

ИЗСЛЕДВАНЕ С GPR (GROUND PENETRATION RADAR) ЗА ОТКРИВАНЕ НА НОВИ ПОДЗЕМНИ КУХИНИ В РАЙОНА НА ПЕЩЕРАТА ДУХЛАТА

Атанас Русев¹, Тая Славова², Рангел Гюров³

¹ Club Extreme, Smolianska 56, Sofia, Bulgaria, toltec@clubextreme.org

²Bulgarian Geoinformation Company, 168 Tsar Boris III Blvd., Sofia, Bulgaria, slavova@trimbul.com
³New Bulgarian University, Montevideo Str. 21, room 606, Sofia, Bulgaria, rgjurov@nbu.bg

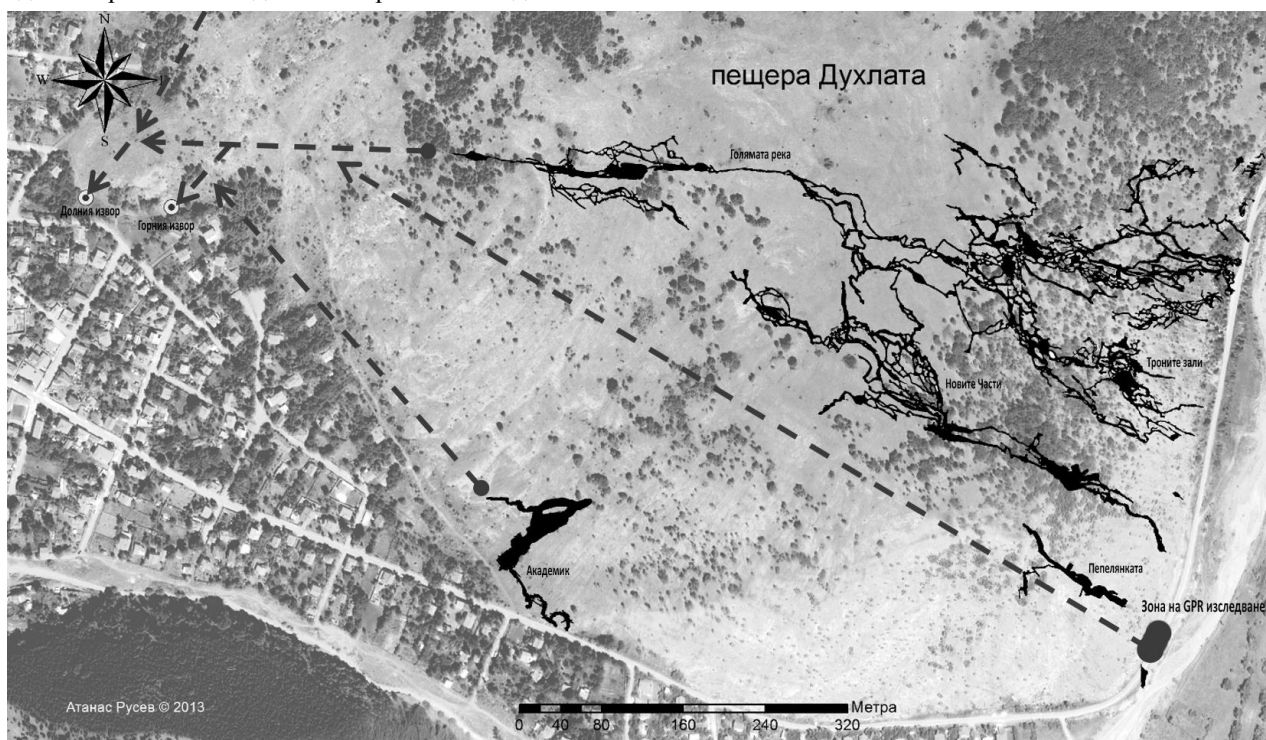
Duhlata cave is the longest (18 km in length) cave in Bulgaria, located in Bosnek karst area. Its 8 underground rivers flow is several times less than the surface springs flow, and probably more underground rivers and cave galleries are still undiscovered. For many years in Pepeliankata cave, located nearby, have been made attempts to discover its lower levels and to penetrate in new cave galleries and underground rivers that also stems from the same springs. Ground Penetrating Radar is used, for the first time in Bulgaria, to locate new cave entrances and galleries close to the surface, nearby Peleiankata Cave. Several possible new cave entrances and a cave room were located after analyzing results from the GPR's radagrams.

1. Въведение

Пещерата Духлата се намира в Боснешкия карстов район, в южните части на планината Витоша. Тя е най-дългата пещера в България - 18 километра (към края на 2013 г.). Развита е в скали на триаса (карн, с възраст 228-238 милиона години), принадлежащи към Русиновделската свита (доломити), част от Искърската карбонатна група. Пещерата Духлата е най-сложната лабиринтна пещерна система в България, разположена условно на 8 етажа, със 7 подземни реки и 8 входа на повърхността. Подземните

предположи наличието на огромни неизвестни, все още неоткрити подземни кухни, част от системата Духлата. През 2011 г. група от Клуб Екстрем прониква в Горния Извор (сумарно 160 м.) и Долния Извор (25 м.), и доказва наличието на голяма пещерна система зад изворите, със сложна хидроложка динамика (Русев, 2011). Целта е да се проникне от изворите в колектора на подземните води зад крайния

Фигура 1. Карта на пещерата Духлата с основните подземни реки в масива и зона на изследване с GPR



реки в пещерата се захранват от многобройни губилища в коритото на река Струма, намиращи се източно от Духлата, и след като се влеят в основната подземна река в Духлата, Голямата река, излизат след около 1200 метра по права линия от губилищата на повърхността, през Горния и Долния извор в с. Боснек. Интересен факт е, че дебита на изворите в селото надхвърля значително сумарния дебит на подземните реки в Духлата, което дава основание да се

сифон на Голямата река в пещерата Духлата, и да се изследват неизвестните подземни притоци/реки и пещерни галерии, които по приблизителни оценки надхвърлят дори дължината на самата пещера Духлата. Изследването на изворите продължава.

Друг възможен подход за проникване в тази неизвестна и огромна пещерна система, част от Духлата, е да се открият предполагаемите пътища на неизвестните подземни реки, които се вливат зад

крайния сифон в Духлата и да се проникне в тях (Фигура 1.)

Пещерата Пепелянката се намира в масива на Духлата и представлява естествена част от нея, съдейки по разположението на галериите ѝ (Slavova, et. al. 2013) (Фигура 2.). Тя се намира на по-голяма надморска височина от основните галерии в Духлата и опитите да се проникне в долните ѝ нива засега остават неуспешни. Пещерата е разположена в успоредна пукнатина на основните направления в Духлата, където се развиват Новите Части, Губилището, Тронните зали и др., с прилежащите им реки (Фигура 1.). Най-вероятно в неизвестните долни етажи на Пепелянката протича също подземна река/реки, която проследявайки посоката на основната пукнатина, би трябвало да се свърже с основния колектор след крайния сифон в Духлата.



Фигура 2. Разположение на пещерата Пепелянката в масива и зоната на изследване с GPR

Наличието на губилища в коритото на река Струма срещу входа на Пеплянката, както и десетина характерни отвора със силно въздушно течение, намиращи се в близост до шосето за с. Чуйпетлово, локализиран от Клуб Екстрем през последните години, говорят за наличието на долни етажи и нива под пещерата Пеплянката с активна подземна река/реки. Точното локализиране на тези неизвестни подземни кухини и откриването на достъп до тях от повърхността с помощта на преки геофизични измервания е темата на настоящата работа.

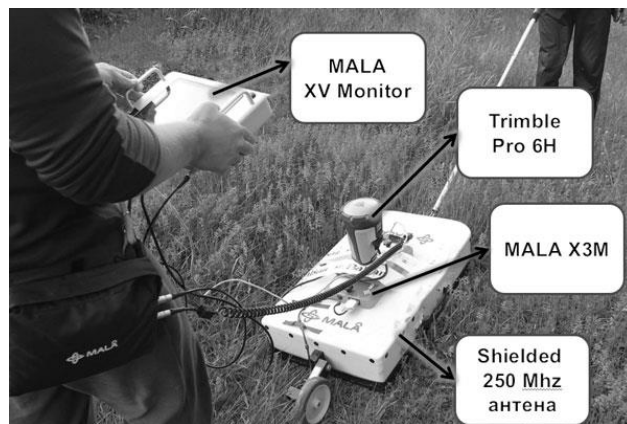
2. Методи

Геофизичните методи са широко използвани за локализирането на подземни кухини. Към тях спадат следните различни техники: сеизмични отражения и рефракции, гравиметрия, електрическа резистивна томография, магнитни методи, GPR електромагнитни методи. Тези методи позволяват заснемането на големи площи за малко време и достоверни резултати.

GPR (Ground Penetrating Radar) представлява електромагнитен пулсово рефлекторен метод базиран

на физически принцип подобен на сеизмичното отражение. Той представлява геофизична техника за плитки изследвания с висока резолюция и точност. Този метод се използва от 1960 г. с термина Radio Echo Sounding (RES) за определяне дебелината на леда в полярните области (Waite and Schmidt, 1961). За пръв път е приложен от Stern (Stern, 1929, 1930) в Австрия за определяне дебелината на ледници. Същността на метода се базира на електромагнитни импулси, които се излъчват от повърхността към земята и последващо засичане на част от тази енергия, която се отразява от границата на пластове, кухини, заровени обекти и други аномалии. Директните и отразени амплитуди на силата на електричното поле се записват като функция на времето. Отражението и дифракциите на електромагнитните вълни настъпват на границите между обекти с различни електрични свойства (Blindow, et. al. 2007). За излъчване и приемане на сигналите се използват широко честотни диполни антени. Честотите, които се използват за геофизични и инженерни изследвания, са между 10 и 1000 MHz, като за подробно тестване на материали на плитки дълбочини са подходящи и по-високо честотни антени. Високата импулсна честота на излъчване и приемане позволяват измерванията да бъдат извършвани по протежението на профили, като получените резултати са в реално време и може да се интерпретират веднага на полето за изледване под формата на т.н. радаграми, изобразени на монитор. Методът е недеструктивен, с висока хоризонтална и вертикална точност, и резултати на момента, както и допълнителни след последваща обработка.

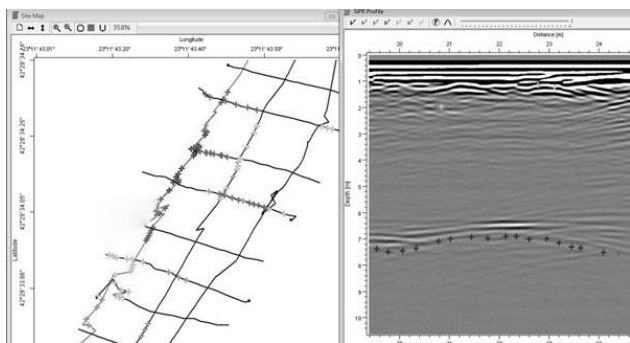
За настоящото изследване е използван GPR Mala X3M със защитена 250 Mhz антена (MALA X3M System, 2010) (Фигура 3.). С подобна конфигурация, при идеални условия, максималната дълбочина на проникване на сигнала е до 22 метра. Стойноста за ускорението на разпространение на вълната във варовици е приета за 0.12 m/ns, което е типичната стойност за тези видове скали (Davis, et. al., 1989), (A-CUBED 1983), (Ulriksen, 1982). Стъпката на хоризонтално измерване е през 10 см.



Фигура 3. Съставни части на използвания GPR

В следствие към радара е прикрепен GNSS приемник от висок клас Trimble Pro 6H с дециметрова точност в реално време (Серия Trimble Pro, 2013), като с негова помощ не се налага да се трасира мрежа, а резултатите се получават със своите координати и

тректория на движение на заснемането, което улеснява бързината, точността и анализа на получените резултати (Фигура 4.)

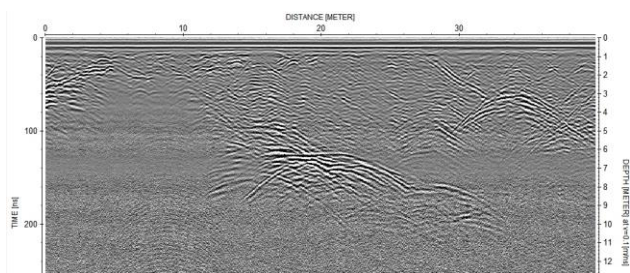


Фигура 4. GNSS, и Mala Object Mapper софтуер

За настройки на GPR, събиране на данни и първоначален анализ е използван Mala XV11 Monitor (MALÅ XV Monitor, 2010).

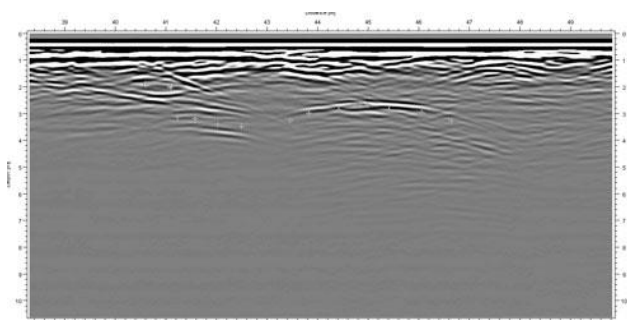
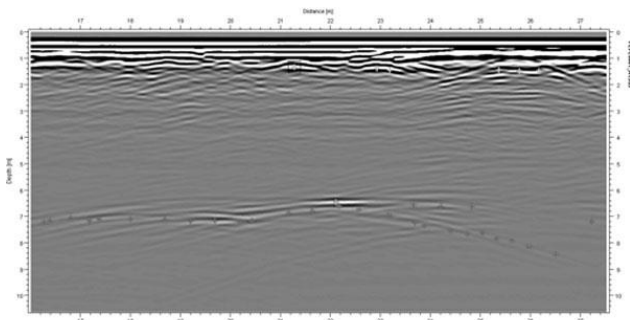
4. Резултати

Първоначално ориентировъчно са заснети няколко профила по 50 м. по протежение на шосето за с. Чуйпетлово в района непосредствено под пещерата Пепелянката, при което са засечени няколко интересни подземни обекта включително и подземна зала с ширина 10 м., на дълбочина 6.5 м. под самото шосе (Фигура 5.)



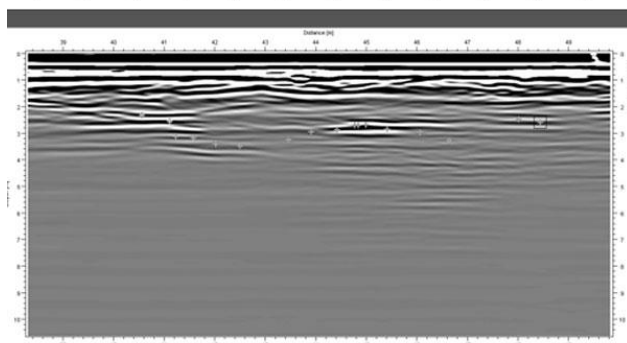
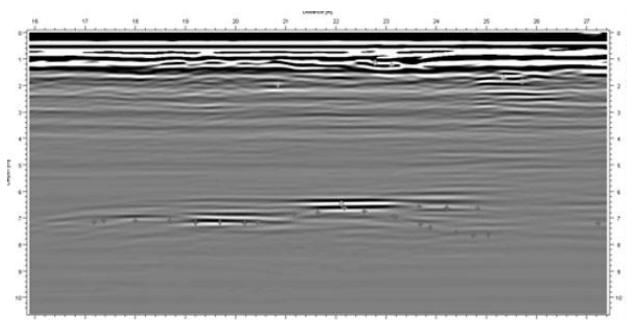
Фигура 5. Радаграма със засечени неизвестни подземни зали, ReflexW софтуер

В тази зона, с приблизителна дължина 50 м. и ширина 8 м. (сумарно около 300 м²) е направено измерване с помощта на GPR и GNSS. Получените резултати са анализирани с помощта на специализиран софтуер Mala Ground Vision, Mala Object Mapper (MALÅ Object Mapper, 2012) и ReflexW (Sandmeier, 2012), с използване на следните филтри: Autogain, DC Adjustments, FIR, Migration и др (Aitken et. al., 2005). Използвани са маркери, отбелязващи различните дълбочини на обектите, извършен е анализ и разчитане на данните (Фигура 6.).



Фигура 6. Засечени различни подземни галерии с GPR

Резултатите в последствие са обработени и с т.н. анализ Migration (Yilmaz, 1987), (Bancroft, 1998), който дава като резултат реална интерпретация на геометрията и разположението на изследваните обекти (Фигура 7.)



Фигура 7. Използване на анализ Migration

Измерванията са извършени и повторени в няколко последователни дни като достоверността и съвпадението на получените резултати е близка до 100%.

5. Дискусия

В резултат на измерванията с GPR са установени еднозначно наличието на големи подземни кухини в изследвания район, което подсказва разположението не само на една основна галерия разположена в ниските части на пукнатината, в която във височина е разположена пещера Пепелянката, а множество най-малко от 3 основни галерии, респективно реки, (по аналог на разположението на пукнатини-реки в Духлата), намиращи се в района между Пепелянката и "Дупката при Асфалта", намираща се на около 80 м. в югозападна посока. Очевидно тук се развива голяма

неизвестна пещерна система. Тези кухини са стари губилища на р. Струма, някои от тях с големи размери, които представляват началото на основни нови галерии, част от системата Духлата, успоредни на основните пукнатини в пещерата. Основното направление на тези неизвестни пукнатини/кухини води в интересната неизвестна зона зад последния сифон в пещерата Духлата и вероятно част от разликата в дебита между изворите и подземните реки в пещерата Духлата идва именно от тук. Тези кухини са се съхранили в дълбочина в масива независимо от взривяването при строежа на шосето. Вероятно при взривните работи някои от кухините са били пресечени, но удобно са "погребани" при прекарването на шосето. Интересно наблюдение е, че няколко големи цепнатини в пътната настилка съвпадат с наличието на засечени кухини отдолу с GPR, които са се образували най-вероятно в следствие от неравномерното напрежение в материала при тектонични движения и използването на шосето.

Отчитайки структурата, посоката и разположението на основните пукнатини в пещерата Духлата и съпоставяйки ги с получените резултати от измерването с GPR, предполагаме наличието на десетки километри неизследвани подземни галерии с няколко подземни реки, започващи именно от зоната на изследване с GPR. Проникването в тези неизвестни пещерни галерии предстои.

6. Заключение

За пръв път в България е проведено GPR изследване с цел откриване на нови естествени подземни кухини. Боснешкият карстов район е изключително подходящ за измервания с GPR, съчетаващ в себе си слабо наклонени пластове на скалния масив, нацепеност и наличие на големи карстови кухини в близост до повърхността. По приблизителна оценка едва около 20% от подземния карст в района е проучен и изследван. Откриването на нови входове към неизвестните пещерни системи в района изключително се улеснява с използването на съвременни геофизични методи и по-специално с използването на GPR.

Благодарности

Специални благодарности изказваме на Росен Закс, доц. д-р. Момчил Минчев, Българска геоинформационна компания, гл. ас. д-р Ралица Берберова,

Библиография

Journal papers:

A-CUBED, 1983. General State of the Art Review of Ground Probing Radar. A-CUBED, Mississauga, Ontario, 89 pp.

Aitken J, Stewart R, 2005. Signal processing enhancements of GPR data in a carbonate environment, CREWES Research Report — Volume 17

Bancroft J, 1998. A practical understanding of Pre- and Poststack Migration. Volumes 1 & 2. SEG.

Blindow N, Eisenburger D, Illich B, Petzold H, Richter T, 2007. Ground Penetrating Radar, Environmental Geology, pp 283-335.

Davis J, Annan A, 1989. Ground-penetrating radar for high-resolution mapping of soil and rock stratigraphy. Geophysical Prospecting 37: 531

Sandmeier K, 2012. ReflexW Version 7.0. Windows™ 9x/NT/2000/XP/7 program for the processing of seismic, acoustic or electromagnetic reflection, refraction and transmission data, pp. 1–291.

Slavova T, Kamburov A, Rusev A, 2013. Spatial Cave Mapping in Bulgaria, GIM International magazine, Vol. 3, p. 33-35. ISSN 1566-9076.

Stern W, 1929: Versuch einer elektrodynamischen Dickenmessung von Gletschereis. Gerl. Beitr. zur Geophysik, 23, 292-333.

Stern W, 1930: Über Grundlagen, Methodik und bisherige Ergebnisse elektrodynamischer Dickenmessung von Gletschereis. Z. Gletscherkunde, 15, 24-42.

Ulriksen C, 1982. Application of impulse radar to civil engineering. Published Ph.D. Thesis, Lund University of Technology, Lund, Geophysical Survey Systems, Inc. Hudson, New Hampshire, 179 pp.

Waite A, Schmidt S, 1961. Gross errors in height indication from pulsed radar altimeters operating over thick ice or snow, Institute of Radio Engineers, International Convention Record, Part 5, pp. 38-53.

Yilmaz O, 1987. Seismic Data Processing. SEG.

Article published only on WWW:

Русев А, 2011. Изследването на изворите при с. Боснек, <http://www.clubextreme.org/node/373> (in Bulgarian)

Серия Trimble Pro, 2013. http://trimbul.com/images/stories/Products/GNSS_receivers/022501-289A-BUL_Pro_Series_DS_0412_MGIS_LR.pdf (in Bulgarian)

MALÅ Object Mapper. 2012, <http://www.malags.com/manuals/object-mapper/>

MALÅ X3M System. 2010, [http://www.malags.com/Product-Sheets/MALA-X3M-System-\(24-may-2010\)](http://www.malags.com/Product-Sheets/MALA-X3M-System-(24-may-2010))

MALÅ XV Monitor. 2010, <http://www.malags.com/Product-Sheets/MALA-XV-Monitor>

