

**დიელექტრიკულ გარემოში განთავსებული განსხვავებული  
დიელექტრიკული შემავსებლებით აგებული  
ცილინდრული სხეულების გეორადიოლოკაციური  
სახეები და მათი იდენტიფიცირება ობიექტებთან**

**ოდიავაძე დ., ჭელიძე თ., იავოლოვსკაია ო.**

*თსუ, მ.ნოდია სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი*

სამთო, გეოტექნიკური, სპელეოლოგიური, არქეოლოგიური, სპეციფიკური და სხვა ინტერესებისათვის მნიშვნელოვანია მიწისქვეშა სივრცეების გამოკვლევა ნაწილობრივ წყალ და ჰაერშემცველობის შემავსებლებით ერთგვაროვან გარემოში განთავსებისას. თსუ, გეოფიზიკის ინსტიტუტის გამოყენებითი და ექსპერიმენტალური გეოფიზიკის სექტორში ჩატარდა გეორადიოლოკაციური ფიზიკური მოდელების კვლევა ჰორიზონტალურად განთავსებული ცილინდრული მოდელებისთვის. მოდელები შეიცავენ წყლით, ჰაერით და ნაწილობრივად წყალ-ჰაერით შევსებულ ცილინდრული ზედაპირით შემოფარგლულ სივრცეებს. გეორადიოლოკაციური (გეორადარი Zond12-e, სოფტი-Prizm2.6) პროფილური კვლევა განხორციელდა მოდელის ჰორიზონტალურად განთავსების სიბრტყის მიმართ დღიურ ზედაპირისა და დღიური ზედაპირის მიმართ მართობულ სიბრტყეებში. მიღებული შედეგების მიხედვით იდენტიფიცირდა და დაფიქსირდა შესაბამისი რადიოსახეები და მათი ბუნებრივ პირობებში განთავსებისას სიხშირული და გომეტრიული შესაბამისობები.

**შესავალი**

სამთო-სამაშველო მიწისქვეშა ჩაკეტილ სივრცეში არსებული გარემოს ჰაერ-წყალ შემცველობა, გეოტექნიკური მიწისქვეშა საკაბელო, კაბელ გამტარი კონსტრუქციების მდგომარეობა, სანიაღვრო წყალგამტარების შევსებულობა, არქეოლოგიური სიღრმული სივრცეების ინვაზიური კვლევისთვის, დაცული ტერიტორიების სიღრმული უსაფრთხოების საჭიროებისთვის, დღიური ზედაპირიდან სპელეოლოგიური კვლევებისათვის, მნიშვნელოვანია მიწისქვეშა განთავსების ობიექტების რთული დიელექტრიკული შედგენილობის შესწავლა.

კარსტული გარემოს კვლევისას მნიშვნელოვანი ადგილი უკავია ჰაერისა და წყლის შემცველი სივრცეების, სუფოზიების, სიფონების შესაძლო გამოვლენა-დაფიქსირება გეოგრაფიულ-სპელეოლოგიური და გეოფიზიკური მეთოდებით [1]. მიუხედავად ისეთი მეთოდების განვითარებისა, როგორცაა გეორადიოლოკაცია, ელექტრომეტრია, სეისმომეტრია, მნიშვნელოვან სიძნელეს წარმოადგენს ნაწილობრივ წყალშემცველი სივრცის შესაძლო გამოყოფა, ლოკაცია და ინტერპრეტაცია. გეორადიოლოკაციური ელექტრომაგნიტური ვე-

ლების ფიზიკური მოდელირების მეთოდით შესაძლებელი აღმოჩნდა ელექტროდინამიკის რიგი პირდაპირი ამოცანების წარმატებით გადაწყვეტა [2].

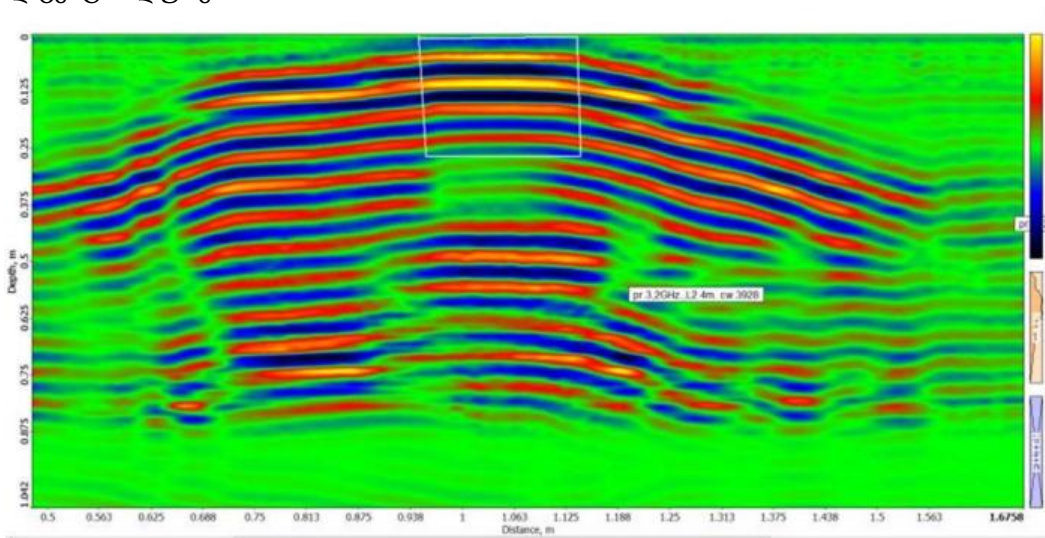
### ინსტრუმენტული და მეთოდური ნაწილი

თსუ, გეოფიზიკის ინსტიტუტის გამოყენებითი და ექსპერიმენტალური გეოფიზიკის სექტორის, გეორადიოლოკაციისა და ელექტრომეტრიის ლაბორატორიის, ელექტრომაგნიტური ველების ფიზიკური მოდელირების მყარი ერთგვაროვანი გარემოს, გაბარიტებით 1.5x1.5x2.4მ, მოდელირების დანადგარზე, გამოკვლეული იქნა სრულად წყალშემცველი, ნახევრად წყალშემცველი და მთლიანად ჰაერშემცველი ჰორიზონტალური პოლიეთილენის ცილინდრის (კედლის სისქე 0.2-0.4მმ, დიამეტრი-0.17მ, ღერძი-0.3მ) მოდელი განთავსებული ერთგვაროვან სილოვან გარემოში ჰორიზონტალურად და ღერძით გეორადიოლოკაციური პროფილების მართობულად. გეორადიოლოკაციური პროფილები (პროფ. 1-7) გატარებული იქნენ, როგორც ცილინდრის მიმართ დღიურ ზედაპირზე, ასევე სამი პროფილი ცილინდრის მიმართ ვერტიკალურ სიბრტეზე, მათგან ცენტრალური, ცილინდრის განთავსების ზოლზე.

ამოცანა წარმოადგენს ერთგვაროვან გარემოში განთავსებულ ნაწილობრივ წყალშემცველი ცილინდრული ობიექტის გეორადარული ელექტრომაგნიტური ტალღებით შექმნილი რადიოსახის გამოყოფა – დაფიქსირება და იდენტიფიცირება.

### შედეგები და დისკუსია

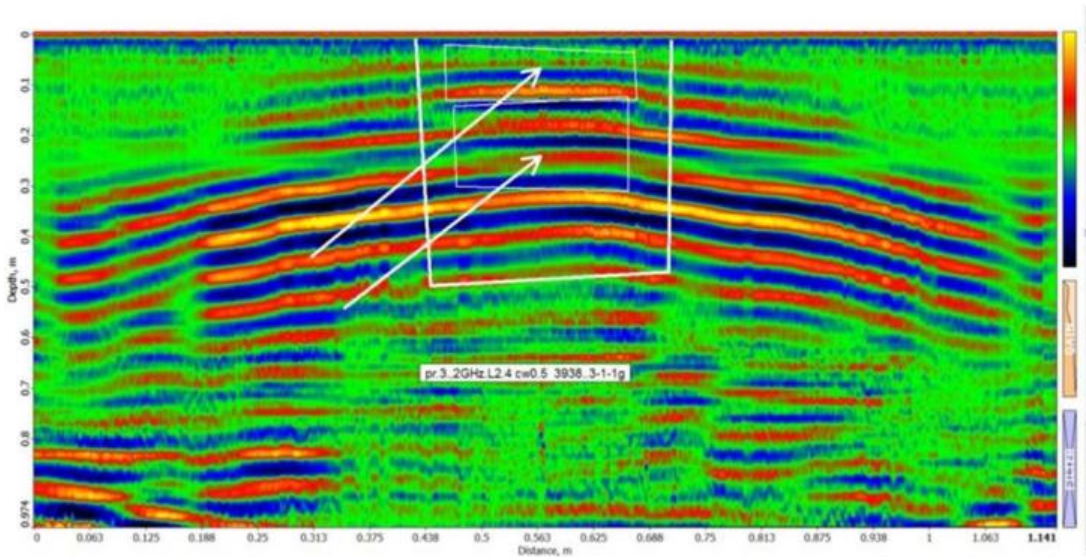
კვლევა შესრულდა გეოფიზიკის ინსტიტუტის გამოყენებითი და ექსპერიმენტალური გეოფიზიკის სექტორის გეორადიოლოკაციური ლაბორატორიის სამოდულო დანადგარზე [3]. გამოკვლეულ იქნა ერთგვაროვან სილოვან გარემოში არაგალვანური კავშირის მქონე [4] ცილინდრული სხეულის სრულად წყლით, სრულად ჰაერით და ნახევრად წყლით შევსებული სამი მოდელი. დღიურ სამოდულო ზედაპირზე გატარებულ იქნა შვიდი გეორადიოლოკაციური (გეორადარი Zond12-e, სოფტი-Prizm2.6) პროფილი, მათგან მოგვყავს მხოლოდ ცენტრალურები.



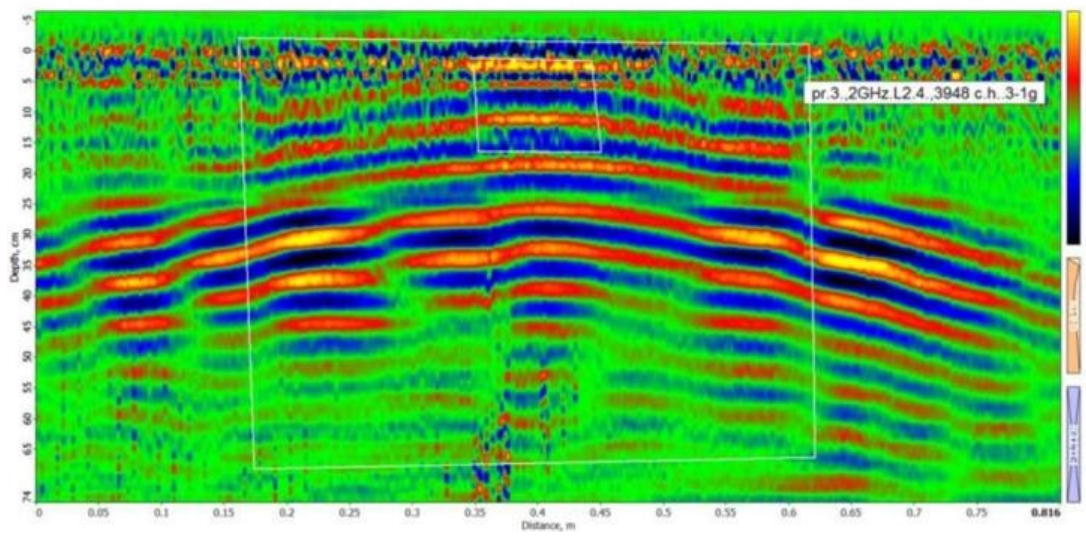
ნახ.1. წარმოდგენილი რადაროგრამა შეესაბამება წყლით სრულად შევსებული ცილინდრის ცენტრალურ პროფილს სიგრძით – 2.4მ, შესრულებულს Zond 12-e, 2გჰც ანტენით დღიურ ზედაპირზე.

ნახ. 1, 2, 3 რადაროგრამების ცილინდრის ზედაპირიდან რადიოსახის დიფრაგირებული ტალღების მიხედვით ინტერპრეტაციიდან ირკვევა, რომ ლოკაცია სამივე შემთხვევაში, განთავსების კოორდინატების მიხედვით, შეესაბამება ცილინდრის დიამეტრის სიგრძეს. ამასთან ირკვევა რომ რადიოსახის თავისებურებები ვლინდება ცილინდრის განთავსების ლოკაციის ქვედა მხარესაც, კერძოდ ნახ. 1-სთვის სინფაზურობის ღერძების მნიშვნელოვანი გამოკვეთილობა, ინტენსივობის მკვეთრი კლება დისტანციებზე 1-1.18მ და სიღრმეებზე 0.3-0.5მ, რაც ეკრანირებულ ხასიათს ატარებს.

ნახ 2-სთვის რადიოსახის სინფაზურობის ღერძების მკვეთრად გაყოფა ორ ნაწილად 0.1-0.25მ სიღრმეებისთვის მკაფიოდ ახასიათებს სივრცის ჰაერი-წყალი გამყოფი ზედაპირის არსებობას. ამასთან ერთად, ქვედა ვრცელი ნაწილი 0.3-0.5მ სიმძლავრით ასევე მაკრანირებულ ხასიათს ატარებს.



ნახ.2. წარმოდგენილია რადაროგრამა წყლით ნახევრად შევსებული ცილინდრის ცენტრალური პროფილით სიგრძით- 2.4მ (მოტანილია-2მ-სთვის) გადაკვეთისას Zond 12-e, 2გჰც ანტენით.



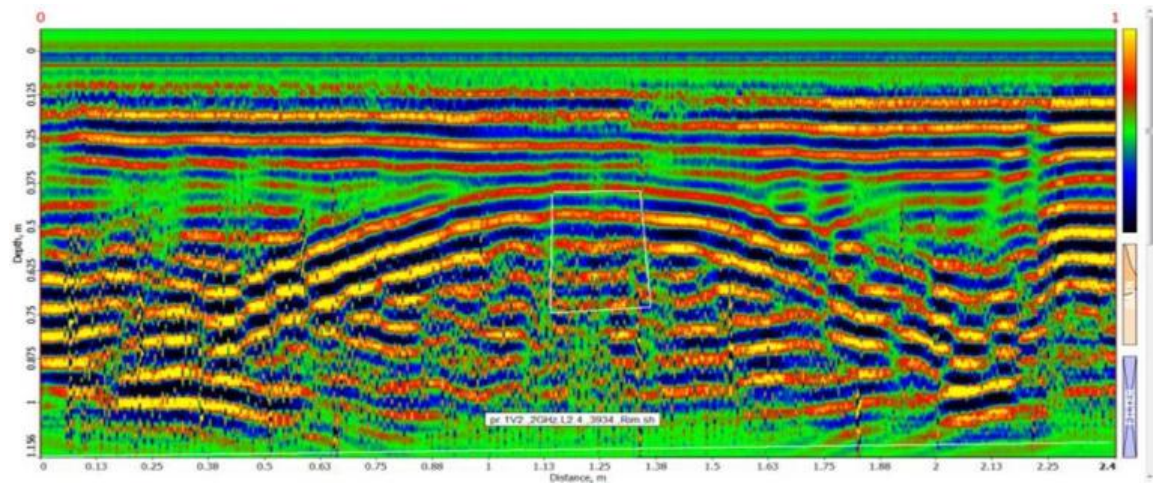
ნახ. 3. წარმოდგენილია რადაროგრამა ჰაერით სრულად შევსებული ცილინდრის ცენტრალური პროფილით სიგრძით- 2.4მ (მოტანილია 1.5მ) გადაკვეთისას Zond 12-e 2გჰც ანტენით.

ნახ. 3 ჰაერის შემცველი ცილინდრის რადიოსახე შეიცავს სინფაზურობის ღერძების განსაკუთრებულობას 0.15-0.25მ სიღრმეებისთვის, რომელიც სიგანით შეესაბამება ცილინდრის დიამეტრს, ხოლო სიღრმით 0.3-0.5მ სინფაზურობის ღერძების ინტერფერენციულ ხასიათს ატარებს.

მპლავრი ინტერფერენციული სურათი, რაც სამივე ცილინდრულ მოდელს ახასიათებს დაახლოებით 0.05-1მ დისტანციებზე და დაახლოებით 0.7მ სიღრმეებისთვის, დიფრაქციული-რევერბერაციული მოვლენების სუპერპოზიციის შედეგი უნდა იყოს სამოდულო დანადგარის ვერტიკალური კედლებიდან და მოითხოვს ვერტიკალური გეორადიოლოკაციური ექსპოზიციიდან დამატებით გამოკვლევებს.

ჩატარდა ჰორიზონტალურად განთავსებული ცილინდრის მოდელების გეორადარული გამოკვლევა ვერტიკალური სიბრტყის მხრიდან, გეორადიოლოკაციური პროფილები გატარდა ცილინდრების ღერძების მართობულად საკვლევი სივრცის გვერდით წახნაგზე.

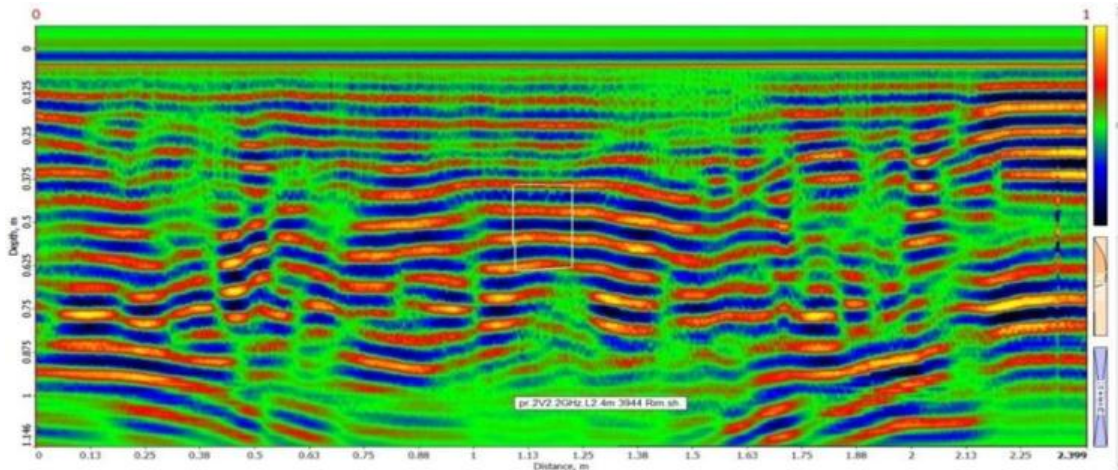
ტრასირებისა და მორჩევის ოპციების გამოყენებით, თეთრი წირებით მონიშნული (ნახ. 4), მართკუთხედი შეესაბამება წყლით სრულად შევსებული ცილინდრის ლოკაციას. ის წარმოადგენს ვერტიკალური სიბრტყიდან გეორადიოლოკაციური ექსპონირებით პროფილ-1V2, 2GHz, L2.4m, Rim. რადიოსახეს. უნდა აღინიშნოს, რომ რადიოსახის ზომა თვით ობიექტის ზომებთან შედარებით დაახლოებით 10 ჯერ მეტია. ასევე მნიშვნელოვანია აღინიშნოს, რომ თვით ცილინდრის კედლები ქმნიან სამოდულო სივრცის კედლების მიმართ მცირე ზომის „ბოუ-თაის“, რაც სავსებით გასაგებია და ქმნის დამატებით დამაზუსტებელ ნიშანს პარალელური კედლების არსებობის დასადასტურებლად.



ნახ.4. წარმოდგენილი რადაროგრამა შეესაბამება წყლით სრულად შევსებული ცილინდრის ცენტრალურ პროფილს სივრცით – 2.4მ, შესრულებულს Zond 12-e, 2გჰც ანტენით, ვერტიკალურ სიბრტყეში.

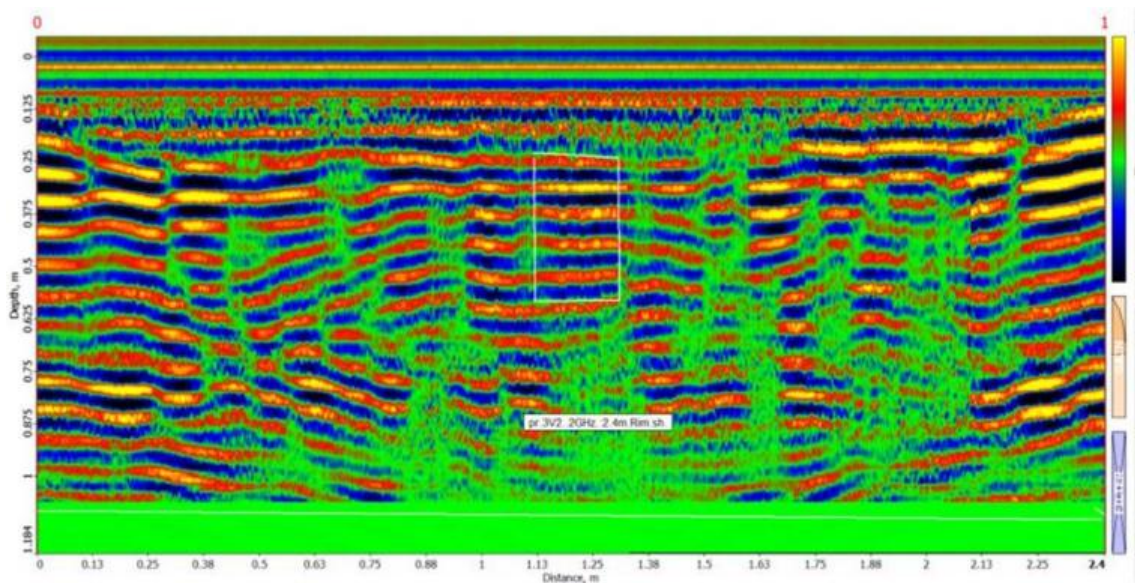
ტრასირებისა და მორჩევის ოპციების გამოყენებით, თეთრი წირებით მონიშნული (ნახ.5), მართკუთხედი შეესაბამება წყლით ნახევრად და ნახევრად ჰაერით შევსებული ცილინდრის ლოკაციას. ის წარმოადგენს ვერტიკალური სიბრტყიდან გეორადიოლოკაციური ექსპონირებით პროფილ-2V2,2GHz,L2.4m,Rim. რადიოსახეს. უნდა აღინიშნოს, რომ რადიოსახის ზომა თვით ობიექტის ზომებთან შედარებით დაახლოებით 10 ჯერ მეტია. ასევე მნიშვნელოვანია აღინიშნოს, რომ თვით ცილინდრის კედლები ქმნიან სამოდულო სივრცის

კედლების მიმართ მცირე ზომის „ბოუ-თაის“, რაც სავსებით გასაგებია და ქმნის დამატებით დამაზუსტებელ ნიშანს პარალელური კედლების არსებობის დასადასტურებლად.



ნახ.5. წარმოდგენილი რადაროგრამა შეესაბამება წყლით ნახევრად და ნახევრად ჰაერით შევსებული ცილინდრის ცენტრალურ პროფილს სიგრძით – 2.4მ, შესრულებულს Zond 12-e, 2გჰც ანტენით, ვერტიკალურ სიბრტყეში.

ძირითადი მომვლები ე.წ. დიფრაქციული „ულვაშის“ შესაბამისი სინფაზურობის ღერძები ქმნიან „პლატოს“ ცილინდრის ზედა ფუძესთან, 1.05-1.25მ დისტანციებთან და სიმძლავრით 0.3მ, რაც სავსებით შეესაბამება ცილინდრის ზომებს.



ნახ.6. წარმოდგენილი რადაროგრამა შეესაბამება ჰაერით შევსებული ცილინდრის ცენტრალურ პროფილს სიგრძით – 2.4მ, შესრულებულს Zond 12-e, 2გჰც ანტენით, ვერტიკალურ სიბრტყეში.

ტრასირებისა და მორჩვევის ოპციების გამოყენებით, თეთრი წირებით მონიშნული (ნახ.6), მართკუთხედი შეესაბამება ჰაერით სრულად შევსებული ცილინდრის ლოკაციას. ის წარმოადგენს ვერტიკალურ სიბრტყიდან გეორადიოლოკაციური ექსპონირებით პროფილ-3V2, 2GHz, L2.4m, Rim. რადიოსახეს. უნდა აღინიშნოს, რომ რადიოსახის ზომა თვით ობიექტის ზომებთან შედარებით დაახლოებით 10 ჯერ მეტია. ასევე მნიშვნელოვანია აღი-

ნიშნოს, რომ თვით ცილინდრის კედლები ქმნიან სამოდულო სივრცის კედლების მიმართ მცირე ზომის „ბოუ-თაის“, რაც სავსებით გასაგებია და ქმნის დამატებით დამაზუსტებელ ნიშანს პარალელური კედლების არსებობის დასადასტურებლად.

ძირითადი მომვლები ე.წ. დიფრაქციული „ულვაშის“ შესაბამისის ინფაზურობის დერმები ქმნიან ჰორიზონტალური სინფაზურობის დერმების ერთობლიობას მონიშნულ მართკუთხედში ცილინდრის ზედა ფუძესთან, 1.1-1.27მ დისტანციებთან და სიმძლავრით 0.3მ, რაც სავსებით შეესაბამება ცილინდრის ზომებს.

ვერტიკალური სიბრტყიდან ჩატარებული გეორადიოლოკაციური პროფილების შედარებითი ანალიზიდან გამომდინარეობს, რომ წყლის შემცველი ცილინდრის რადიოსახე შეესაბამება მკაფიოდ გამოხატულ პარაბოლას, ნახევრად წყალშემცველი და ნახევრად ჰაერ-შემცველი ცილინდრის რადიოსახე ყალიბდება როგორც ზედა ფუძესთან არსებული გადაგვარებული ჰიპერბოლა ორ ბურცობს შორის განთავსებული პლატოთი, ჰაერის სრულად შემცველი ცილინდრი აყალიბებს მხოლოდ ბრტყელი „პლატოს“ შემცველ ჰიპერბოლას.

ელექტრომაგნიტური ველების მსგავსობის თეორიიდან გამომდინარე [2] მსგავსობის კოეფიციენტების გამოყენებით [2], ლაბორატორიულ გეომეტრიულ და სიხშირულ პარამეტრებისთვის შეიძლება დავასკვნათ, რომ სავსე პირობებში ანალოგიური მოდელისთვის ობიექტი შეიძლება იყოს ოთხჯერ მეტი ზომის, შესაბამისი ფორმის რადიოსახით 500მმ-ც ცენტრალური სიხშირისთვის უცვლელი ფარდობითი დიელექტრიკული განვლადობის გარემოსთვის.

ქვემოთ მოგვყავს გეომეტრიული მასშტაბის მახასიათებელი სიგრძის შესაბამისობის ცხრილი 1 სხვადასხვა გეორადიოლოკაციური ტალღის ცენტრალური სიხშირეებისთვის, სამოდულო და სავსე კვლევებისას დაფიქსირებული იდენტური რადიოსახეებისთვის. გადათვალა მოხდა მსგავსობის თეორიის ძირითადი თანაფარდობის გამოყენებაზე დაფუძნებით [2].

ცხრილი 1

$l_m=1$	$f_n$	2GHz	500MHz	300MHz	150MHz	100MHz	75MHz	40MHz
$f_m=2GHz$	$l_n$	$l_n 1m. (f = 2GHz)$	4m	6.67m	13.3m	20m	26.7m	50m
$l_m=1m$ $f_m=500MHz$	$l_n$		1m	1.67m	3.33m	5m	6.67m	12.5m
$l_m=1m$ $f_m=300MHz$	$l_n$			1m	2m	3m	4m	7.5m
$l_m=1m$ $f_m=150MHz$	$l_n$				1m	1.5m	2m	3.75m
$l_m=1m$ $f_m=100MHz$	$l_n$					1m	1.33m	2.5m
$l_m=1m$ $f_m=75MHz$	$l_n$						1m	1.88m

ინდექსი – m, შეესაბამება მოდელურ პარამეტრებს, ხოლო ინდექსი – n, შეესაბამება სავსე, ბუნებრივ პარამეტრებს, უცვლელი ფარდობითი დიელექტრიკული განვლადობის

პირობებში. განსხვავებული ფარდობითი დიელექტრიკული განვლადობის შემთხვევაში გაითვალისწინება შესაბამისი მსგავსობის კოეფიციენტის რიცხვითი მნიშვნელობები [4].

## ლიტერატურა – References – Литература

- [1] Lezhava Z., Tsikarishvili K., Asanidze L., Chikhradze N., Karalashvili T., Odilavadze D., Tarkhishvili A.. The results of a complex study of the Turchu limestone hollow (polje). Western Georgia, Caucasus. European Journal of Geography – ISSN 1792-1341, DOI: <https://doi.org/10.48088/ejg.z.lez.12.3.006.0202>. Volume 12, Issue 3, 03-Nov-2021, pp. 006 – 020.
- [2] Odilavadze D.T., Chelidze T.L. Geophysical modeling of the georadiolocation field in direct and inverse tasks of electrodynamics. Geophysical Journal V.35, №4, 2013, p.p. 154-160 (in Russian).
- [3] Odilavadze D.T., Chelidze, T.L. Physical Modeling of Lava Tubes in the GPR. Mikheil Nodia Institute of Geophysics, Transactions, vol. LXVII, ISSN 1512-1135, Publishing house of the Tbilisi State University, Tbilisi, 2017, pp. 129-142.
- [4] Odilavadze D., Chelidze T., Tskhvediasvili G. Georadiolocation Physical Modeling for Disk-Shaped Voids. Journal of the Georgian Geophysical Society, Physics of Solid Earth, vol. 18, 2015.

### დიელექტრიკულ გარემოში განთავსებული განსხვავებული დიელექტრიკული შემავსებლებით აგებული ცილინდრული სხეულების გეორადიოლოკაციური სახეები და მათი იდენტიფიცირება ობიექტებთან

ოდილავაძე დ., ჭელიძე თ, იავოლოვსკაია ო.

#### რეზიუმე

გეორადიოლოკაციური ფიზიკური მოდელირების მეთოდით სამთო, გეოტექნიკური, სპელეოლოგიური, არქეოლოგიური, სპეციფიკური მიწისქვეშა სიცარიელების გამოკვლევა. მოდელები შეიცავენ წყლით, ჰაერით და ნაწილობრივად წყალ-ჰაერით შევსებულ ცილინდრული ზედაპირით შემოფარგლულ სივრცეებს. გეორადიოლოკაციური (გეორადარი Zond12-e, სოფტი-Prizm2.6) პროფილური კვლევა განხორციელდა მოდელის ჰორიზონტალურად განთავსების სიბრტყის მიმართ დღიურ ზედაპირისა და დღიური ზედაპირის მიმართ მართობულ სიბრტყეებში. მიღებული შედეგების მიხედვით იდენტიფიცირდა და დაფიქსირდა შესაბამისი რადიოსახეები და მათი ბუნებრივ პირობებში განთავსებისას სიხშირული და გეომეტრიული შესაბამისობები.

საკვანძო სიტყვები: საინჟინრო გეოფიზიკა, გეორადარი, სპელეოლოგია.

### GEORADIOLOCATION IMAGES OF CYLINDRICAL BODIES BUILT WITH DIFFERENT DIELECTRIC FILLERS, PLACED IN A DIELECTRIC ENVIRONMENT AND THEIR IDENTIFICATION WITH OBJECTS

Odilavadze D., Chelidze T., Yavolovskaya O.

#### Abstract

Study of mountain, geotechnical, speleological, archaeological, specific underground voids using the method of ground penetrating radar physical modeling. The models contain spaces limited by a cylindrical surface filled with water, air and partially a water-air environment. GPR (Zond12-e ground penetrating radar, soft-Prizm2.6) profile survey was carried out in planes directed to the plane of the horizontal location of the model relative to the day surface and in a plane perpendicular to the day

surface. Based on the results obtained, the corresponding radio images, their frequency and geometric correspondences in natural conditions were identified and recorded.

**Key words:** engineering geophysics, georadar, speleology.

**ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННЫЕ ОБРАЗЫ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ТЕЛ, СОСТАВЛЕННЫХ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ И ПОМЕЩЕННЫХ В ДИЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ СРЕДУ, И ИХ ИДЕНТИФИКАЦИЯ С ОБЪЕКТАМИ**

**Одилавадзе Д., Челидзе Т., Яволовская О.**

**Реферат**

Исследование горных, геотехнических, спелеологических, археологических, специфических подземных пустот методом георадиолокационного физического моделирования. В моделях присутствуют пространства, ограниченные цилиндрической поверхностью, заполненной водой, воздухом и частично водно-воздушной средой. Георадиолокационная (георадар Зонд12-е, софт-Призма2.6) профильная съемка проводилась в плоскостях, направленных к плоскости горизонтального расположения модели относительно дневной поверхности и в плоскости перпендикулярно к дневной поверхности. По полученным результатам идентифицированы и зафиксированы соответствующие радиообразы, их частотные и геометрические соответствия в природных условиях.

**Ключевые слова:** инженерная геофизика, георадар, спелеология.