

## Физическое моделирование лавовых трубок в георадиолокации.

Одилавадзе Т.Д., Челидзе, Т.Л.

Институт геофизики им. М. З. Нодиа Тбилисского государственного университета, ул.  
Алексидзе No. 1, 0160, Тбилиси, Грузия, odildavit@gmail.com

Лавовые трубки в геологии, геофизике, привлекают к себе всё большее и большее внимание. Эти объекты представляют собой находящиеся в прикоровой области 15-20 м. планет (Земля, Луна, Марс..) лавовые каналы диаметром от метровых до десятков и более метров, а их длина достигает десятков километров. Лавовые трубки наблюдаются в базальтовых средах от вулканических конусов с крутизной 6-8 градусов. Вблизи подобных вулканических аппаратов, на территории Грузии методом георадиолокации могут быть зафиксированы такие объекты - лавовые трубки, особенно в Южной Грузии, богатой лавовыми проявлениями базальтовых сред.

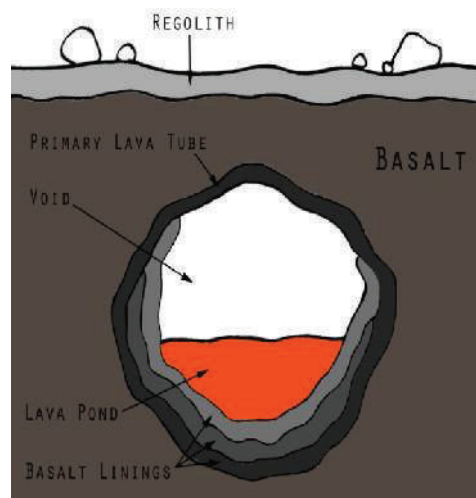
Метод георадиолокации позволяет найти и распознать объект при определённом радиобразе целевого объекта. С целью определения радиобраза исследуемого объекта можно применить метод физического моделирования в георадиолокации с определением и применением коэффициентов подобия электромагнитных полей, развитый авторами в (1,2).

Лавовые трубки отличаются разнообразностью, как по форме, так и по расположению и по магматическому составу. Для примера приводим фотографии некоторых лавовых трубок:





Значительным отличительным признаком лавовых трубок от других продолговатых пустот, расположенных под землёй (водоводы, карстовые пустоты, антропогенные туннели..) является их сложная слоистость.



Это выражается в наличии разной толщины шлаковых слоёв и отличии состава слоёв русла и „обсадки“ лавовой трубки, зависящего от состава разновременных лавовых протоков.

Важно отметить, что лавовые трубки в начальной стадии своего функционирования представляют собой хорошо сформированные округлые трубки, тогда, как после нескольких выходов лавы в трубке появляется горизонтальная поверхность остывшей лавы.

Поэтому следует выделить несколько форм строения лавовых трубок:

1. Лавовые трубки геометрически подобные трубе.
2. Лавовые трубки частично заполненные лавовым наполнителем с горизонтальной поверхностью.
3. Лавовые трубки, находящиеся в шлаковом обрамлении.
4. Многослойные лавовые трубки с разносоставными горизонтальными наполнителями в шлаковых трубчатых средах.

Лавовые трубки имеют оконечность с выходом на резкое изменение рельефа поверхности сброса например: к каньону, ущелью, речному, морскому или океаническому берегу с резким изменением высоты обрыва выхода лавы. Такие условия рельефа в Грузии наблюдаются в нижней Картлине местах лавовых проявлений с неоднородным рельефом (ущелье, каньоны..)

Лавовые трубки имеют такую замечательную особенность, как перерождение одиночной трубки в трубку значительно меньшего диаметра а также перерождение одной трубки в несколько трубок меньшего масштаба. Ниже приведены несколько примерных фотографий таких случаев.



В Грузии есть геологические условия для формирования лавовых трубок, открытие которых и исследование значительно повысило бы туристический потенциал страны.

Так как лавовые трубки, по своей природе, расположены близко к поверхности Земли (первые десятки метров), то для их исследования предпочтительнее использовать такой современный и прогрессивный геофизический метод, который применяется для исследования

подобных глубин под землёй. Таким успешным геофизическим методом является георадиолокация, которая основана на возможности фиксировать различные диэлектрические проницаемости среды с применением электромагнитных волн высоких и сверхвысоких частот георадара.

Для определения расположения подземных объектов и, в ряде случаев определения их сущности пользуются радиообразом объекта, т.е. фиксирование и „расшифровка“, которых осуществляется на основе различия геометрической формы и различия диэлектрической проницаемости .

В последнее время, в секторе „прикладной и экспериментальной геофизики” , Института геофизики ТГУ, был разработан и успешно внедрён способ- подобности георадиолокации физического моделирования (Одилавадзе,Челидзе) посредством которого возможно проводить исследования и решения георадиолокационных задач на установке физического моделирования и распространение их результатов на полевые, крупномасштабные георадиолокационные объекты с условием применения коэффициентов подобия электромагнитных полей. В частности, установление „лабораторного” радиообраза в прямой задаче и распространение результата на „полевую” обратную задачу .



Для определения радиообраза лавовых трубок в лаборатории „Физического моделирования георадиолокационных полей”, сектора „Прикладной и экспериментальной геофизики”, была

разработана и запланирована серия исследований георадиолокационного физического моделирования для установления радиообраза лавовых трубок разных конфигураций. Был использован георадар „ Зонд 12-е, с штатной антенной 2ГГц, и программным обеспечением „Призм 2.5,„

Исследование и решение прямой задачи проводилось для песочной среды (габаритом 2.4м.Х1.25м.Х1.25м.) смоделями на разных глубинах при проведении георадиолокационных профилей над ними и интерпретации полученных радарограмм.

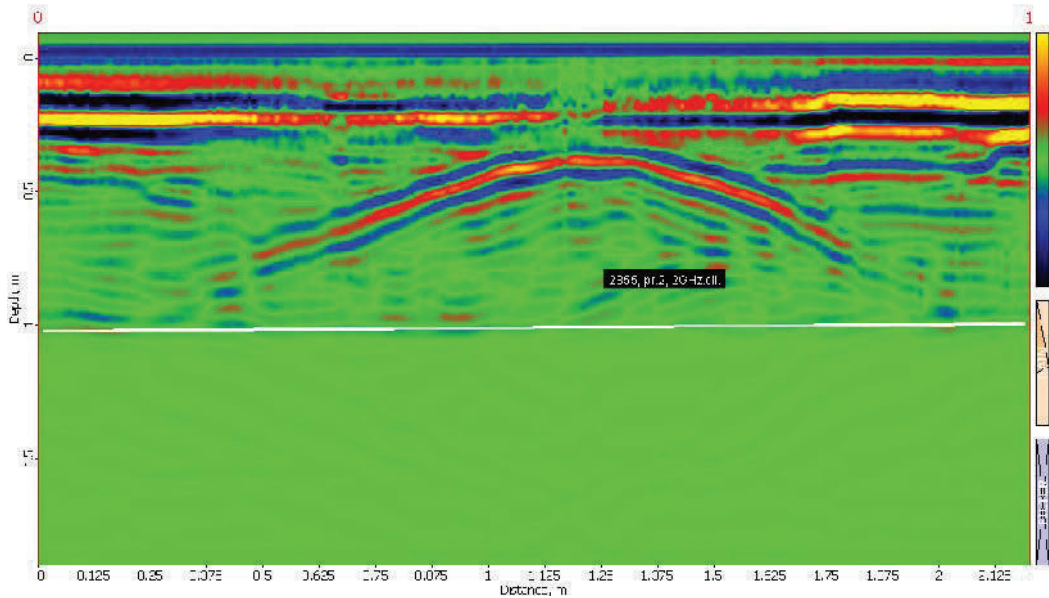


Рис.1, Модель:воздухо-содержащая пластмассовая трубка диаметром =15см., длиной=60см.Профиль пересекает модель перпендикулярно по центру.

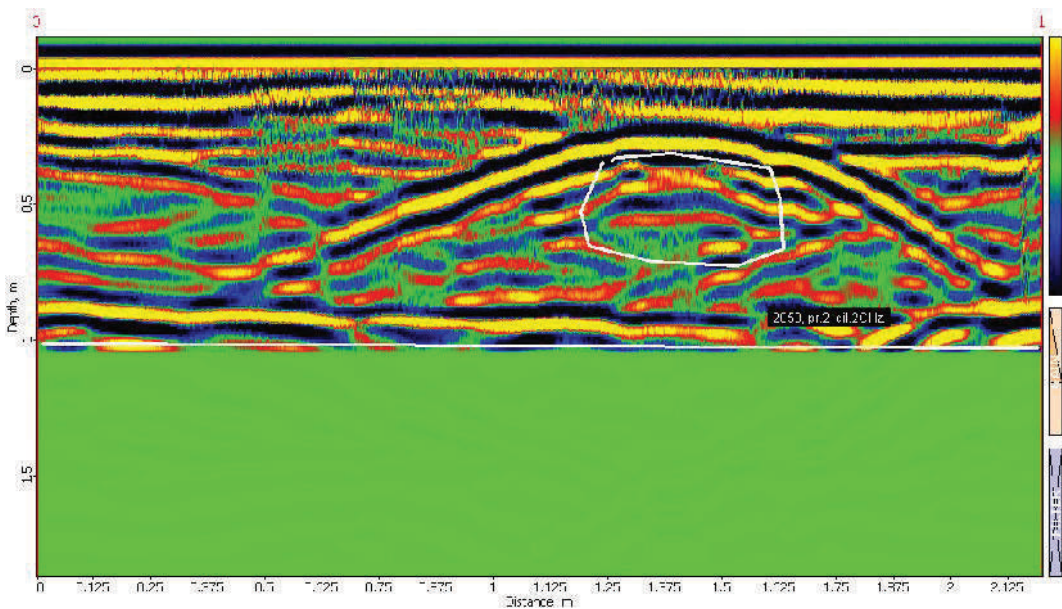


Рис.1, Модель: воздухо-содержащая пластмассовая трубка диаметром =15см., длиной=60см. Профиль пересекает модель перпендикулярно по центру, используется опция усиления, Выделилось „Боу-гаи, \1,2,3, \ , образ, подтверждающий наличие пустоты.

Представленные на радарограмме излучённые электромагнитные волны содержат информацию в форме геометрии осей синфазности и текстуры среды. От погребённого объекта зафиксированные отражённые и преломлённые волны формируют радиообраз , в частности

параболой формируется часть образа от отражённых волн, а Боу-таи формируется преломлёнными эл. маг. волнами, в соответствии с принципом суперпозиции электромагнитного поля, они представляют один цельный образ, который характеризует трубку.

Ниже приводятся выдержки из работ, проведённых группой авторов исследующих методом математического моделирования образы трубок разных диаметров. \4\

Были исследованы модели лавовых полузаполненных трубок с использованием „МАТЛАБ,, . Были установлены радиообразы для лавовых трубок разного диаметра в идеальной однородной среде.

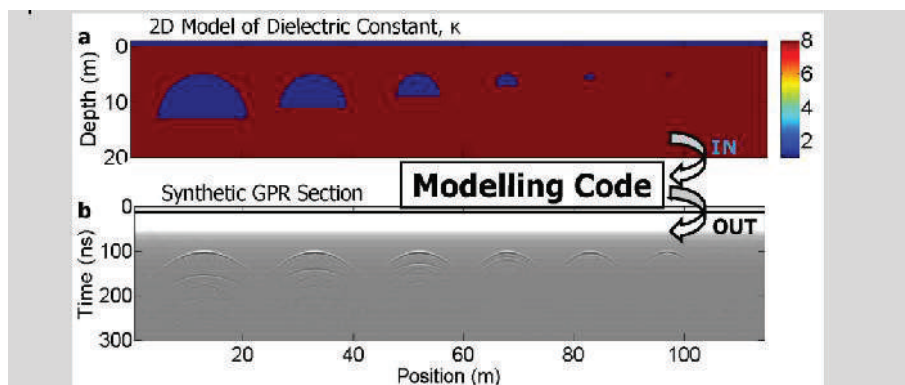


Рис.3, Радиообразы трубок разных диаметров с заполнением средой до срединного среза трубки. \4\

Нами, после увеличения картинки образов на рис.4, были выявлены Боу-таи, находящиеся под параболами радиообраза, что представляет полный радиообраз данного объекта.

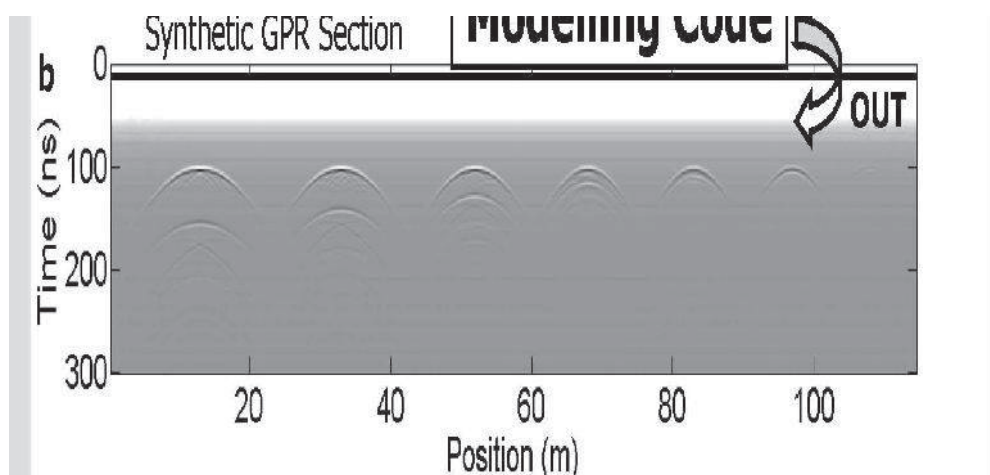


Рис.4, представлены увеличенные радиообразы моделей лавовых трубок разных диаметров с половинным наполнением. \4\

Ниже, на рис.5, мы приводим радиообраз модели параллелепипеда („ящик,,), на котором ясно читается как деформированная парабола, так и „Боу-таи,, под ним \1,2\.

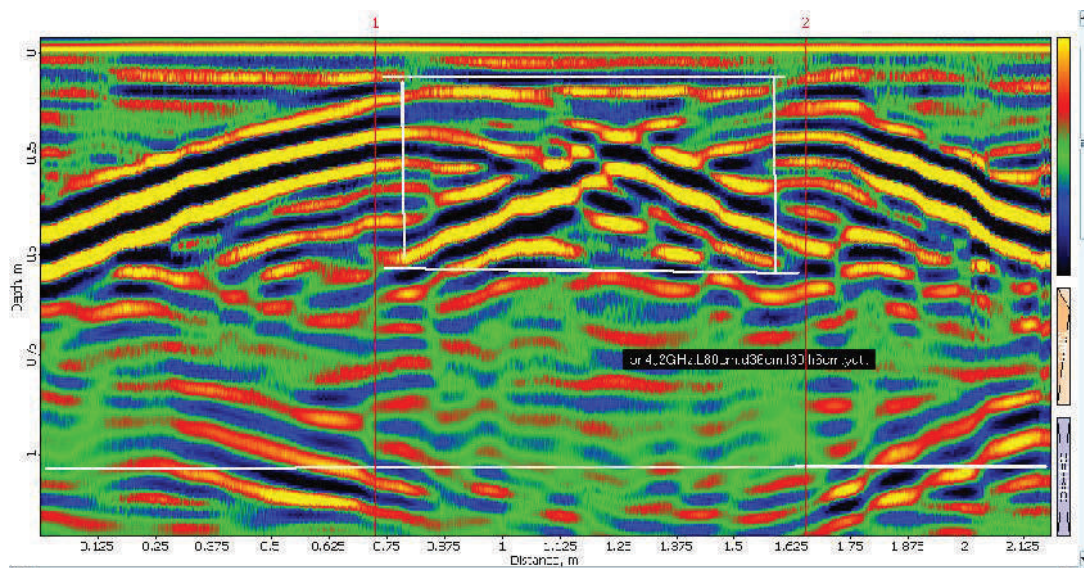


Рис.5, на радарограмме представлен т.н. радиообраз модели „ящика,, реальные размеры ящика отмечены белыми линиями.

Модель „ящика,, может быть принята в отношении трубки, как предельное перерождение трубки с очень явно выражено „Боу-таи,,.

Перейдём к рассмотрению более приближённой к реалиям физической модели лавовой трубки в шлаковом обрамлении. Первый слой лавовой трубки- шлак, поэтому была выбрана толстостенная асбестовая трубка с диэлектрической проницаемостью, отличной от вмещающей среды, чья радарограмма и представлена на рис.6.

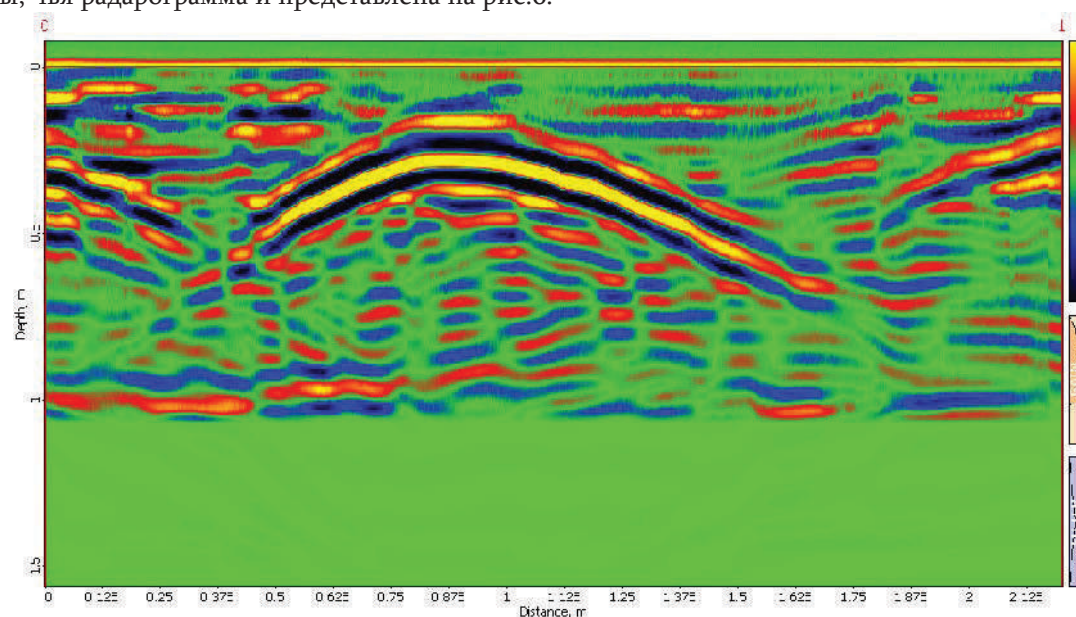


Рис.6, Радарограмма модели лавовой трубки в шлаковом обрамлении(толстостенной трубки).

Важно заметить, что радиообраз толстостенной трубки на радарограмме представлен только деформированной параболой, чья вершина сверху и снизу ограничена параллельными отрезками осей синфазности. Отсутствие „Боу-таи,, должно быть вызвано сильным поглощением толстыми стенами трубки с высокой диэлектрической проницаемостью (имитация шлака), преломлённых волн, создающих часть образа в виде „Боу-таи,,. Поэтому, радиообраз лавовой трубки с толстыми стенками и значительным содержанием шлакового обрамления, может и не соответствовать классической форме и потребует последующей камеральной обработки.

Ниже, на Рис.7 приводится модель расположенных одна над другой лавовых трубок (расстояние между которыми равно одной пятой диаметра трубки) с воздушным заполнением. Из приведённой радарограммы видно, что радиообраз частично соответствует „классическому“, „В частности, отмечается наличие частично деформированного „Боу-тай“, под частично деформированной параболой.

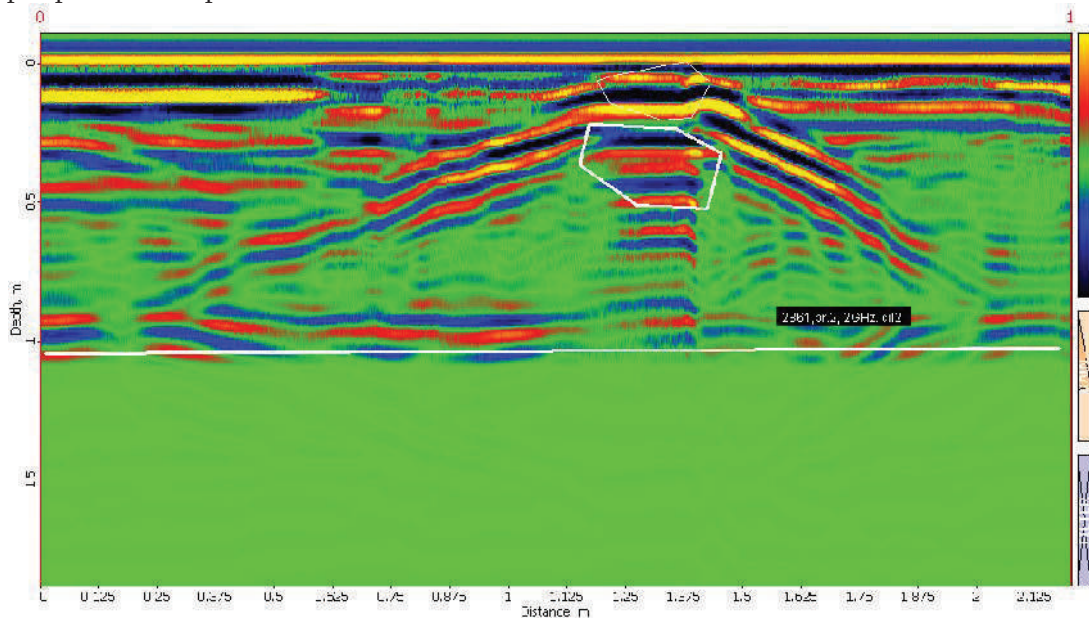


Рис.7. Приведена радарограмма двух параллельных расположенных одна над другой труб в физической среде (песок) - модели лавовых трубок. Отмечены „Боу-тай“, параллельные отрезкам осей синфазностина вершине параболы.

На радарограммердиообраза отмечается фиксирование дифрагированных волн в виде коротких параллельных осей синфазностипод „Боу-тай“,.

Далее приводится радарограммердиообраза вертикально расположенных параллельных труб с частично заполненной средой(песок) с горизонтальной поверхностью для верхней трубки – модели лавовых трубок на рис.8.

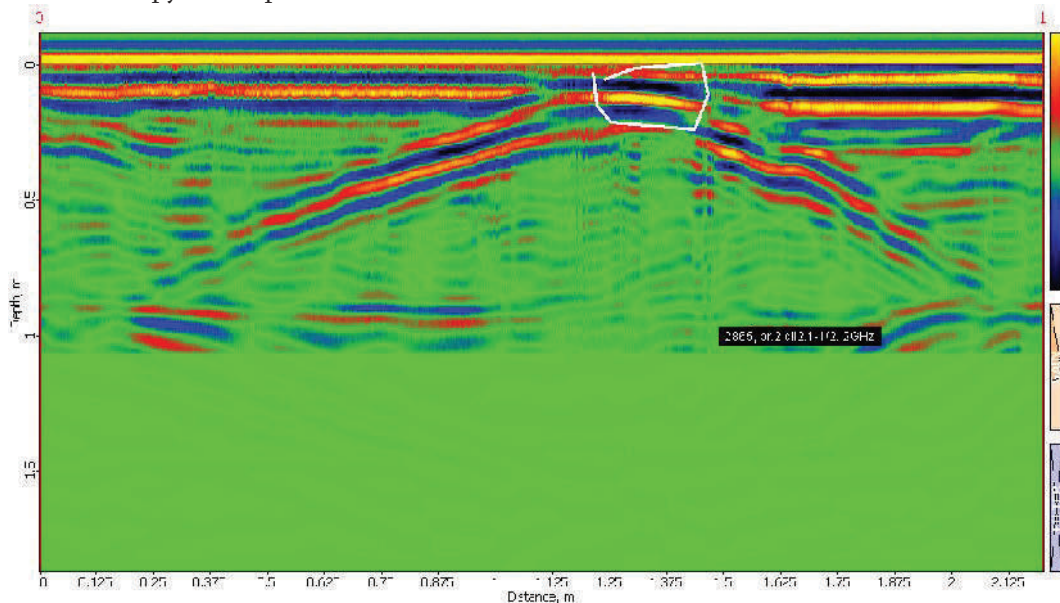


Рис.8 . Частично заполненные(верхние) вертикально расположенные параллельные трубки в песочной среде. Важно отметить, что в данном случае не фиксируется распространение вниз дифрагированных волнрадиообраза.



На Рис.9 приводится образ модели лавовых трубок с двумя вертикально расположенными трубами, где обе заполнены средой до половины на уровне горизонтального диаметра.

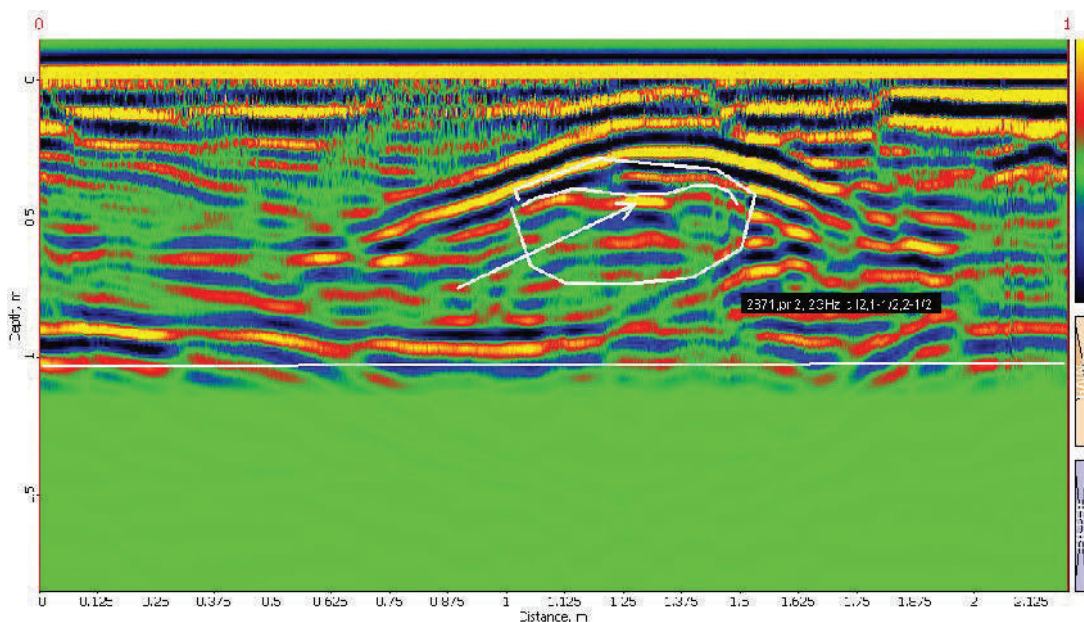


Рис.9 представлена радарограмма для модели двух вертикально расположенных лавовых трубок с наполовину заполненной (песком) внутренней частью.

Данный радиообраз имеет сложное строение, в частности выделяется, расположенное под параболой, часть „Боу-тай,, , который с низу подпирается осями синфазности в виде коротких параллельных отрезков дифрагированных волн , которые по нашему мнению, представляет собой усечённую часть образа, как резонатора радиоволн. Интересно отметить что на этом радиообразе выделяется (указано стрелкой) характерная кривая (то –же фиксируется для радиообраза „ящика,, для отдельной трубки в частично деформированном виде.), что и совпадает с выборкой из нижеприведённой статьи Рис.10 \4\ радиообразом, для обработанного радиообраза одиночной полузаполненной трубки с характерной волновой линией синфазности, указано стрелкой (зелёной).

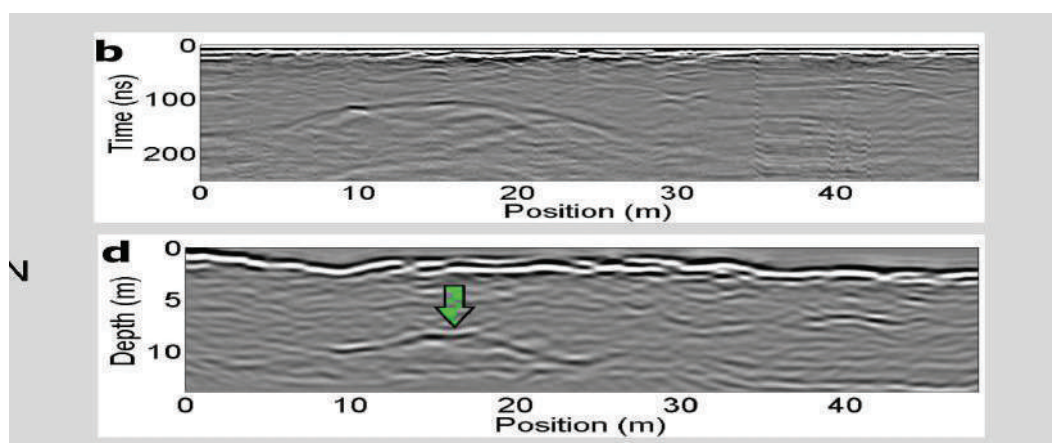


Рис.10, Обработанный образ одиночной полузаполненной трубки с характерной волновой линией, указано стрелкой (зелёной)\ 4\ .

На рис .11 представлена радарограмма для модели двух вертикально расположенных лавовых полузаполненных трубок, усложнённая сферическим (диаметр лавовой трубки) пустотным включением и отнесенная от трубок на расстояние в 5 раз больше диаметра трубки.

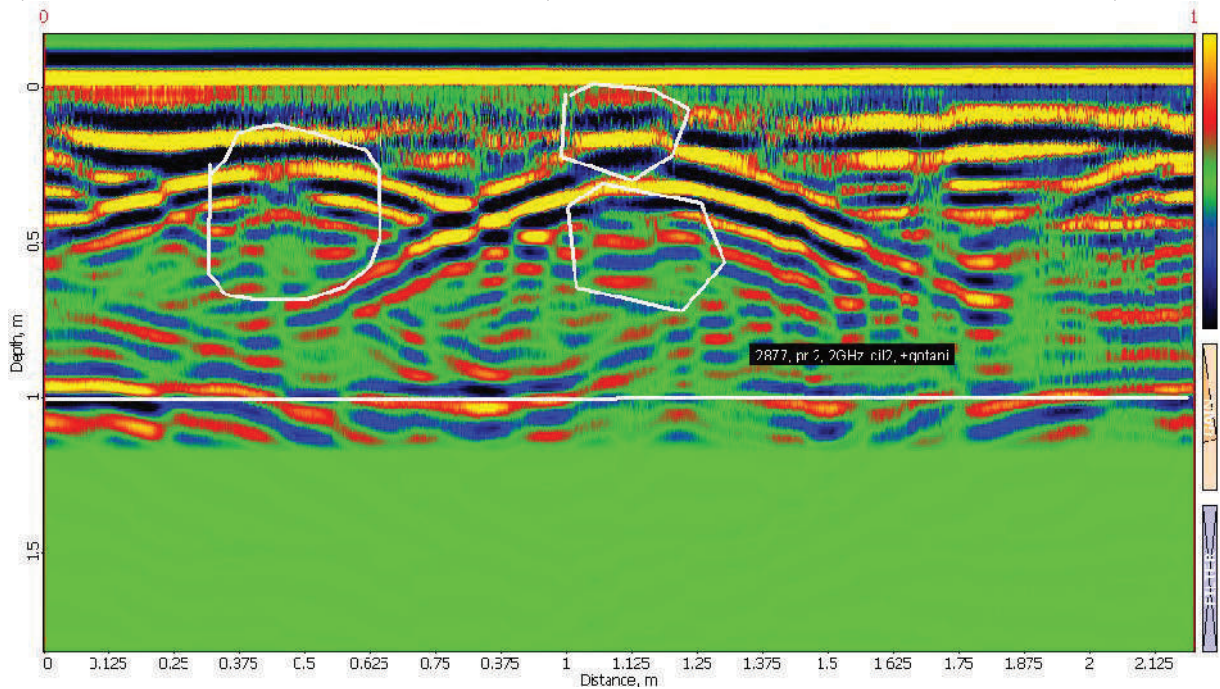


Рис.11, Две в вертикальной плоскости, одна над другой, расположенные параллельно, ориентированные лавовые трубки, усложнённые сферическим включением (радарограмма).

На радарограмме данной модели читается как характерный радиообраз двух трубок (вертикальная плоскость), так и образ сферической пустоты (обведено белой линией). Кроме этого, сам сферический объект и вертикально расположенные параллельные трубки, создают между собой радиообраз подобное „Боу-тай“, здесь должно иметь место резонансное явление.

Далее (рис.12) мы приводим радиообразы, сформированные преломленными электромагнитными волнами для резонаторов цилиндрических форм разных габаритов, которые проявляются в полном или усечённом виде.\5\

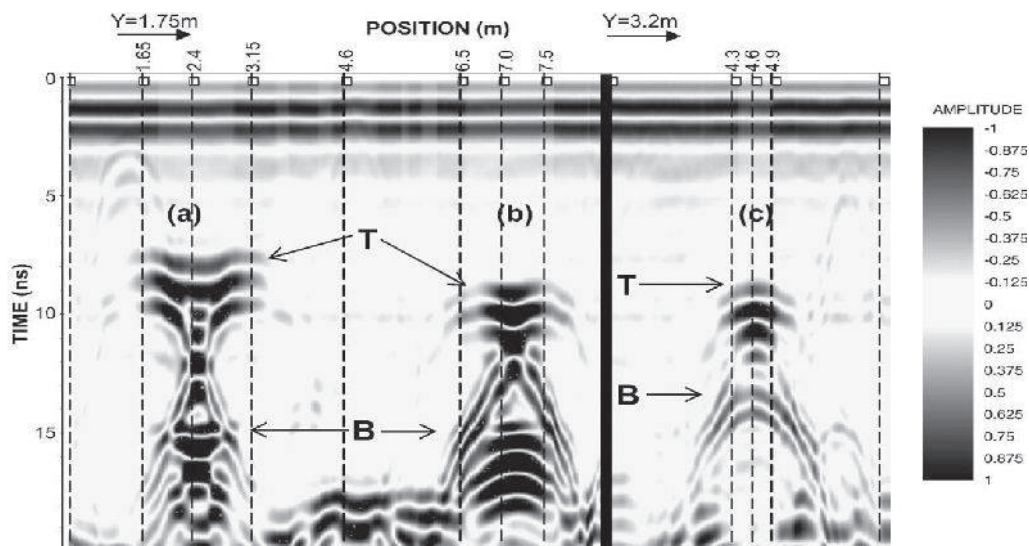


Рис.12, данные получены для частоты 500МГц. Для глубины (20нсек) расположения цилиндров с диаметрами 1.5м.,1м.,0.6м.

Сопоставление радиообразов полых резонаторов указывает на общий резонансный характер исследуемых процессов.

Радиообраз перерождённой лавовой трубки в трубку значительно меньшего диаметра показан на радарограммах Рис.13 и Рис.14. Первая для основной лавовой трубки, а следующая радарограмма для перерождённой лавовой трубки с меньшим диаметром.

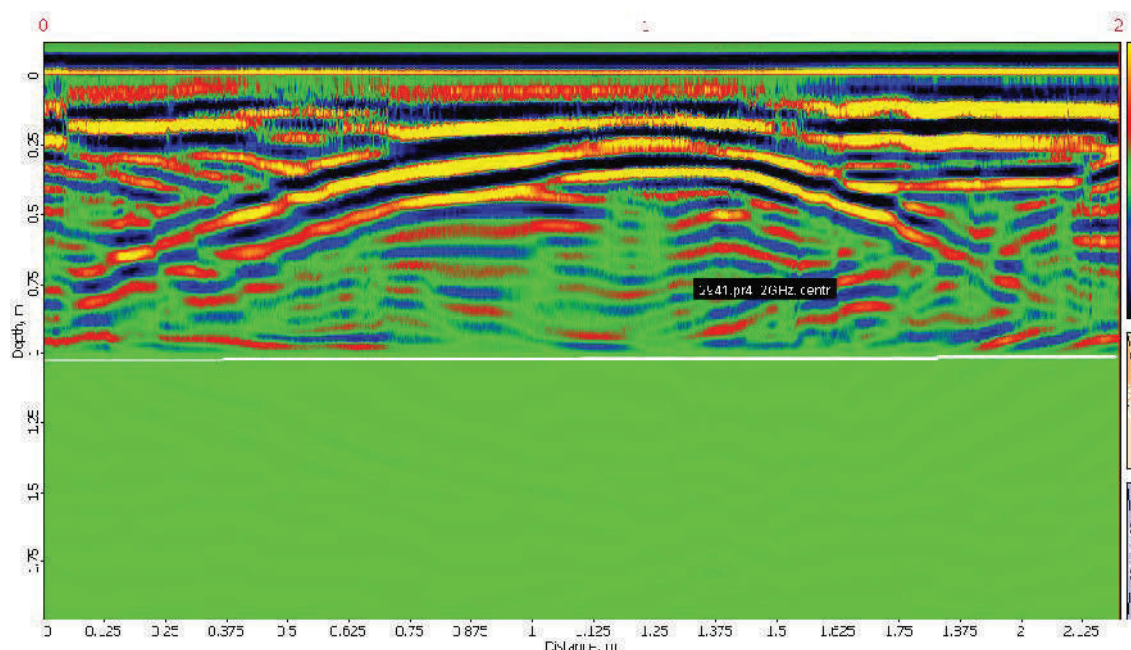


Рис.13, основная лавовая трубка (диаметр=0.5м.) заполнена с нижней стороны активированным углём, в котором находится трубка с меньшим диаметром (01.5м.) с воздушным наполнителем, профиль проходит через центр.

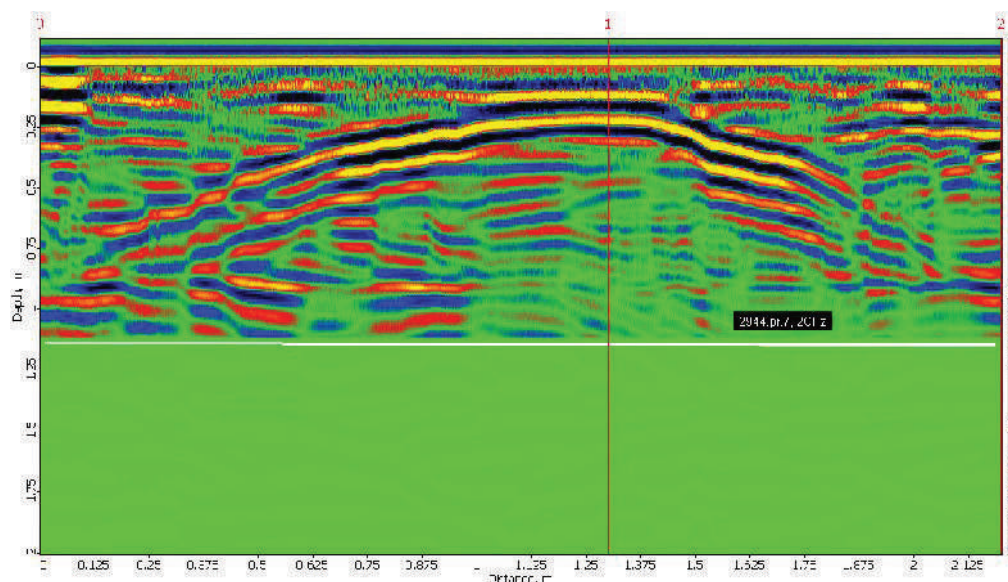


Рис.14. профиль проходит через центр малой трубки (радарограмма).

На радиообразе отчётливо выявился признак перерождения лавовой трубки в лавовую трубку меньшего масштаба. Вместе с уменьшением геометрического размера происходит, уменьшение образа с сохранением формы подобия.

Горизонтально-параллельно расположенные две трубки. Модель лавовых трубок горизонтального расположения приводится ниже.

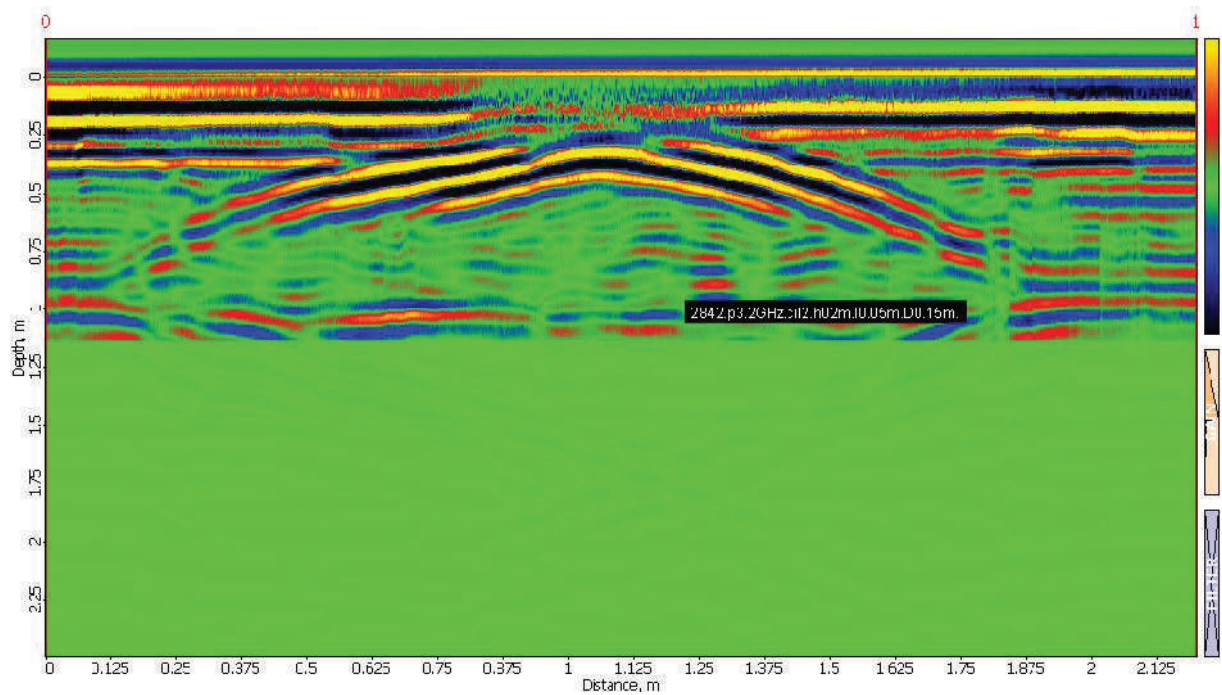


Рис.15. Горизонтально расположенные две трубки с воздушным наполнением, расположены на расстоянии трети диаметра (0.05м.)

Данный радиобраз составляет одно целое, замечается сглаживание и расширение вершины параболы. На склонах параболы наблюдаются симметрично расположенные „узлы,,

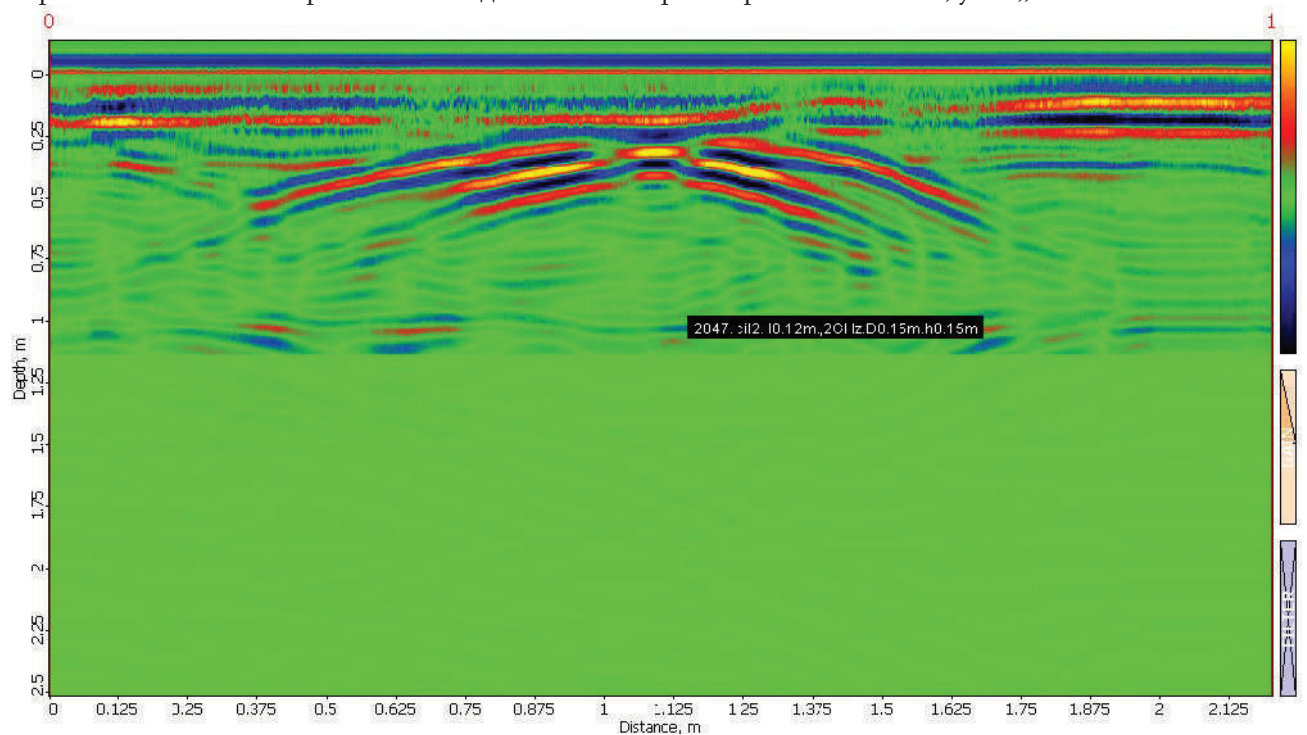


Рис.16. Горизонтально расположенные воздухо-содержащие трубки разнесены на расстоянии 0.12м. Радиобраз создал характерно, своеобразно расположенные оси синфазности.

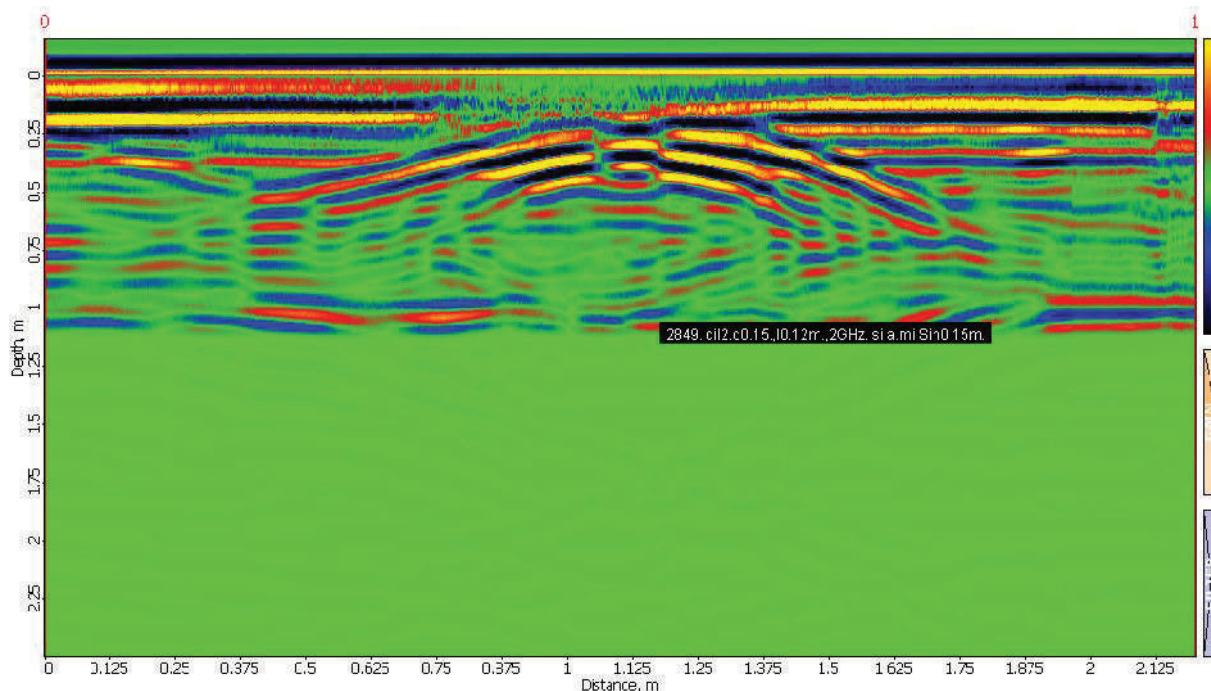


Рис.18. Горизонтально расположенные частично воздушно-содержащие две трубки с горизонтальным внутренним поверхностным наполнителем (воздух 30%, песок 70%) разнесены на расстояние 0.12м.

Радиообраз стал более явно выраженным, с характерным расположением осей синфазности.

Заключение: используя способ сравнительного георадиолокационного физического моделирования и метод математического моделирования в георадиолокации выявились реальные радиообразы моделей лавовых трубок и подобных объектов, которые можно распространить на полевые объекты и, тем самым решить, обратную задачу георадиолокации для изыскания, определения локации и определения сущности лавовых трубок и подобных пустот.

#### Литература:

1. D.T. Odilavadze, T.L. Chelidze. Physical simulation of georadiolocation field in direct and inverse problems of electrodynamics. Geophysical Journal (Ukraine), V.35, №4, 2013 (in Russian)
2. D. Odilavadze, T. Chelidze, G. Tskhvediasvili. Georadiolocation physical modeling for disk-shaped voids. JOURNAL OF THE GEORGIAN GEOPHYSICAL SOCIETY vol.18A 2015. Pp.27-40
3. Neal A. Ground-penetrating radar and its use in sedimentology: principles, problems and progress. Earth-Sci. Rev. 2004. 66, 261—330pp.
4. Rowell, C.R., Pidlisecky, A., Irving, J.D., Ferguson, R.J. University of Calgary, [rowell.colin@gmail.com](mailto:rowell.colin@gmail.com), [adamapid@ucalgary.ca](mailto:adamapid@ucalgary.ca), [carjfergus@ucalgary.ca](mailto:carjfergus@ucalgary.ca) University of Guelph, [james.d.irving@gmail.com](mailto:james.d.irving@gmail.com). 2010.
5. Lev Kofman a, Amit Ronen b\*, Sam Frydman a. Detection of model voids by identifying reverberation phenomena in GPR records. Journal of Applied Geophysics 59 (2006), 284– 299pp.

## ლავური მილების ფიზიკური მოდელირება გეორადიოლოკაციაში.

დ. ოდილავაძე, თ. ჭელიძე

### რეზიუმე

ლავური მილების ფენომენი სულ მეტ და მეტ ინტერესს იწვევს გეოლოგია-გეოფიზიკაში. ეს ობიექტები წარმოადგენენ პლანეტარულ ქერქში ზედაპირთან საკმაოდ ახლოს (15-20მ) განლაგებულ მილის ფორმის ლავურ გამტარებს ერთეულიდან ათეულმეტრებამდე დიამეტრით, მათი სიგრძე კი ათეულობით კილომეტრს აღწევს. ლავური მილები გამოირჩევიან მრავალფეროვნებით როგორც ფორმის, ასევე განლაგებისა და შემადგენლობის თვალსაზრისით. დასკვნა: ფიზიკური მოდელირების შედარებითი გეორადიოლოკაციური მეთოდის გამოყენებით და მათემატიკური მოდელირების მეთოდების გამოყენებით გამოიკვეთა ლავური მილების და მსგავსი ობიექტების რეალური გეორადიოლოკაციური რადიოსახეები, რომლებიც ცალსახად შეიძლება გავრცელებულ იქნას სავსე ობიექტების რადიოსახეებად შებრუნებული ამოცანების ამოსახსნელად გეორადიოლოკაციაში, ლავური მილების და მსგავსი სიღრუვეების მოძიებასა და მათი ლოკაციის დადგენისათვის.

## Физическое моделирование лавовых трубок в георадиолокации.

Одилavadze Д. Т., Челидзе Т. Л.

### Реферат

Лавовые трубки наблюдаются в базальтовых средах от вулканических конусов с крутизной 6-8 градусов. Вблизи подобных вулканических аппаратов на территории Грузии могут быть зафиксированы методом георадиолокации такие объекты - лавовые трубки, особенно в Южной Грузии, богатой лавовыми проявлениями базальтовых сред. Используя способ сравнительного георадиолокационного физического моделирования и метод математического моделирования в георадиолокации выявились реальные радиообразы моделей лавовых трубок и подобных объектов, которые можно распространить на полевые объекты и, тем самым, решить обратную задачу георадиолокации для изыскания, определения локации и определения сущности лавовых трубок и подобных пустот.

## Physical modeling of lava tubes in the GPR.

Odilavadze D., Chelidze T.

### Abstract

Lava tubes are observed in media from basalt volcanic cone with a slope of 6-8 degrees. In the vicinity of these volcanic systems on the territory of Georgia can be recorded by GPR such objects –lava tubes, especially in South Georgia-rich in basaltic lava manifestations. Using the method of comparative GPR physical modeling and mathematical modeling method in GPR revealed the real radio images of models of lava tubes and similar objects, which can be extended to the field sites and thus solve the inverse problem of GPR for searches, determine the location and determine the nature of the lava tubes and similar voids.