественного залегания грунтов, связанными с погребенными выемками, канавами, насыпями и пр.;
- определение границ распространения углеводородных загрязнений.

Задачи и результаты исследований

С целью иллюстрации возможностей георадиолокации рассмотрим результаты ее применения для решения некоторых конкретных задач, возникающих в процессе обследования строительных объектов. Георадиолокационные исследования были выполнены георадаром Зонд-12е с использованием антенных блоков, работающих на центральных частотах 1.5 ГГц, 900 МГц, 500 МГц, 150 МГц и 75 МГц. Первые

три антенных блока построены на основе контактных экранированных приемных и передающих антенн, а в двух последних используются открытые дипольные антенны.

Обследование полов и стен зданий

На рис. 1 и 2 представлены результаты обследования бетонных полов промышленных объектов, где в волновых картинах хорошо просматриваются участки, сложная структура которых обусловлена присутствием в бетонном полу воздушных полостей. Эти участки достаточно явно выражены в структуре поля интенсивности, локальными отражениями, придающими полю характерный "пятнистый" характер.

Примеры практического применения георадиолокации при обследовании стен инженерных сооружений приведены на рис. 3–5. В частности, с целью определения возможности дальнейшей эксплуатации и ремонтпригодности автомобильного переезда через трубы оросительной системы, было выполнено комплексное георадиолокационное обследование данного объекта с использованием разночастотных антенных блоков (рис. 3).

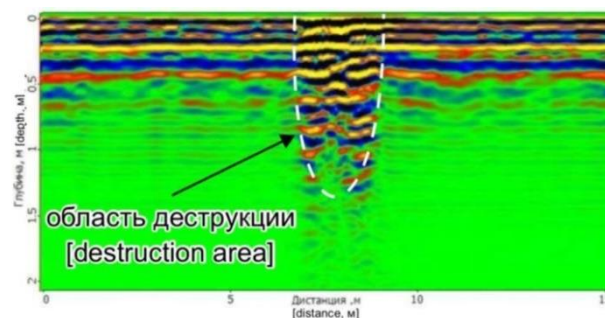
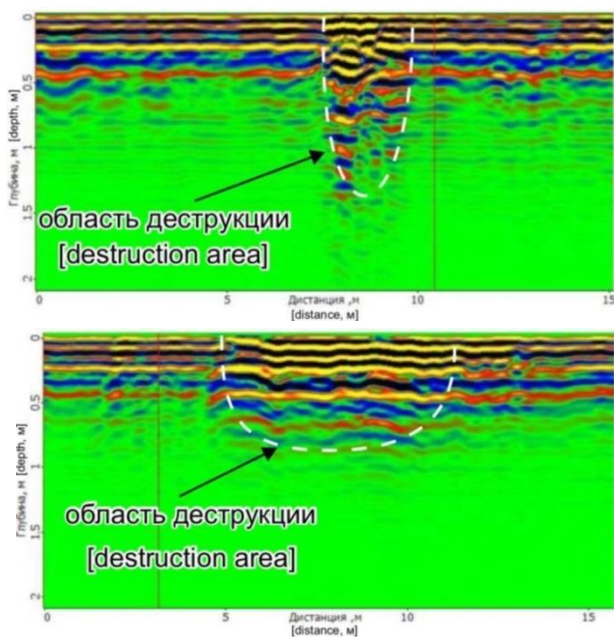


Рис. 1. Результаты георадиолокационного обследования бетонных полов промышленных помещений с антенным блоком 1.5 ГГц.

[Fig. 1. The results of the georadiolocation inspection of concrete floors of industrial premises using a 1.5 GHz antenna unit.]

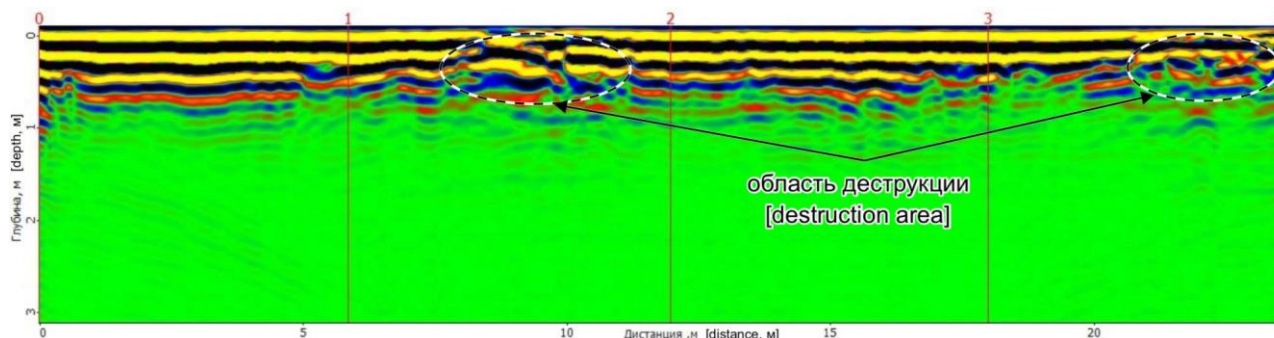


Рис. 2. Результаты георадиолокационного обследования наливного пола складского помещения с антенным блоком 900 МГц.



Рис. 3. Георадиолокационное обследование подпорной стенки переезда с антенными блоками 1.5 ГГц (слева) и 900 МГц (справа).
[Fig. 3. Georadiolocation inspection of the retaining wall of the crossing using 1.5 GHz (left) and 900 MHz (right) antenna blocks.]

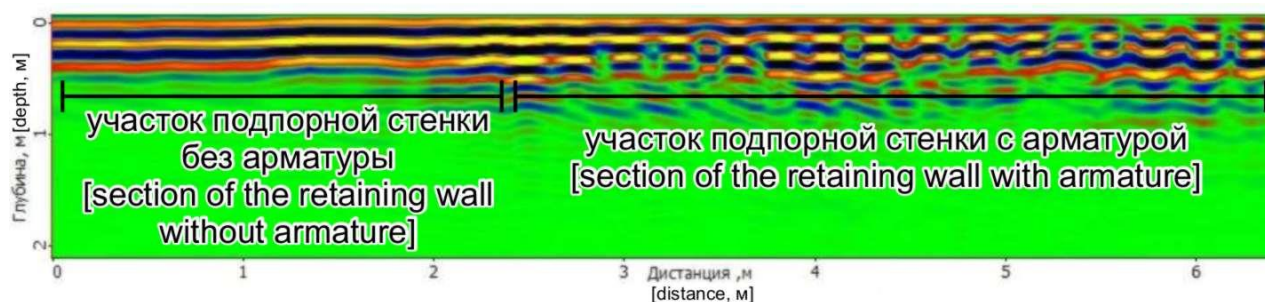


Рис. 4. Результаты георадиолокационного обследования подпорной стенки с антенным блоком 900 МГц.
[Fig. 4. The results of the georadiolocation inspection of the retaining wall using a 900 MHz antenna unit.]

Результаты георадиолокационного обследования подпорной стенки переезда, представлены на рис. 4, свидетельствуют об отсутствии внутреннего армирования на некоторых ее участках, что существенно снижает прочностные характеристики сооружения.

По результатам обследования было сделано заключение о целесообразности полной разборки объекта.

Аналогичная задача решалась в процессе определения эксплуатационных возможностей тоннеля, проложенного под массивной насыпью. Тоннель прямо-

угольной формы имеет бетонную облицовку и состоит из 2-х частей, построенных в разное время. Приведенные на рис. 5 материалы обследования свидетельствуют, что стены "старой" и "новой" части прохода имеют приблизительно одинаковую толщину – ~48 см и находятся в удовлетворительном техническом состоянии. При этом характер зарегистрированной волновой картины указывает на то, что стены "новой" части прохода, в отличие от его "старой" части, имеют армирование, которое выполнено с шагом 20 см.

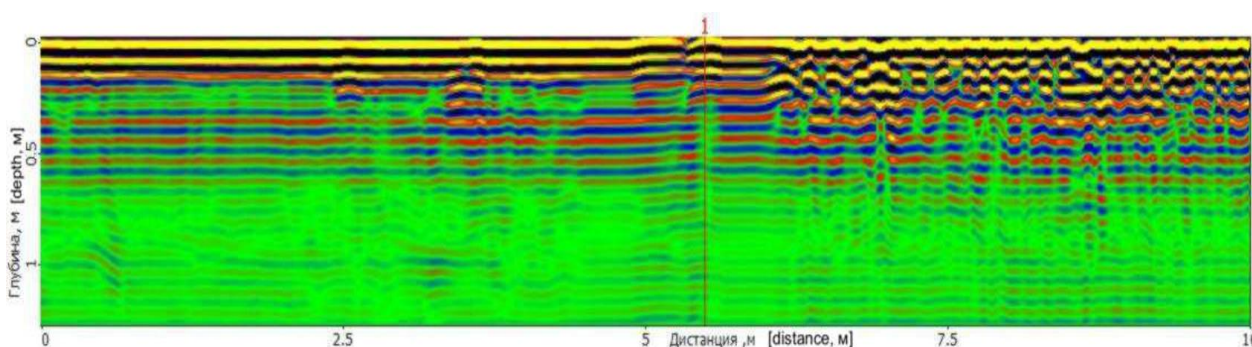


Рис. 5. Результаты георадиолокационного обследования стенки тоннеля с антенным блоком 1.5 ГГц. Маркой 1 обозначен шов между "старой" (слева) и "новой" (справа) частями тоннеля.
[Fig. 5. The results of the georadiolocation inspection of the retaining wall using a 900 MHz antenna unit.]

*Выявление и оценка масштабов
загрязнения грунтов нефтепродуктами*

Обследование территории пункта заправки локомотивов дизельным топливом было выполнено с целью оценки её загрязненности нефтепродуктами. Необходимо отметить, что данный объект существует многие десятилетия и в процессе эксплуатации неоднократно переобустраивался.

На радарограмме, зафиксированной на одном из профилей, в пределах глубин 1.2–3.0 м проявился локальный аномальный участок, разбуривание которого

выявило углеводородное загрязнение (рис. 6). Характер зарегистрированной аномалии позволяет предполагать, что загрязнение приурочено к погребенной колодеобразной яме с первоначальной глубиной около 2-х м, в которую сливали остатки нефтепродуктов. Следует обратить внимание на то, что в волновом поле вблизи краев аномалии проявилось локальное поднятие грунтов, что можно связать с наличием обваловки.

В данном случае загрязнение, которое имеет достаточно ограниченное распространение, не было выявлено электропрофилерованием.

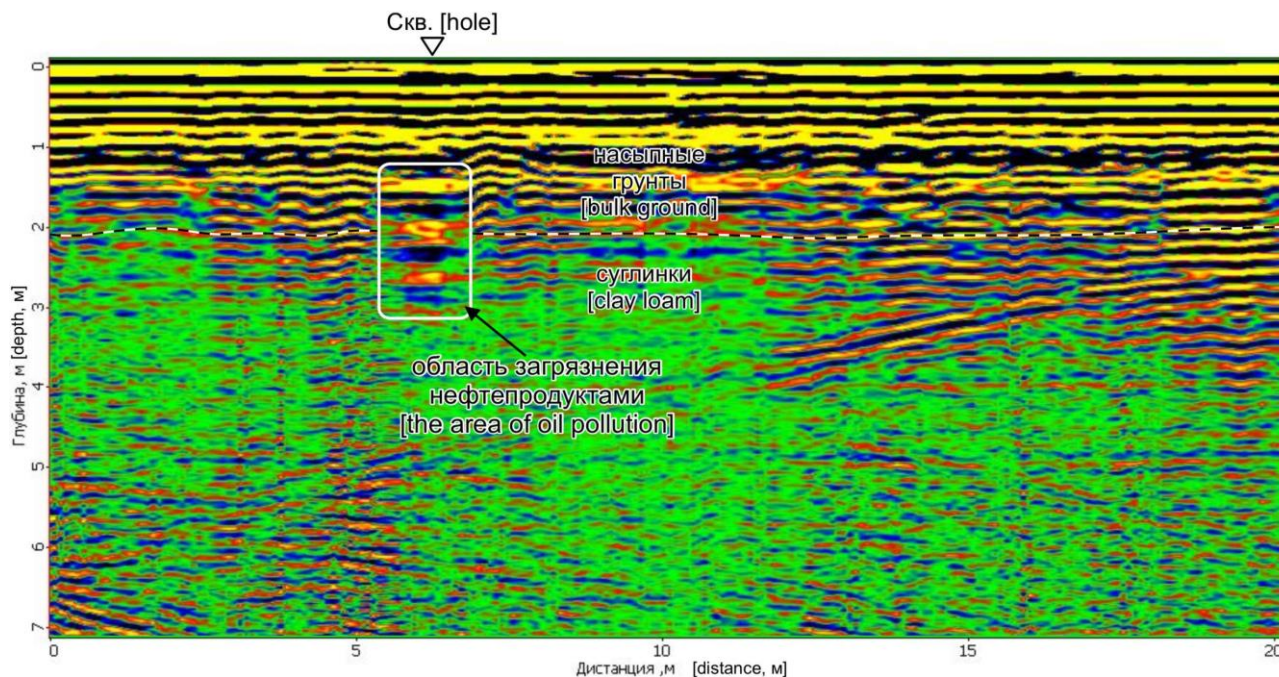


Рис. 6. Результаты георадиолокационного обследования, выполненного с антенным блоком 150 МГц с целью выявления загрязнения нефтепродуктами.

[Fig. 6. The results of the georadiolocation inspection performed using a 150 MHz antenna unit in order to detect contamination with oil products.]

Выявление зон трещиноватости и переувлажнения

На рис. 7 представлены материалы по георадиолокационному обследованию территории подземного газохранилища, являющегося одним из крупнейших в Европе, где, на одном из участков стали наблюдаться просадки грунта. Исследования выявили в месте, где были проложены газовые трубы, обширную зону трещиноватости в известняках по которой происходил вынос мелких частиц грунта в более глубокие горизонты. Дальнейшее развитие такого рода суффозионных процессов могло привести к проседанию и последующему разрушению труб.

На территории одного из крупнейших металлургических комбинатов России необходимо было выявить источник поступления воды в подвал здания склада. Продолжительная откачка воды из данного помещения лишь усугубила проблему – на момент исследований во многих местах из стыков бетонных плит пола били фонтанчики воды высотой до 30–40 см.

Георадиолокационное обследование периметра здания позволило установить источник поступления воды и выявить каналы фильтрации. Резервуаром, из которого вода поступала в подвал склада, являлся пруд, в который сбрасывалась откачиваемая из подвала вода.

Наиболее детально структура зоны увлажнения проявилась по результатам исследований выполненных на профиле, проложенном вдоль фасадной части здания и пройденном с антенным блоком, работающим на частоте 500 МГц (рис. 8).

В материалах георадиолокации область увлажнения разделилась на два участка. В интервале отметок 70–80 м на глубинах 4–5 м в грунтах была выявлена неоднородность, которая была интерпретирована как область наиболее высокой проницаемости (основной канал фильтрации).

Заверочные скважины, заданные по материалам обследования, полностью подтвердили результаты исследований.

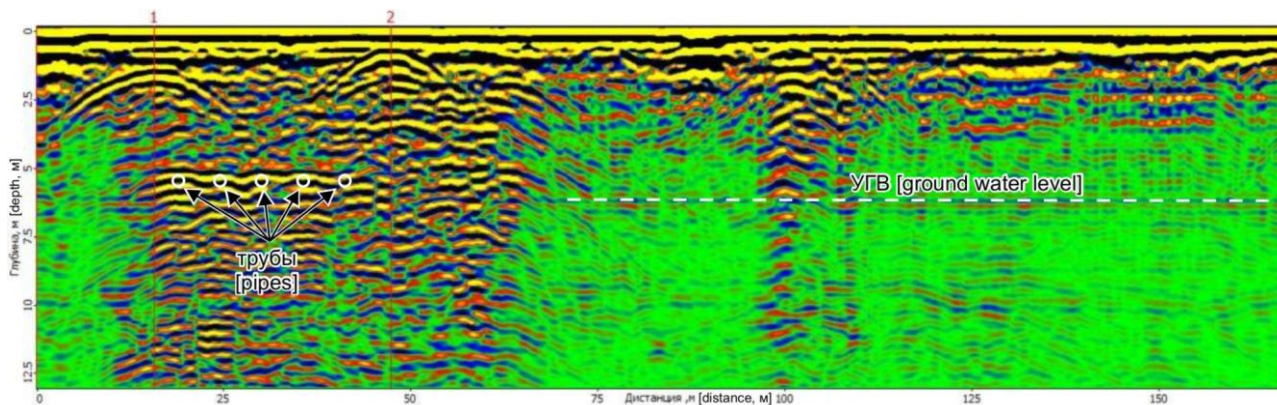


Рис. 7. Результаты георадиолокационного обследования места прокладки газовых труб с антенным блоком 75 МГц. Марка ми 1 и 2 обозначены положения столбов линии электропередачи.
[Fig. 7. The results of the georadiolocation inspection of the gas pipe installation site using a 75 MHz antenna unit. Marks 1 and 2 indicate the positions of the poles of the power line.]

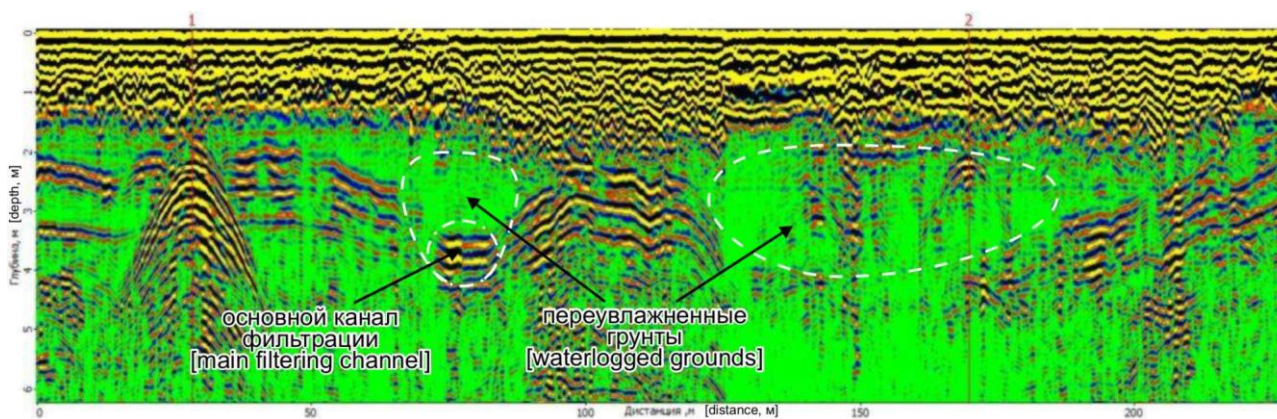


Рис. 8. Результаты георадиолокационного профилирования вдоль фасадной части здания. Марками 1 и 2 обозначены положения надземных металлических конструкций.
[Fig. 8. The results of the georadiolocation profiling along the front end of the building. Marks 1 and 2 indicate the positions of aboveground metal structures.]

Изучение зон карстования и оползней

На площадке строительства, при рытье котлована под установку одного из фундаментных блоков, в меловых породах была вскрыта карстовая полость, что потребовало проведения детального обследования всей территории на предмет оценки карстовой опасности. С этой целью было выполнено георадиолокационное профилирование по линиям проектируемой установки фундаментов (рис. 9). Использовались антенные блоки, работающие на центральных частотах 500 и 150 МГц.

По результатам георадиолокационного обследования были выявлены как отдельные карстовые пустоты, так и разноразмерные зоны интенсивной трещиноватости. Эти зоны представляли собой нагромождения меловых глыб, погребенных под слоем покровных суглинков толщиной 0.5–1.5 м. При этом пространство между глыбами было заполнено воздухом.

В пределах песчаного борта выемки на автомагистрали М-4 "Дон" образовались масштабные оползни. С целью дифференциации массива насыпных песков по степени увлажнения, определение каналов ин-

фильтрации подземных вод и выявление плоскостей скольжения, на участке оползневого склона было выполнено георадиолокационное профилирование с использованием антенных блоков, работающих на центральных частотах 500, 150 и 75 МГц. Профили прокладывались как поперек склона, так и вдоль него.

Материалы, полученные по одному из поперечных профилей, направленных сверху вниз по склону и пройденному с антенным блоком 500 МГц, представлены на рис. 10. Данные георадиолокации свидетельствуют о неоднородном залегании песков. Наклонные границы внутри массива песков, по-видимому, являются поверхностями скольжения между фрагментами оползня, "съезжавшими" последовательно и "наезжавшими" друг на друга.

Анализ структуры зарегистрированных волновых полей, выполненный по всему обследованному участку, свидетельствует, что влажность насыпных песков нарастает не только с глубиной, но и, в особенности, вниз по склону. Ремонтные работы, спланированные с учетом результатов обследования, позволили стабилизировать склон.

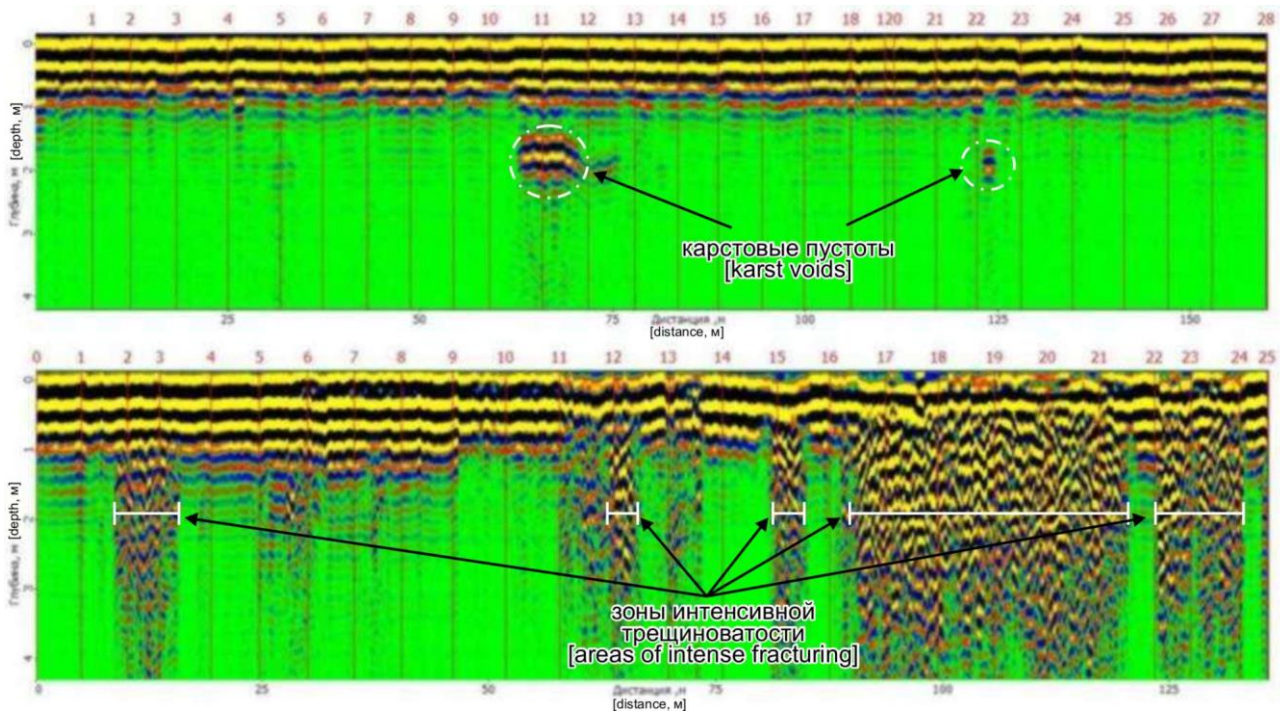


Рис. 9. Результаты георадиолокационного обследования карстующейся меловой толщи с антенным блоком 150 МГц. Цифрами обозначены проектные места установки фундаментов.

[Fig. 9.] The results of the georadiolocation inspection of the karst cretaceous strata using a 150 MHz antenna unit. The numbers indicate the design locations of the foundations.

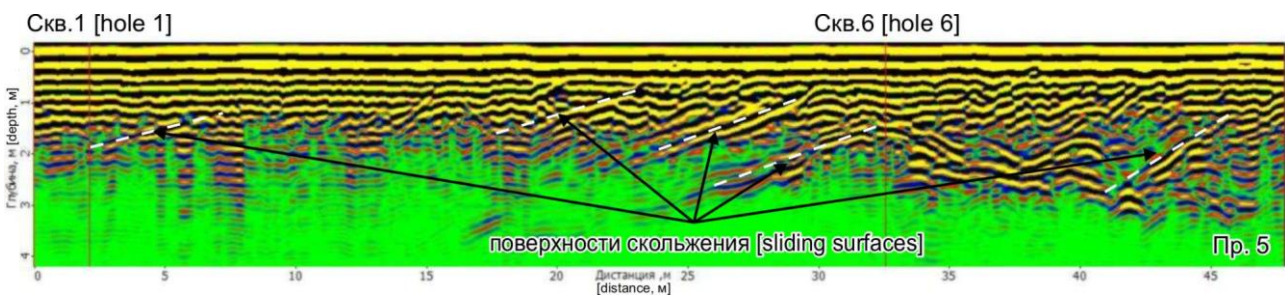


Рис. 10. Результаты георадиолокационного обследования оползневого склона с антенным блоком 500 МГц.

[Fig. 10.] The results of the georadiolocation inspection of the landslide slope using a 500 MHz antenna unit.

Заключение

Приведенные данные свидетельствуют, что георадиолокационный метод весьма эффективен и достаточно универсален, что позволяет решать широкий круг задач связанных с обследованием строительных объектов и их элементов, как расположенных над поверхностью земли, так и погребенных в грунтах. Индуктивный способ возбуждения и измерения электромагнитных полей допускает проведение исследований не только в непосредственном контакте с изучаемым объектом, но и на существенном удалении от него, в том числе, и в ситуациях, когда объект скрыт под слоем воды, льда, асфальта и пр. Возможность выбора антенных блоков позволяет оптимизировать аппаратные решения под конкретные задачи и условия проведения исследований.

При обеспечении полноценной реализации возможностей георадиолокации ключевую роль играют:

- правильный выбор частоты и типа антенного блока георадара;
- оптимальная ориентировка антенн (прежде всего – открытых дипольных) относительно объекта исследования и объектов, являющихся потенциальными источниками помех;
- обязательная фиксация на радарограмме положений объектов, которые могут оказать влияние на регистрируемые в процессе исследований сигналы.

Конфликт интересов: Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 31937-2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. М.: Стандартинформ, 2014. 55 с.

2. Аузин А. А. Георадиолокационное обследование фундаментов мостовых сооружений // *Геотехника*. № 6. 2017. С. 58–77.
3. Аузин А. А., Зацепин С. А. Георадиолокационное обследование проблемных участков дорожно-транспортной сети // *Вестник Воронежского государственного университета*. Серия: Геология. 2012. № 2. С. 242–246.
4. Зинченко В. С. Петрофизические основы гидрогеологической и инженерно-геологической интерпретации геофизических данных. Москва – Тверь: Изд-во АИС, 2005. 392 с.
5. Старовойтов А. В. Интерпретация георадиолокационных данных. М. : Изд-во МГУ, 2006. 192 с.
6. Ground Penetrating Radar. 2nd edition. Ed. Daniels D. J. IEE Press, London 2004. 726 p.
7. Ground Penetrating Radar. Theory and Applications. Ed. Jol H.M. Elsevier. Amsterdam. 2009. 544 p.

GEOPHYSICS

UDC 550.837.76

ISSN 1609-0691

DOI: <https://doi.org/10.17308/geology.2022.2/9279>

Received: 17.05.2022

Accepted: 01.06.2022

Published online: 22.06.2022

Information capabilities of the georadiolocation method during the inspection of construction sites

©2022 A. A. Auzin✉

*Voronezh State University,
Universitetskaya pl., 1, Voronezh, 394018, Russian Federation*

Abstract

Introduction: The inspection of construction sites (buildings and facilities) aims to determine their design characteristics and technical condition, which, in turn, determines the possibility for the further effective operations of this site and its maintainability. The results of geophysical studies are the only real source of data on the design characteristics of structural elements of buildings and facilities buried in the ground and hidden from direct study. At the same time, one of the most versatile and effective tools for obtaining such information is georadiolocation study.

Methods: The study presents the materials obtained by the author in the process of performing geophysical studies aimed at clarifying the geometric characteristics, internal structure, and technical condition of various construction sites. It should be noted that the range of construction sites surveyed by geophysical methods includes not only the buildings and facilities (foundations, floors, walls, etc.), but also the soils containing and supporting these construction sites or their elements. In particular, the article provides the results of the study of karst-suffosion and landslide processes. The consideration of results of a survey of bridge structures was beyond the scope of this article. This problem is planned to be considered in the future.

Results and discussion: The obtained data indicate that the georadiolocation method is very effective and versatile and allows to solve a wide range of tasks related to the inspection of construction sites and their elements, both located above the ground and buried in the ground. The inductive method of excitation and measurement of the parameters of electromagnetic fields allows conducting research not only in direct contact with the studied construction site, but also at a significant distance from it, including in situations where the object is hidden under a layer of water, ice, asphalt, etc.

Conclusions: The research results indicate that the georadiolocation method is one of the most versatile and effective for studying the structural characteristics and technical condition of construction sites and



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

✉ Andrey A. Auzin, e-mail: AAuzin@yandex.ru

soil massifs. The ability to select antenna units allows you to optimize hardware solutions for specific tasks and research conditions.

Keywords: georadiolocation survey, engineering structures, hidden structural elements.

For citation: Auzin A. A. Information capabilities of the georadiolocation method during the inspection of construction sites. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2022, no. 2, pp. 54–62. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology.2022.2/9279>

Conflict of interests: The author declares the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

REFERENCES

1. GOST 31937-2011. *Zdaniya i sooruzheniya. Pravila obsledovaniya i monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya* [GOST 31937-2011. Buildings and structures. Rules of inspection and monitoring of technical condition]. Standartinform, Moscow, Standartinform, 2014. 55 p. (In Russ.)
2. Auzin A. A. Georadiolokacionnoe obsledovanie fundamentov mostovykh sooruzheniy [Ground Penetrating Radar (GPR) investigations of the foundations of bridge structures]. *Geotekhnika*, 2017, no. 6, pp. 58–77. (In Russ.)
3. Auzin A. A., Zatsypin S. A. Georadiolokacionnoe obsledovanie problemnykh ychastkov dorogno-transportnoi seti [Ground Penetrating Radar (GPR) investigations of problem areas of the road transport network]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2012, no. 2, pp. 242–246. (In Russ.)
4. Zinchenko V. S. *Petrofizicheskie osnovy gidrogeologicheskoy i inzhenerno-geologicheskoy interpretatsii geofizicheskikh dannykh* [Petrophysical foundations of hydrogeological and engineering-geological interpretation of geophysical data]. Moscow – Tver, AIS publ., 2005. 392 p. (In Russ.)
5. Starovoitov A.V. *Interpretatsiya georadiolokatsionnykh dannykh* [Interpretation of ground penetrating radars data]. Moscow, MGU publ., 2006. 192 p. (In Russ.)
6. Ground Penetrating Radar. 2nd edition. Daniels D. J. (ed.), IEE Press, London, 2004. 726 p.
7. Ground Penetrating Radar. Theory and Applications. Jol H.M. (ed.), Elsevier, Amsterdam, 2009. 544 p.

Аузин Андрей Альбертович – д.т.н., профессор, Воронежский государственный университет, Воронеж,
E-mail: AAuzin@yandex.ru;
ORCID <http://orcid.org/0000-0002-3043-3726>

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Andrey A. Auzin – PhD, Dr. habil. in Tech., Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation;
E-mail: AAuzin@yandex.ru;
ORCID <http://orcid.org/0000-0002-3043-3726>

Author have read and approved the final manuscript.