

EDN: MMITSN

УДК 550.8.02

## Detection of Underground Utilities in the Territory of Old City Buildings Under Asphalt Concrete Covering by GPR

Victoria V. Portnyagina<sup>\*a</sup>,

Gavril A. Kulyandin<sup>b</sup> and Maria E. Budikina<sup>a</sup>

*<sup>a</sup>North-Eastern Federal University named after M. K. Ammosov  
Yakutsk, Russian Federation*

*<sup>b</sup>Institute of Mining of the North named  
after N. V. Chersky of the SB RAS  
Yakutsk, Russian Federation*

Received 03.11.2022, received in revised form 05.03.2023, accepted 09.03.2023

**Abstract.** The article presents the results of a search for underground utilities, in particular, sewer pipes, a well and a concrete tray with a cable line on an asphalted section of one of the streets of Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia) using the GPR. It is known that the search for communications using this method is a rather difficult task due to “air” interference and uneven properties of the surveyed soils. The GPR of the OKO-2 series (LogiS-Geotech group of companies, Russia) with an AB-250 antenna unit (center frequency 250 MHz) was used as a search device. GeoScan32 software was used to process GPR data; in the process of processing radargrams, bandpass and notch (bandstop) filters were used. Observation of the change in the signal delay time, their amplitude, as well as tracking the common-mode axes made it possible to identify various objects and boundaries in the soil thickness. It is noted that all radargrams are saturated with hyperbolas – reflections from local objects and from the intersections of various linear objects. Their presence is possibly associated with abandoned underground utilities, the skeletons of old buildings and other debris that has accumulated over the years of the city’s development. The position of underground utilities identified by georadar is confirmed by visual observation on the ground by subsidence of asphalt in the vicinity of the buried well and by hatches present on the surface.

**Keywords:** ground penetrating radar, geophysical profiles, common-mode axes, underground utilities, urban development, uneven soil properties, permafrost, depth, seasonally thawed layer.

Citation: Portnyagina, V.V., Kulyandin, G.A., Budikina, M.E. Detection of underground utilities in the territory of old city buildings under asphalt concrete covering by GPR. J. Sib. Fed. Univ. Eng. & Technol., 2023, 16(3), 307–315. EDN: MMITSN



© Siberian Federal University. All rights reserved

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0).

\* Corresponding author E-mail address: vick\_i@mail.ru

## Обнаружение подземных коммуникаций на территории старой городской застройки под асфальтобетонным покрытием методом георадиолокации

В. В. Портнягина<sup>а</sup>, Г. А. Куляндин<sup>б</sup>, М. Е. Будикина<sup>а</sup>

<sup>а</sup>Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова  
Российская Федерация, Якутск

<sup>б</sup>Институт горного дела Севера им. Н. В. Черского СО РАН  
Российская Федерация, Якутск

**Аннотация.** В статье приведены результаты поиска подземных коммуникаций, в частности, канализационных труб, колодца и бетонного лотка с кабельной линией на заасфальтированном участке одной из улиц г. Якутска Республики Саха (Якутия) с помощью метода георадиолокации. Известно, что поиск действующих коммуникаций с помощью данного метода является достаточно сложной задачей для условий старой городской застройки, с погребенными остовами прежних строений, брошенными неисправными трубопроводами и неравномерно распределенными свойствами обследуемых грунтов. В качестве поискового прибора использовался георадар серии «ОКО-2» (группа компаний «Логис-Геотех», Россия) с антенным блоком АБ-250 (центральная частота 250 МГц). Для обработки георадиолокационных данных применено программное обеспечение ПО «GeoScan32», в процессе обработки радарограмм использовали полосовой и режекторный (полосно-заграждающий) фильтры. Наблюдение за изменением времени задержки сигналов, их амплитудой, а также прослеживание осей синфазности позволило выявлять в толще грунтов различные объекты и границы. Отмечено, что все радарограммы насыщены гиперболами – отражениями от локальных объектов и от пересечений различных линейных объектов. Их присутствие, возможно, связано с заброшенными подземными коммуникациями, остатками фундаментов старых строений и прочим техногенным мусором, накопившимся за долгие годы развития города. Положение подземных коммуникаций, выявленных методом георадиолокации, местами подтверждается визуальным наблюдением на местности по проседанию асфальта в окрестности погребенного колодца и по присутствующим на поверхности люкам.

**Ключевые слова:** георадиолокация, геофизические профили, оси синфазности, подземные коммуникации, городская застройка, неравномерность свойств грунтов, многолетняя мерзлота, глубина залегания, сезонно-талый слой.

Цитирование: Портнягина В. В. Обнаружение подземных коммуникаций на территории старой городской застройки под асфальтобетонным покрытием методом георадиолокации / В. В. Портнягина, Г. А. Куляндин, М. Е. Будикина // Журн. Сиб. федер. ун-та. Техника и технологии, 2023, 16(3). С. 307–315. EDN: MMITSN

Проблема поиска подземных коммуникаций возникает в тех случаях, когда имеющаяся документация недостаточно точно отражает ситуацию на площадке строительства: например, по причине изменения глубины залегания в результате отсыпки, неточности в расположении или по причине секретности, при наличии старых, уже не работающих коммуникаций, которые не демонтировались и остались в геомассиве [1]. Также и на участках реконструкции дорожного полотна проезжей части городских улиц при их длительной эксплуатации, в течение которой в разные периоды времени, десятилетиями, добавлялись подземные коммуникации и новые слои покрытия. Развитая многоуровневая сеть подземных коммуникаций навсегда задокумен-

тирована. Особую опасность представляют газопроводы, залегание которых неглубокое, около двух метров, из-за распространения многолетней мерзлоты. В результате вскрытия геомассива, в процессе строительных работ, нередки случаи нарушения целостности асфальтового покрытия, аварийного разрушения коммуникаций, порчи оборудования строительной организации. Для предотвращения подобных ситуаций используют технологии неразрушающего контроля.

Одним из таких способов поиска и обнаружения подземных коммуникаций является георадиолокация. На сегодняшний день метод георадиолокации эффективно применяется в инженерных изысканиях [1–5]. Принцип действия георадара основан на излучении сверхширокополосных (наносекундных) импульсов метрового и дециметрового диапазона электромагнитных волн и приеме сигналов, отраженных от границ раздела слоев зондируемой среды, имеющих различные электрофизические свойства. Такими границами раздела в исследуемых средах являются, например, контакт между сухими и влагонасыщенными грунтами: уровень грунтовых вод, контакты между породами различного литологического состава, породой и материалом искусственного сооружения, мерзлыми и тальными грунтами, коренными и осадочными породами и т.д. [3, 4]. Несмотря на широкое распространение метода в последние годы, он все еще остается недостаточно изученным. Исследователи, занимающиеся георадиолокацией, находят новые области ее применения, совершенствуют и разрабатывают другие методики получения и обработки данных.

Наряду с преимуществами метода георадиолокации следует отметить, что поиск коммуникаций с его помощью является достаточно сложной задачей для условий старой городской застройки: с погребенными остовами прежних строений, брошенными неисправными трубопроводами и неравномерно распределенными свойствами обследуемых грунтов. Влияние «воздушных» помех – наиболее частая проблема при поиске коммуникаций георадарами в городе. Более сложной проблемой является неравномерность свойств или неоднородность обследуемых грунтов [6]. Любая граница, на которой присутствует контраст значений диэлектрической проницаемости, отражающая. В этом отношении грунты мегаполисов представляют собой достаточно сложный объект исследования – для них характерна нарушенность залегания, перекопанность; наличие искусственных грунтов (пески обычно не создают проблем, но щебень, камни в толще породы могут сильно осложнять поиск коммуникаций); наличие большого количества строительного мусора, сложная гидрогеологическая ситуация (например, протечки, обводнения грунтовыми водами, водный горизонт на подошве сезонно-талого слоя, талики), наличие глинистых отложений в разрезе. Существует несколько приемов, улучшающих качество сигналов георадаров – например, компараторная оцифровка сигналов, демпфирование антенны и другие [1].

В данной работе представлены материалы по выявлению подземных коммуникаций, в частности, канализационных труб, колодца и бетонного лотка с кабельной линией на заасфальтированном участке одной из улиц г. Якутска. В качестве поискового прибора использовался георадар серии «ОКО-2» (группа компаний «ЛогиС-Геотех», Россия) [4] с антенным блоком АБ-250 (центральная частота 250 МГц).

Город Якутск расположен на территории распространения многолетней мерзлоты. Ископаемые объекты находятся в пределах старой городской застройки в толще деятельного слоя (слоя сезонного оттаивания-промерзания), мощность которого составляет 2–3 м. Грунты этой части земли имеют разную степень засоленности, местами высокую, до 0,96 %/100 г, что может существенно снизить глубинность георадарных исследований [7].

Данные георадиолокации получены в весенний период, когда сезонно-талый слой достигает глубины около 1 м. Передвижение антенного блока на участке осуществлялось оператором пешком. Привязка геофизических профилей на местности выполнена по окружающим объектам с помощью измерительной рулетки и лазерного дальномера, так как точность данных GPS в условиях городской застройки и высокой плотности выполняемых измерений не всегда обеспечивает необходимую точность. Разметка профилей длиной от 13 до 34,5 м на участке выполнена поперек и вдоль проезжей части улицы для обеспечения возможности пересечения линейных объектов, расположенных под землей в любых направлениях.

Для обработки георадиолокационных данных применено программное обеспечение ПО GeoScan32 [8, 9]. Используются следующие процедуры: реверс серии георадиолокационных профилей; удаление и обрезание бракованных трасс; корректировка положения трасс; определена поверхность исследуемой среды, т.е. привязан «ноль» к поверхности среды для точного определения глубины залегания объектов; коррекция затухания амплитуд применена для выравнивания интенсивности динамического диапазона зарегистрированных колебаний; вычитание среднего применено для удаления постоянной составляющей сигнала. В процессе обработки радарограмм использовали полосовой фильтр – фильтр, позволяющий удалять низкочастотные составляющие сигнала или высокочастотные составляющие сигнала, и режкторный (полосно-заграждающий) фильтр, который не пропускает частоты, находящиеся в некоторой полосе частот [10–12].

Выделение границ различных геологических слоев на радарограммах возможно благодаря различию электрофизических свойств грунтов. Одной из основных характеристик является скорость распространения волн в грунте ( $v$ ):

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon'}} \quad (1)$$

где  $c$  – скорость света,  $\epsilon'$  – диэлектрическая проницаемость грунта.

По ней выполняется пересчет временной задержки отраженного импульса ( $t$ ) в глубину ( $H$ ):

$$H = \frac{vt}{2}, \quad (2)$$

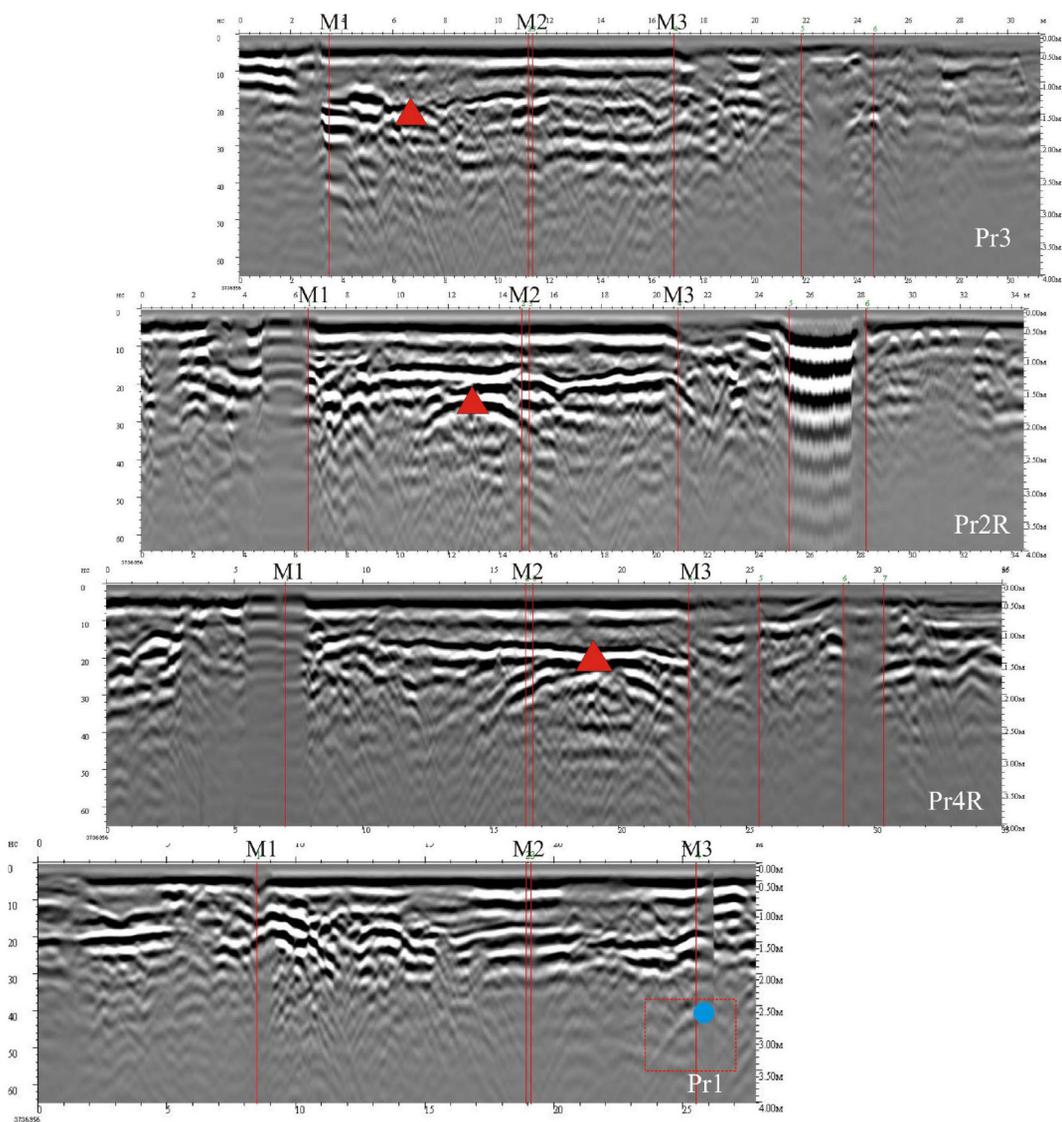
где  $v$  – скорость распространения волн в грунте.

В программном обеспечении GeoScan32 этот пересчет происходит автоматически при задании соответствующего значения диэлектрической проницаемости, которое можно получить по отражениям от локальных объектов с помощью специализированных процедур. На исследуемом участке среднее значение  $\epsilon'$  составило 7.

Таким образом, наблюдение за изменением времени задержки сигналов, их амплитудой, а также прослеживание осей синфазности позволяет выявлять в толще грунтов различные объекты и границы [10, 13, 14].

Для обеспечения визуализации полученных данных георадиолокационные разрезы ориентированы в одном направлении: поперек проезжей части – снизу-вверх; вдоль проезжей части – слева направо.

Для начала рассмотрены поперечные разрезы, которые нормированы по глубине до 4 м и выставлены относительно двойной сплошной разметки (метка M2) на проезжей части улицы – метки M1-M3 (рис. 1). По профилю Pr1 труба выявлена на 25 м на глубине 2,4 м. Судя по большой глубине ее залегания – это канализационная труба. Она проявляется на радарограмме обрывистой гиперболой, область сигналов которой выделена пунктиром. Это связано с тем, что в данном месте георадар переходит с асфальтового покрытия проезжей части на тротуар по бордюру, в результате ухудшается контакт антенного блока с поверхностью. Анало-



Legend: ● – mark of the pipe on the georadar section; ▲ – mark of the concrete tray on the georadar section; M1-M3 – marks indicating the boundaries of the carriageway of the street; M2 – a label indicating the position of the dividing line on the carriageway of the street.

Рис. 1. Выявление подземных коммуникаций на поперечных разрезах

Fig. 1. Identification of underground utilities in cross sections

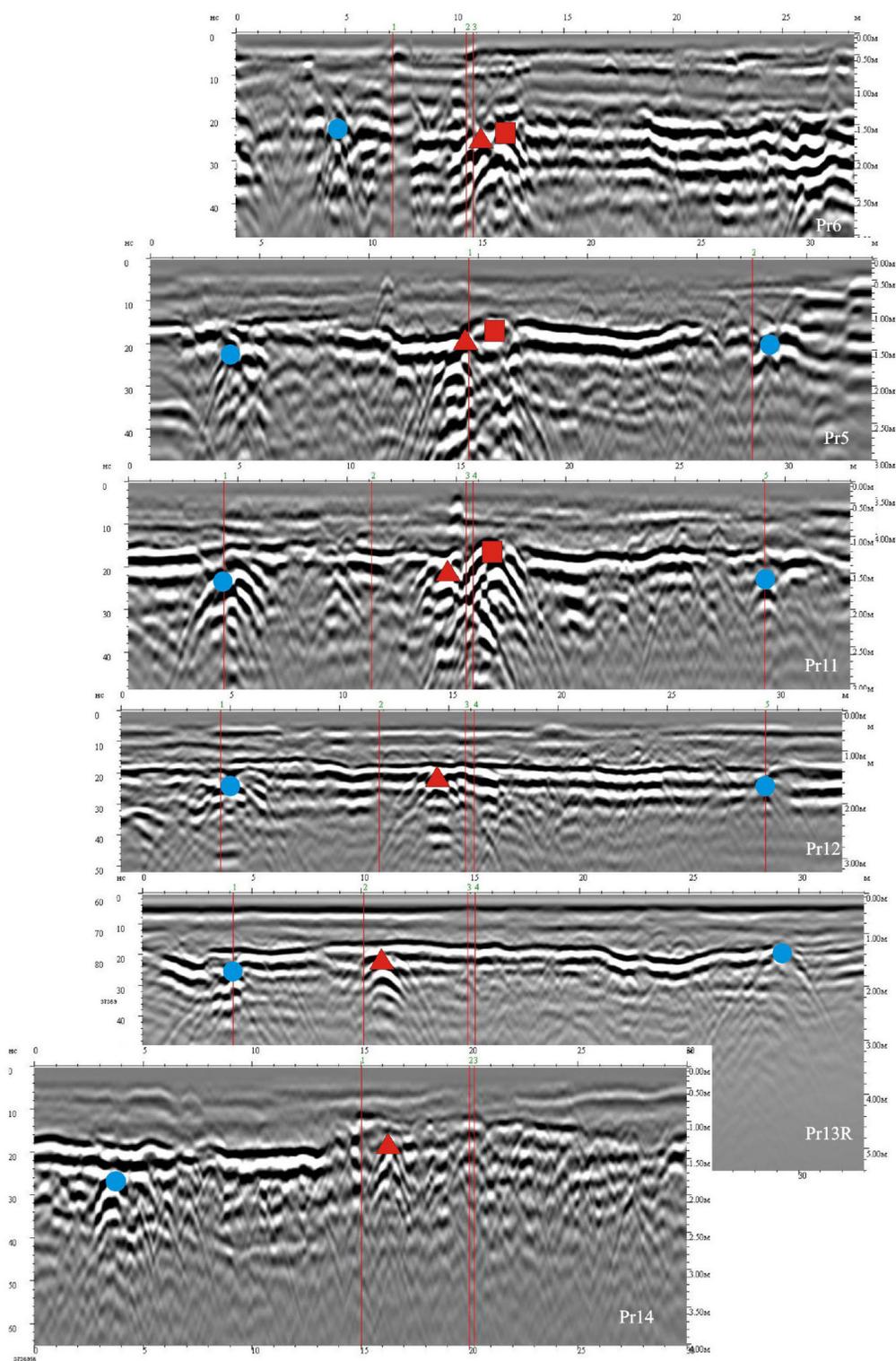
гичным образом по осям синфазности дифрагированных волн выявляется бетонный лоток. По профилям: Pr4R (реверсированный), Pr2R (реверсированный) и Pr3 установлено, что искомый линейный объект залегает на глубине около 1,4 м и пересекает проезжую часть по диагонали.

Рассматривая далее продольные данные, отметим, что все разрезы нормированы по глубине до 4 м и сведены относительно друг друга (рис. 2). Глубина залегания объектов примерно на одном уровне – 1,5 м. Погребенный колодец выявлен по данным: Pr6, Pr5 и Pr11. По всем профилям прослежены бетонный лоток и трубы. Стоит отметить, что все радарограммы насыщены гиперболами (волнами дифракции) – отражениями от локальных объектов и от пересечений различных линейных объектов. Их присутствие, возможно, связано с заброшенными подземными коммуникациями, остовами старых строений и прочим мусором, накопившимся за долгие годы развития города.

Картирование выявленных объектов представлено на плане профилей (рис. 3). Отсутствие высокоточной топографической основы предполагает некоторую погрешность в их отметке.

Таким образом, в соответствии с основной задачей проведенных исследований, обнаружены трубы на глубине около 2,4 и 1,5 м, бетонный лоток и погребенный колодец на глубине 1,4 м. Установлено, что искомые линейные объекты пересекают проезжую часть улицы в различных направлениях. Положение подземных коммуникаций, выявленных методом георадиолокации, местами подтверждается визуальным наблюдением на местности по проседанию асфальта в окрестности погребенного колодца и по присутствующим на поверхности люкам.

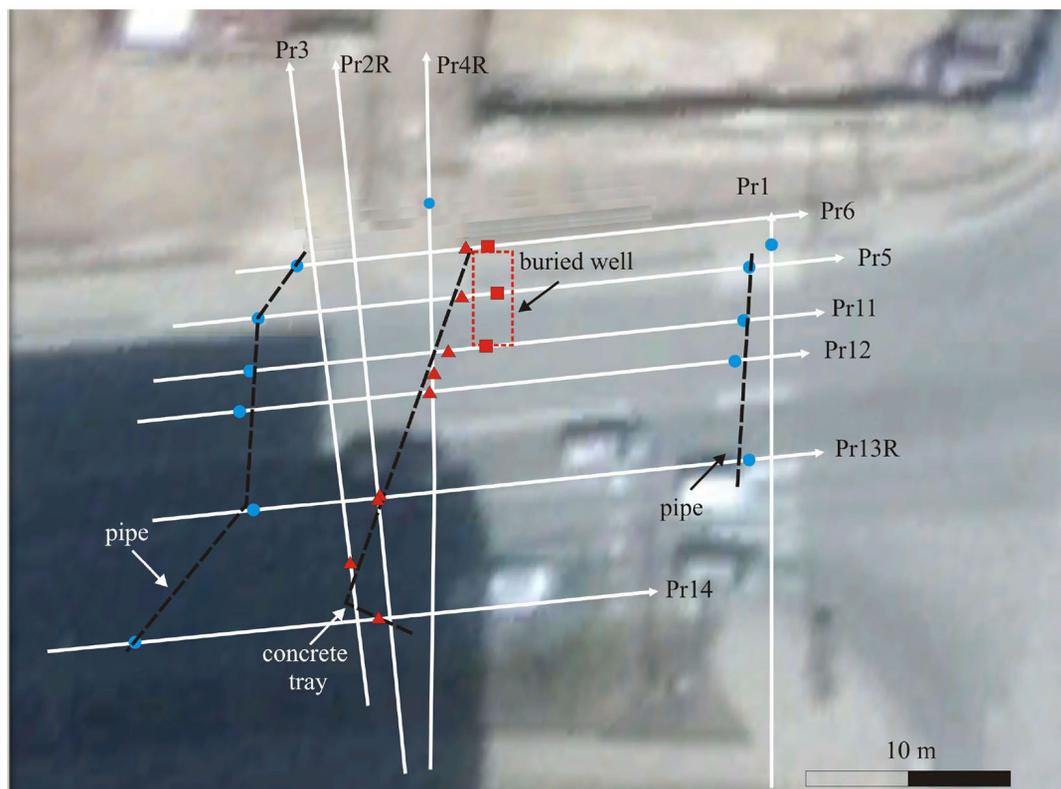
Работа выполнена при поддержке проекта № FSRG-2017–0017 «Развитие теории и методологии пространственной организации социально-экономических систем северного региона».



Legend: ● – mark of the pipe on the georadar section; ▲ – mark of the concrete tray on the georadar section; ■ – mark of a buried well on a georadar section.

Рис. 2. Выявление подземных коммуникаций на продольных разрезах

Fig. 2. Identification of underground utilities in longitudinal sections



Legend: ● – mark of the pipe on georadar profiles; ▲ – mark of the concrete tray on georadar profiles; ■ – mark of a buried well on GPR profiles

Рис. 3. Расположение подземных коммуникаций, пересекающих проезжую часть, по данным георадиолокации

Fig. 3. Location of underground utilities crossing the roadway according to GPR data

### Список литературы / References

[1] Набатов В.В., Морозов П.А., Семенихин А.Н. Выявление коммуникаций на площадке строительства с помощью георадаров с резистивно-нагруженными антеннами. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, 2012, 10, 120–134. [Nabatov V.V., Morozov P.A., Semikhin A.N. Identification of communications at the construction site using georadar with resistive-loaded antennas. *Mining Informational and Analytical Bulletin*, 2012, 10, 120–134 (in Rus.)]

[2] Старовойтов А.В., Владов М.Л. Интерпретация данных георадиолокационных наблюдений. *Разведка и охрана недр*, 2001, 3, 11–14. [Starovoytov A.V., Vladov M.L. Interpretation of georadar observation data. *Prospect and protection of mineral resources*, 2001, 3, 11–14 (in Rus.)]

[3] Старовойтов А.В. *Интерпретация георадиолокационных данных*. М., Издательство МГУ, 2008. 192 [Starovoytov A.V. *Interpretation of georadar data*. Moscow, Izdatel'stvo MGU, 2008, 192 (in Rus.)]

[4] Владов М.Л., Старовойтов А.В. *Введение в георадиолокацию*. М., Издательство МГУ, 2004. 153 [Vladov M.L., Starovoytov A.V. *Introduction to georadiolocation*. Moscow, Izdatel'stvo MGU, 2004, 153 (in Rus.)]

- [5] Судакова М.С., Садуртдинов М.Р., Малкова Г.В., Скворцов А.Г., Царев А.М. Применение георадиолокации при комплексных геокриологических исследованиях. *Криосфера Земли*, 2017, 21(3), 69–82 [Sudakova M.S., Sadurtdinov M.R., Malkova G.V., Skvortsov A.G., Tsarev A.M. The use of GPR in complex geocryological studies. *Earth's Cryosphere*, 2017, 21(3), 69–82 (in Rus.)]
- [6] Капустин В.В. Георадарное исследование техногенных грунтов. *Разведка и охрана недр*, 2009, 9, 43–46. [Kapustin V.V. Georadar study of technogenic soils. *Prospect and protection of mineral resources*, 2009, 9, 43–46 (in Rus.)]
- [7] Торговкин Н.В., Макаров В.Н. Агрессивность сезонно-талых и мерзлых грунтов Якутска. *Наука и образование*, 2014, 1(73), 85–89 [Torgovkin N.V., Makarov V.N. Aggressiveness of seasonally thawed and frozen soils of Yakutsk. *Science and education*, 2014, 1(73), 85–89 (in Rus.)]
- [8] Техническое описание и инструкция по эксплуатации на Георадар «ОКО-2» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.geotech.ru/files/georadar/gprtov26beta303.pdf> – Заглавие с экрана. [Technical description and operating instructions for Georadar “ОКО-2” [Electronic resource] – Access: <http://www.geotech.ru/files/georadar/gprtov26beta303.pdf>]
- [9] Руководство пользователя программой «GeoScan32» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://logsys.ru/download/new/geoscan32manual.pdf> – Заглавие с экрана. [GeoScan32 user manual [Electronic resource] – Access: <http://logsys.ru/download/new/geoscan32manual.pdf>]
- [10] Куляндин Г.А., Федорова Л.Л. Георадиолокация геоструктур дражных полигонов месторождения реки Аллах-Юнь. *Известия вузов. Горный журнал*, 2015, 4, 108–113. [Kulyandin G.A., Fedorova L.L. Ground-penetrating radar geostuctures of dredging polygons of the Allah-Yun River deposit. *Minerals and Mining Engineering*, 2015, 4, 108–113 (in Rus.)].
- [11] Гринев А.Ю. *Вопросы подповерхностной радиолокации*. М., Радиотехника, 2005. 416 [Grinev A.Y. *Issues of subsurface radar*. Moscow, Radiotekhnika, 2005. 416 (in Rus.)]
- [12] Калинин А.В., Старовойтов А.В., Шалаева Н.В. Высокоразрешающие волновые методы в современной геофизике. *Разведка и охрана недр*, 2002, 1, 23–27 [Kalinin A.V., Starovoitov A.V., Shalaeva N.V. High resolution wave methods in modern geophysics. *Prospect and protection of mineral resources*, 2002, 1, 23–27 (in Rus.)]
- [13] Финкельштейн М.И. *Подповерхностная радиолокация*. М., Радио и связь, 1994. 216. [Finkel'shteyn M.I. *Subsurface radar*. Moscow, Radio i svyaz', 1994. 216]
- [14] Arcone S.A., Lawson D.E., Delaney A.J., Strasser J.S., Strasser J.D. Ground-penetrating radar reflection profiling of groundwater and bedrock in an area of discontinuous permafrost. *Geophysics*, 1994, 63(5), 1573–1585.