Study of perenial snow patches in Bulgaria

A. Kisyov[1], Ch. Tzankov [1], B. Chtirkova [2], G. Georgieva [2], Y. Ivanov [1], B. Georgieva [1], D. Ishlyamski [1], V. Gourev [2], S. Nikolov [1]

[1] University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Department of Applied Geophysics, e-mail: at.kisyov@gmail.com, ch.tznakov@gmail.com
[2] Sofia University "Sv. Kliment Ohridski", J. Bouchier Blvd. 5, e-mail: ggeorgieva@phys.uni-sofia.bg, gourev@phys.uni-sofia.bg

Key words: perennial snow patches, geophysical surveying, ERT method, GPR

Abstract
The results of the surveys conducted in 2017 and 2018 in Rila, Pirin and Central Balkan mountains for the presence of perennial snow patches are presented. There was a higher number than expected - three in the region of Musala peak and more than ten in the valley of Banski Suhodol in Pirin. For all accessible patches we made GPS tracks of the snow area and then computed its size. In 2018 we carried out geophysical and meteorological measurements in Golyam Kazan in Pirin mountain, where „Snezhnika" snow patch is situated.

Изследване на целогодишните снежни преспи в България

А. Кисьов[1], Х. Цанков[1], Б. Щиркова[2], Г. Георгиева[2], Я. Иванов[1], Б. Георгиева[1] , Д. Ишлямски[1], В. Гурев[2], С. Николов[1]

[1] Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", Катедра „Приложна геофизика", e-mail: at.kisyov@gmail.com, ch.tznakov@gmail.com
[2] СУ „Св. Климент Охридски", бул. Дж. Баучер 5, e-mail: ggeorgieva@phys.uni-sofia.bg, gourev@phys.uni-sofia.bg

Ключови думи: Снежници, геофизично проучване, електросъпротивителена томография, георадар

Резюме
Представени са резултатите от проведените през 2017 и 2018 г проучвания в Рила, Пирин и Централен Балкан за наличието на целогодишни снежни петна (снежници). Установено беше съществуването на по-голям брой от очакваното – три в района вр. Мусала и повече от десет в циркуса на вр. Бански Суходол в Пирин. Всички достъпни петна очертахме с навигационен GPS и определихме размерите. През 2018 г в района на „Снежника" в местността голям казан в Пирин проведохме геофизични и метеорологични измервания

Въведение

Във високите части на Рила, Пирин и Централна Стара планина се срещат снежни петна, които успяват да се запазят целогодишно. Известни са като снежници или микроледници. Съществуването им в даден район зависи от много фактори и в резултат на тях някои снежници може да се стопяват напълно през определени години, а през други да имат значителни размери. Процесите, които определят масовия им баланс са аналогични на тези в ледниците. Поради тази причина продължителното им изследване дава информация от една страна за промените в климатичните условия в дадения район, а от друга за факторите, които правят възможно образуването и съществуването на ледници.
Акумулацията и аблацията са двете основни групи процеси, които определят образуването и съществуването на снежници. Подхранването със сняг се случва по цялата им повърхност за разлика от същинските ледници, при които зоната на акумулация е в горната част на ледника. Основен принос към захранването на снежниците имат лавините и навяванията от сняг и в по-малка степен снеговалежите (Гачев, 2016). По отношение на аблацията съществена роля оказват слънчевата радиация, влажността и вятъра (Glazirin и др.,2004, Fujita и др., 2010). Раздробеният скален материал и прах, покриващи снежниците могат да ускорят или да забавят тяхното топене в зависимост от дебелината на слоя, който образуват (Glazirin и др., 2004).
В България е установено съществуването на два микроледника. Те се намират в Северните части на Пирин и се предполага, че това са най-южно разположените подобни образувания в Европа (Груневал и др., 2008. Н-добре изучен е „Снежника", който се намира в циркуса Големия Казан под вр. Вихрен. По-малко изучен е „Бански суходол", намиращ се от северната страна на Кончето и вр. Кутело в циркуса на Бански суходол, което го прави и доста по-трудно достъпен.
Изследвания на площта на микроледник „Снежника" са провеждани системно от 1994 г от различни научни екипи (Попов 1964, Груневал и др., 2008, Гачев 2016). Първите изследвания датират от 1956, като през 1957 Вл. Попов (Попов 1962) прави сондаж и установява дебели на микроледника от 8 м.

В края на лятото на 2006 г са правени три сондажа, като в два от тях се достига до дълбочина 11 м (Груневал и др. , 2008). Като изключим двете кампании, в които са правени сондажи, всички изследвания на „Снежника“ се ограничават до проследяване на неговите размери. Не е известно да са провеждани по-детайли метеорологични или геофизични изследвания в района.
Не беше открита научна информация и за съществуването на снежници на други места във високите части на планините в България.

Методология

През август и септември на 2017 и 2018, както и през октомври 2018 г бяха проучени районите на вр. Ботев (Стара Планина), вр. Мусала, 7-те Рилски езера, вр. Мальовица (Рила) и вр. Вихрен, вр. Кутело и циркуса на вр. Бански суходол (Пирин). Заснети са всички открити снежни петна (фиг. 1). Достъпните петна са очертани с навигационен GPS и след това е изчислена площта им.



Фигура 1. Снежни преспи в циркуса Бански Суходол, Пирин (края на август 2017)

„Снежника“ в Пирин е едното от двете доказани целогодишни снежни петна в България. Размерите му се проследяват през годините (Попов 1964, Груневал и др., 2008, Гачев 2016), а дебелината му е определена в няколко точни в различни години чрез сондаж (Попов 1962, Груневал и др. , 2008). В края на август 2018 поведохме геофизични и метеорологични изследвания на снежника. Целта беше чрез георадарни проучвания и електротомография да определим дебелината на снега за цялата площ, както и да отделим слоеве с различна структура на леда.
Електросъпротивителната томографията (ЕСТ) е метод, който дава представа за измененията на електричните свойства на скалите, както във вертикално, така и в хоризонтално направление с помощта на различни електродни схеми (Димовски и др. , 2007). Измененията в електрическото съпротивление, освен с промени в литологията, са свързани най-вече с наличието на вода в пукнатините и порите на скалите (Димовски и Стоянов, 2015). Понижението на температурата води до намаляване на електролитната активност, а от там и на проводимостта, която намалява значителното след точката на замръзване. Именно по тази причина ЕСТ успешно се прилага за проучване на ледниковите структури в планинските райони.
Полевата работа бе извършена с помощта на 24 равномерно разположени електроди, свързани с многожилен кабел към резистивиметър (ABEM SAS 1000). Измерванията бяха получени чрез комбинации от систематични промени на местоположението на четирите активни електрода. Дълбочината на проучване зависи от разстоянието между електродите и геометрията на схемата, постепенното увеличаване на разстоянието между електродите дава възможност за увеличаване на дълбочината на проучване на подповърхностното пространство.
Георадарът е удобен и ефективен геофизичен метод, с който се провеждат бързи и точни изследвания на подповърхностното пространство. Той регистрира промените в електричните характеристики на средата (проводимост и диелектрична проницаемост), които са в пряка зависимост от състоянието и вида на почвите и скалите, влажността и порестостта им. Използва се за създаване на вертикални разрези с висока разделителна способност – радарграми. В зависимост от използваната георадарна апаратура, решаваните задачи обхващат най-различни области.

За електромагнитните вълни ледът е почти прозрачен, което прави георадарът идеален за решаването на гласиоложки задачи. Приложението на радиолокационните методи при изследванията на ледниците и полярните проучвания е свързано, с определяне дебелината на ледената покривка, с локализиране на пукнатини и зони на срязване, с изучаване състоянието на вечнозамръзналите области, с определяне плътността на снега, водосъдържанието и др. Значителната проникваща способност на георадара в леда дори позволява прилагането на аерорадиолокационни методи, при които с нискочестотни антени се извършват бързи, мащабни проучвания до дълбочини по-големи от 200 m.
Успоредно с провеждането на геофизичните проучвания бяха събирани и метеорологични данни в две точки от местността – едната беше избрана в непосредствена близост до снега (фиг. 2а), а другата в средата на м. Голям казан, близо до построеният там заслон (фиг. 2б). За целта на проекта бяха конструирани две метеостанции, с които да запишем хода на температурата, налягането и влажността в района.

а)  б) 

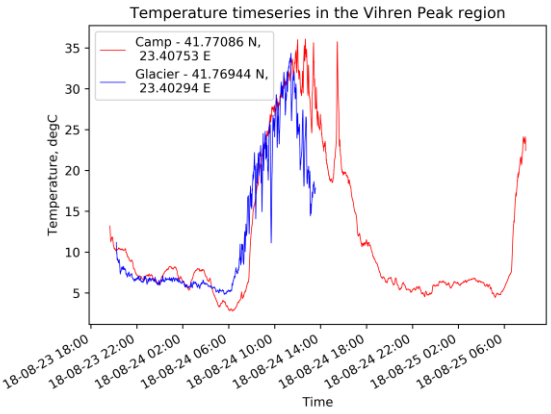
Фигура 2а,б. Метеорологични измервания в района на „Снежника

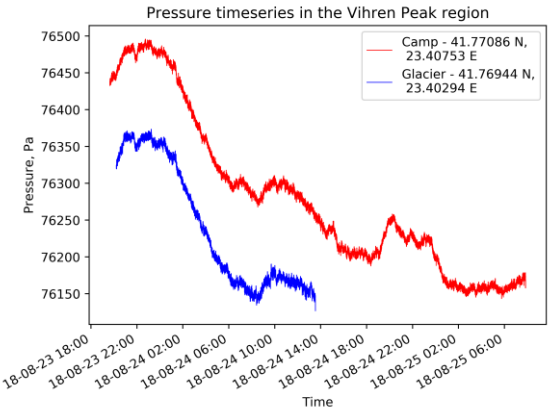
Резултати от метеорологичните измервания в Големия Казан

Метеорологични измервания бяха проведени по време проучванията в района на Казаните в Пирин. Измерванията са извършени в две точки с конструирани специално за целите на проекта метеостанции преносими метеорологични станции. По точни начин направихме опит да направим оценка на метеорологичните условия в около целогодишното снежно петно и на разстояние от него в същата местност, на място, където никога не е наблюдавано задържане на сняг. Предварителните тестове показаха, че показанията за влажност не са устойчиви и макар и относителни, показанията не могат да бъдат използвани.
Интересен е ходът на температурата (фиг. 3а). Вижда се, че в двете точки температурата през деня достига еднакви стойности, но при Снежника те се задържат за по-кратно време. Причините за това могат да бъдат две:

1) по-кратката продължителност на слънчево греене в подножието на северната стена на вр. Вихрен;

2) по-високата отражателна способност на подложната повърхност, която в хода на деня абсорбира по-малко инфрачервена радиация и съответно след залез изстива по-бързо. Ходът на наляганет е еднакъв в двете точки на измерване (фиг. 3б).

а) 

б) 

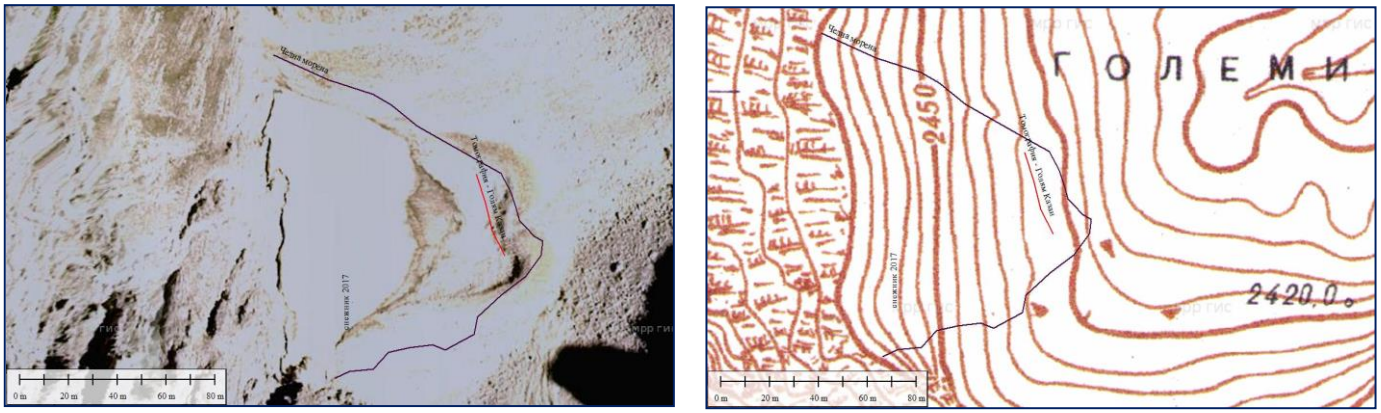
Фигура 3. Ход на а) температурата и б) наляганет в двете точки в м. Голям Казан.

Резултати от геофизичните изследвания в района на Големия казан

Целта на проведените геофизични изследвания на „Снежника“ беше установяване дебелината на ледената покривка и релефа на скалната подложка. Бяха направения серия от успоредни георадарни профили по дължина на изследвания микро-ледник. В основата му бе направен електротомографски профил, с цел определяне на геоложкия разрез в основата на ледника и локализиране мястото на водооттока, образуван при топенето на ледника, който няма повърхностна изява на терена.

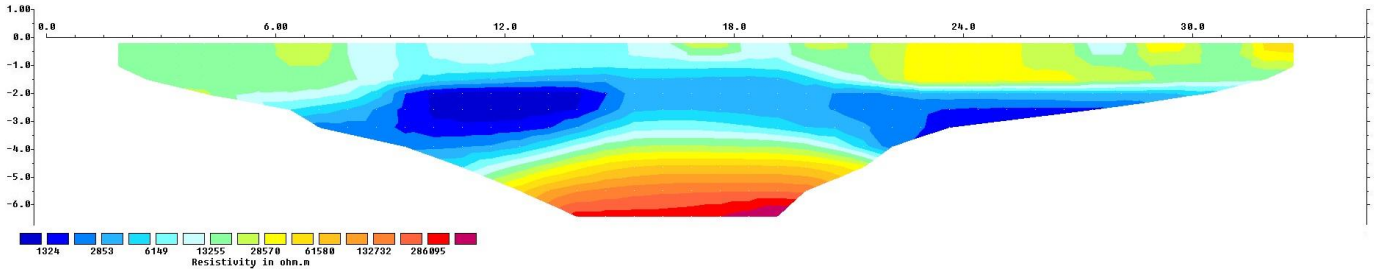
Електросъпротивителни изследвания (Електротомография)

За решаване на поставената задача, бе направен геоелектричен профил, в основата на микроледника (фиг. 4), като дължината му бе съобразена с възможностите на терена, така че да попада в границите на ледника. Направения профил бе с дължина от 34,5 метра, в направление юг-север, а разстоянието между отделните електроди бе 1,5 м. Очакваната дълбочина на проучването при тази дължина на измервателния профил и избраната четириелектродна симетрична схема Шлюмберже бе 5 - 6 метра, което се оказа напълно достатъчно за решаване на поставената задача, а имено локализиране на местата на водооттока.



Фигура 4. Местоположение на електротомографското измерване

От измерванията бе получен псевдо-разрез на привидното съпротивление, състоящ се от измерените стойности в определени точки по хоризонтални линии на определена дълбочина. За трансформирането му до реален геоелектричен разрез бе използван алгоритъмът за двумерна инверсия по метода на най-малките квадрати, предложен от Лок и Баркър (Loke and Barker, 1996), реализиран чрез квази-Нютонова оптимизация.



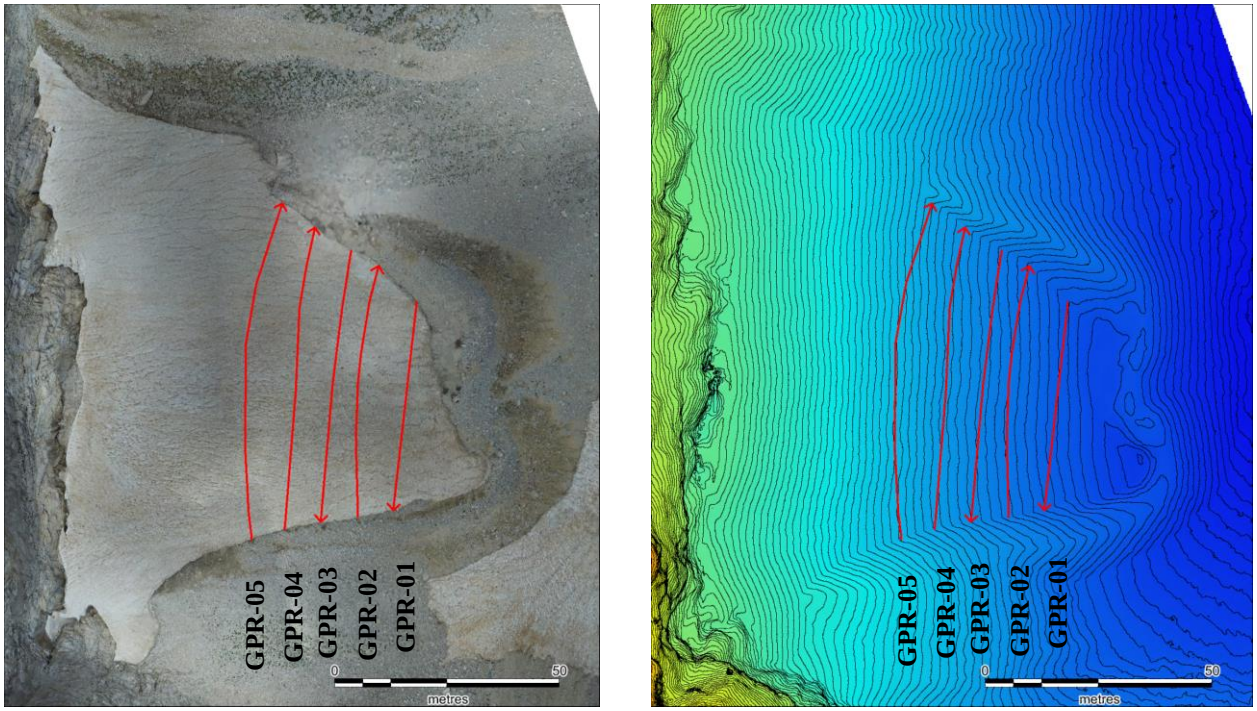
Фигура 5 Полученият геоелектричен разрез в основата на ледника

На така получения геоелектричния разрез (фиг. 5) ясно се разграничават три зони. Първата зона се намира в близост до повърхността и се характеризира с относително високо електрическо съпротивление от 15 000 до 30 000 Ωm и е резултат от типичните за района мраморни скали. Под нея на дълбочина между 1 и 5 метра е разположена втората зона, отличаваща се с относително ниски стойности на специфичното електрическо в границите между 1000 - 13 000 Ωm. Тази зона е образувана при топенето на ледника и в нея ясно се очертават два водооттока определи долната граница на съпротивлението в разреза. В дълбочина се вижда третата зона с много високо съпротивление от 60 000 до 300 000 Ωm представляваща зона на пермафрост, разположена в основата на микроледника.

Георадарни проучвания

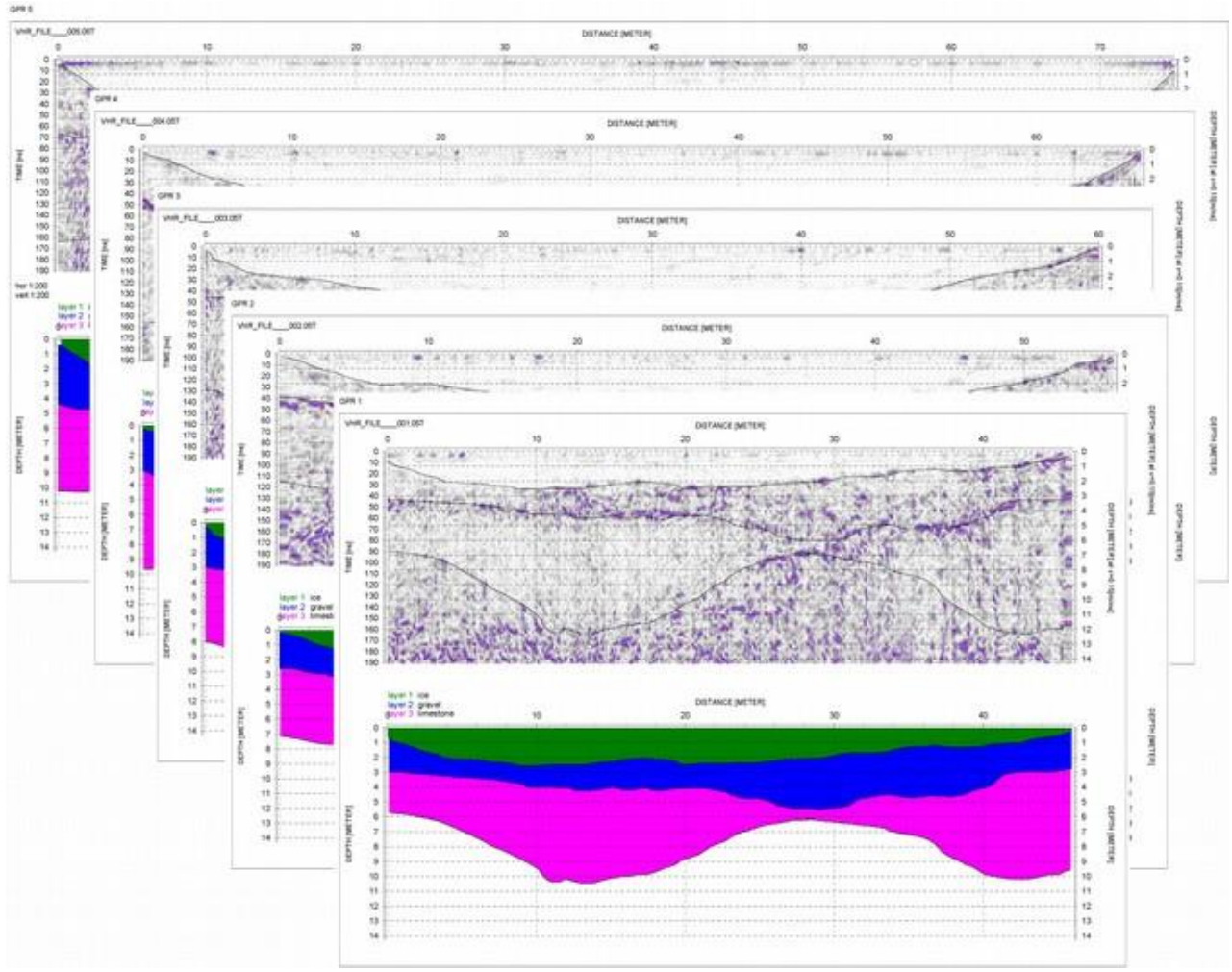
Теренните изследвания са осъществени с помощта на георадарна система, включваща контролно устройство модел SIR-3000, 270 MHz-ова георадарна антена модел 5104A. Прокарани са 5, приблизително успоредни георадарни профила в направление север – юг, пресичащи микроледник „Снежника“ (фиг. 4). Измерванията са извършени от двучленен екип, включващ оператор на георадар и осигуряващо лице. Георадарната антена е теглена с помощта на ръкохватка, като е съблюдавано профилите да следват хоризонталите на релефа на микроледника. Първият георадарен профил GPR-01 е разположен в най-ниският и сравнително заравнен участък като всеки следващ профил се изкачва нагоре по склона, достигайки до нивото на профил GPR-05, където проходимостта без допълнителна осигуровка се оказа изключително тежка.

Получените георадарни данни са използвани за моделиране на пет радарграми, които са анализирани и интерпретирани (фиг. 6). Чрез добре изразени амплитудни граници, в радарграмите ясно се отделят три основни слоя изграждащи разреза в дълбочина.
Първият слой е интерпретиран като смес от сняг в горните си 5-10 cm и лед в следващите от 0 до 6 m дълбочина. В рамките на леда се отличават и някои по-слабо изразени граници, вероятно свързани със структурни особености на леденото тяло, на които тук не е обърнато необходимото внимание. За средна скорост на слоя е приета стандартната такава за лед v_{ice} = 1,5 m/ns.
Вторият отделен слой заляга под леда и вероятно представлява насип от скални блокове с различни размери празнините между които са запълнени в различна степен с лед и вода. Вероятно този слой се явява дрениращ разтопените ледникови води. Мощността на този пласт варира от 1 до 4 m в отделните радарграми. За средна скорост на слоя е използвана величината v_{gravel} = 1,3 m/ns.



Фигура 3. Разположение и посока на георадарните профили върху подложка от ортофото мозайка (ляво) и цифров теренен модел (дясно) създадени в резултат на заснемане на терена с дрон

Третата отделена граница очертава долнището на трети слой, долната граница на който се характеризира със сложен релеф в по-ниските профили, докато в по-горните тя става почти успореден на горната. В първи (фиг. 7) и втори профил слоят е сравнително тънък в централната си част (около 1 m), докато отляво и отдясно се формират две джобо-подобни вдълбавания с дълбочини до около 6-7 m (10 m от кота терен). Тази особеност дава основание да се допусне, че този слой е представен от силно изветрели коренни скали напукани в различна степен, като силно разхлабените зони, формиращи наблюдаваните джобове, вероятно са запълнени с лед, което дава известно изкривяване на сигнала поради големи разлики в скоростите на електромагнитната вълна в сухите и заледените участъци. В по-горните профили (GPR-03, GPR-04 и GPR-05) слоят става почти успореден като средната му мощност се запазва непроменена на около 4 m. Използваната при интерпретацията средна скорост на слоя е $v_{limestone}$ = 1,2 m/ns.



Фигура 7. Радарграми по профилни линии от 1 до 5 представени в псевдо 3D вариант с акцент върху профил GPR-01

ЛИТЕРАТУРА

Гачев, Е., „Климатични фактори за междугодишната динамика на микроледник Снежника в Пирин“, СБОРНИК ДОКЛАДИ научна конференция Географски аспекти на планирането и използването на територията в условията на глобални промени, 23-25.09.2016

Груневалд, К., Шайтхауер, Й., Гиков, А., „Микроледници в Пирин планина“, Проблеми на Геогрсфията, кн.1-2, 2008

Димовски, С., Н. Стоянов, Ч. Гюров. “Ефективност на електротомографията за детайлно геоелектрично картиране на приповърхностния геоложки разрез“. – БУЛАКВА, 4, 47-55., 2007.

Димовски, Ст., Н. Стоянов. “Локализиране на подходящи места за изграждане на мониторингови кладенци в слабоводоносен скален комплекс“. – Год. МГУ “Св. Ив.Рилски”, т.58, св. I, Геол. геоф., 140-145., 2015.

Попов, В. „Морфология на циркуса Големия Казан – Пирин планина.“ Известия на ГИ на БАН, 6, 86-99, 1962

Попов, В. „Наблюдения върху снежника в циркуса Големия Казан – Пирин планина.“, Изв. на ГИ на БАН, 8, 198-207, 1964

Fujita, K., K. Hiyama, H. Iida, Y. Ageta, Self - regulated fluctuations in the ablation of a snow patch over four decades, Water Resour. Res., 46, W11541, 2010

Glazirin, G.E., Y. Kodama, T. Ohata, “Stability of drifting snow-type perenial snow paches”, Bulletin of Glaciological Research, 21,1-8, 2004

Loke, M. H., R. D. Barker, Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method, Geophysical Prospecting, 1996