Geophysical studies in karst terrains

Stefan Shanov[1]

[1] Bulgarian Geophysical Society, e-mail: s_shanov@abv.bg

Key words: karst, geophysical studies, caves, tectonics, earthquakes

Abstract: The karst terrains represent one of most vulnerable geological structures closely related to the human life in large worlds' areas. They control the underground ways of important water quantities, they have negative impact on important hydrological facilities (dams, artificial likes), as well as on buildings, routes, tunnels, etc. The underground karst cavities are often difficult accessed or unknown before specialized geological and speleological studies. The geophysical investigations can help and increase the efficiency of these studies. The use of appropriated geophysical methods is discussed and case studies from several karst areas are represented. The karstic caves are also favorable sites for tectonic events detecting, representing a conservative medium of three-dimensional framework where the tectonic deformations are well preserved. They also provide an environment conducive to dating and determining some parameters of past seismotectonic events. The recently published book "Dynamic tectonics and karst (Shanov, Kostov, 2015, Springer Verlag) collects the current state of knowledge on the relationship between karst and dynamic tectonics and presents a new methodology to its study. It puts forward several approaches for studying of recent geodynamics in karst terrains, such as tectonic stress fields reconstructions using structural analysis of the fracturing, geophysical studies of the rock anisotropy and fault-plane solutions from earthquakes, analysis of the spatial orientation and absolute dating of deformed speleothems, instrumental and mechanical measurements, monitoring, and modeling – all supported with case studies from several karst areas worldwide.

Геофизични изследвания в карстови терени

Стефан Шанов[1]

[1] Дружество на геофизиците в България, e-mail: s_shanov@abv.bg

Ключови думи: карст, геофизични изследвания, пещери, тектоника, земетресения

Въведение

Картовите терени са една от най-уязвимите геоложки структури, които са тясно свързани с човешкия живот в обширни райони на света. Те контролират подземния отток на значителни водни количества, те имат и отрицателно влияние върху значими хидротехнически съоръжения (язовирни стени и езера), както и при строителство на сгради, пътища, тунели и т.н. Подземните карстови кухини често са труднодостъпни или непознати преди извършването на специализирани геоложки и спелеоложки изследвания. Геофизичните проучвания могат да помогнат и да повишат ефективността на тези изследвания.

От особено важно значение е подбирането и прилагането на подходящи геофизични методи (Hoover, 2003). Ефективността на изследванията нараства значително при комбиниране на геофизичните методи и особено при отчитане на конкретната геоложка структурна обстановка. От потенциалните геофизични полета, гравитационно и магнитно, само микрогравиметричните изследвания дават използваема информация. Няма данни за извършвани подобни изследвания в България. Естествената радиоактивност също не е намерила приложение за изследвания в карстови терени.

В многогодишната практика на изследванията в България, извършвани предимно от научен интерес без финансиране в помощ на спелеоложки експедиции, както и за решаване на някои проблеми за водоснабдяване и за дейности в кариери за инертни материали, са получени резултати, които открояват електропроучвателните методи като особено ефективни. Използвани са различни модификации на постояннотоковите методи в зависимост от конкретния проблем. От електромагнитните методи, особено за труднодостъпни терени е прилаган методът на свръх дългите

радиовълни (СДВ), а в последно време, и методът на телуричните токове. Все още няма публикувани примери от използване на георадар в карстови терени у нас, но в световната практика има такива примери (Hoover, 2003; Smith, 2005).

От сеизмопроучвателните методи в карстови терени се използва основно корелационния метод на пречупените вълни (КМПВ) за определяне на дебелината на седиментната покривка над окарстените скали. Особено успешно се картират покрити негативни карстови форми, които са опасни за строителството. В България има и положителен опит от използването на стандартна сеизмопроучвателна апаратура за изследване на влиянието на кариерни взривове върху карстови водни системи, използвани за водоснабдяване - например извор „Глава Панега" (Shanov, Isaev, 2014), Искрецките карстови извори (Shanov, Benderev, 2005).

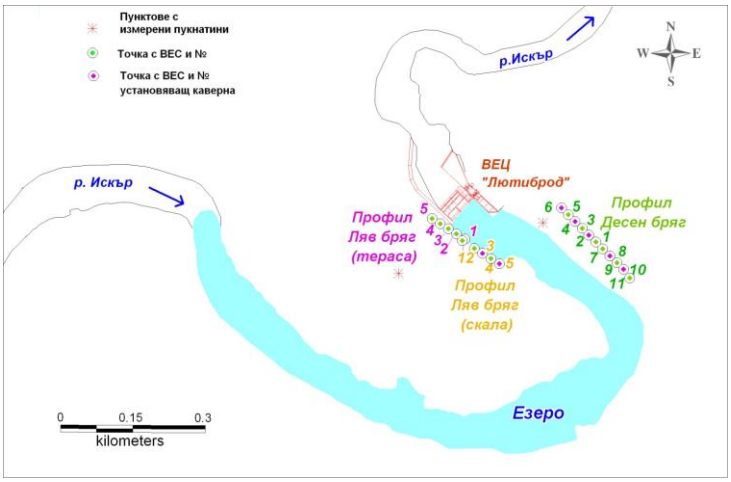
От извършените до сега изследвания на българска територия, по-долу са представени няколко примера за успешно прилагане на геофизични методи при решаване на проблеми в карстови терени.

Примери от изследвания в България

Черепиш (от Бендерев и др., 2009)

Районът беше предвиден за изграждане на ВЕЦ „Лютиброд" по проект през 2007 г. Геоложки заема пространството между Плакалнишкия възсед, Косталевския отсед, р. Искър и топографското било отделящо Згориградската падина и попада в най-източната част на Врачанския карстов район, в границите на карстова зона "Черепиш" на Паволче-Черепишкия карстов басейн. Целият десен бряг на реката е на територията на Природен парк „Врачански Балкан". Целият район е лишен от повърхностен отток. Всички валежи се оттичат подземно чрез пукнатинно-карстовата мрежа. Водите се формират във варовиците на Сливнишката и Черепишка свити. Окарстяването е от канално-галериен тип, като карстът се е развил етажно и сега действа най-ниският етаж. Карстовата зона обхваща 31 km^2. Ако се сумират дължините на всички пещери, разположени на десния бряг на реката в засегнатия при реализирането на проекта участък (около 1,5 km) ще се получи приблизителна обща дължина на галериите около 1 km. Главният отток е насочен към долината на р. Искър в зоната на разтоварване при гара Черепиш.

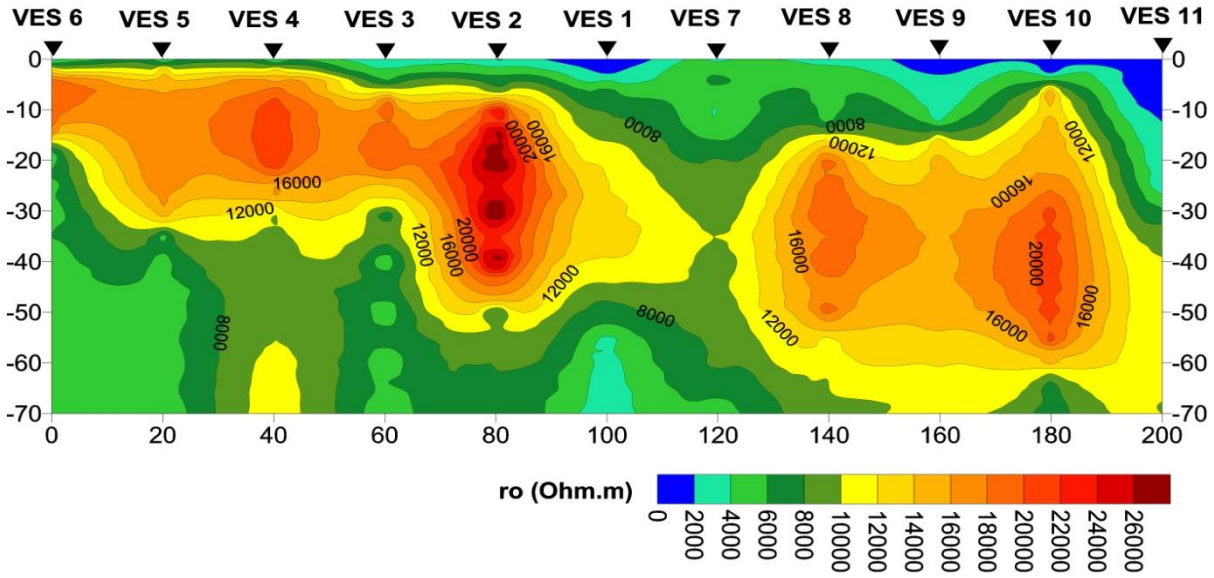
За търсене на скрити карстови форми се проведоха геофизични изследвания в два участъка (фиг.1). Първият е разположен на десния бряг на реката, в зоната зад проектната стена, на около 40 m над реката. Проученият участък е с дължина 200 m, като са направени 11 ВЕС-а разположени линейно на разстояние 20 m един от друг. Получените резултати са обработени като електротомографски разрез и е съставен геоелектричен профил, на който се виждат зони с повишено съпротивление, съответстващи на места с окарстяване (фиг.2). Установяват се няколко каверни на различи нива. Най-голямата кухина е открита при ВЕС 2, като тя е в интервала от около 10 m до около 45 m под шосето, т.е. слиза до нивото на реката дори под него. Втората по големина каверна е при ВЕС 10, която слиза още по дълбоко. Макар и по-малки, кухини се откриват и при ВЕС 4, 6 и 8. Като цяло, в този участък се установява значително окарстяване и е възможно откритите каверни са свързани помежду си.



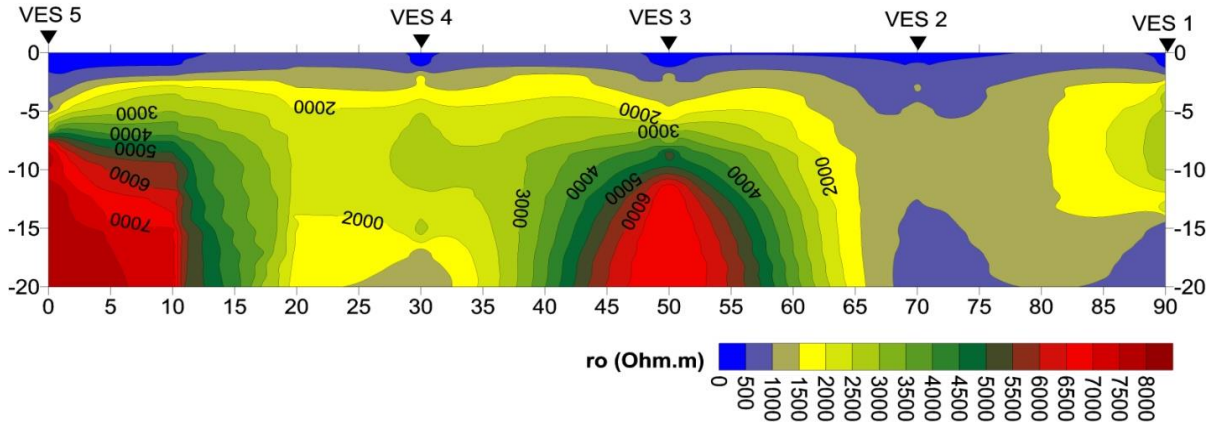
Фиг. 1. Местоположение на пунктове с измерени пукнатини и проведени геофизични проучвания в района на гара Черепиш

Вторият участък се намира на левия бряг на реката в зоната на стената. В него се установява наличие на каверни във ВЕС 3 и 5 (фиг.3), които продължават и под нивото на реката. Получените по геофизичен път резултати потвърждават хипотезата за наличие на карстови каверни, неразкриващи се на повърхността.

Във връзка с това, както и вследствие анализа на напукаността в района, както и някои геоморфоложки особености, установени при полевите изследвания, може да се предположи наличие на зони с вероятна по-висока степен на окарстяване. Те биха имали негативно въздействие при евентуалното баражиране на р. Искър и биха довели до по-интензивна филтрация на води при повишаване на напора.



Фиг. 2. Геоелектричен разрез по 11 точки ВЕС на десния бряг на река Искър в района на гара Черепиш

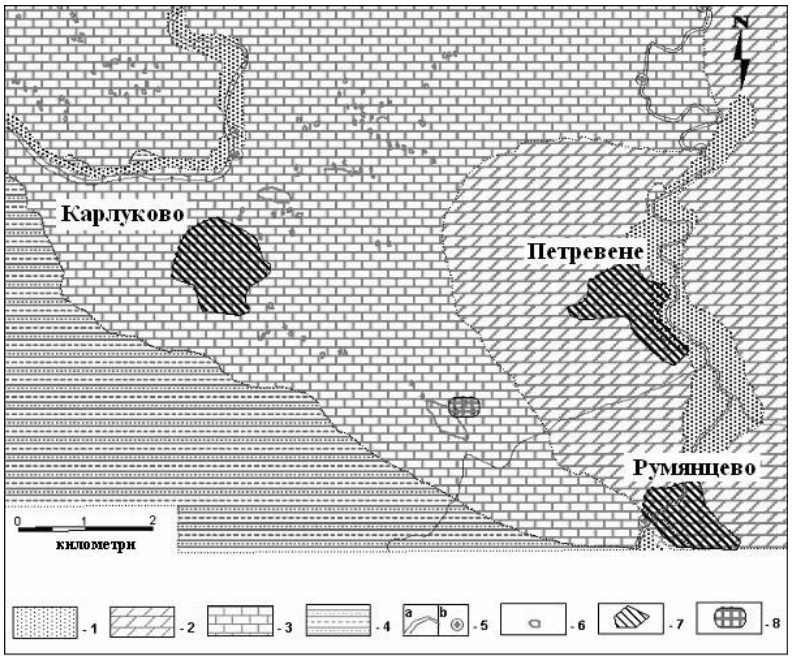


Фиг. 3. Геоелектричен разрез по 5 точки ВЕС в левия бряг на река Искър при гара Черепиш върху разкрития на основна скала

Румянцево (от Шанов и др., 2009)

В геоложко отношение разглеждания район попада в южното бедро на Луковитската синклинала. Обект на бъдещ добив са варовиците на Кайлъшката свита (фиг.4). Тя е представена от белезникави до бели масивни или дебелопластови органогенни варовици с твърде разнородни биогенни включения. Районът е известен с многобройните повърхностни негативни карстови форми и пещери около него. Валози и вртопи са установени в дерето южно от проучваното находище. В един от тях се достига до подземен воден поток излизащ от пещера и проследяващ се нагоре по течението в други пещери, чийто входове са по-нагоре (на запад) от него. Водата се спуска в пропаст с дълбочина около 10 m и вероятно се насочва към изворите в с.Румянцево. Изследването е извършено за да се проследи развитието на карстовата кухина пресечена от проучвателен сондаж на дълбочина 19.60 m от земната повърхност и с вертикални размери около 3 m. За постигане на поставените цели, след анализ на съществуващата геоложка, хидрогеоложка и карстоложка информация се приложиха различни геофизични методи за установяване на карстови каверни, неразкриващи се на повърхността.

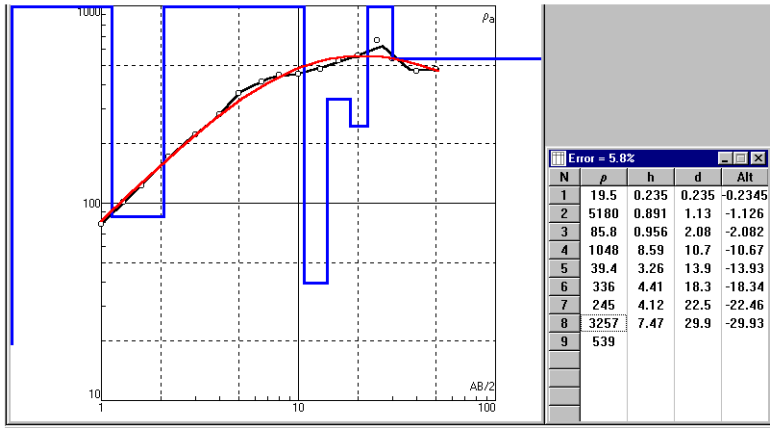
Приложени бяха методите на вертикалното електрическо сондиране (ВЕС) в 4 пункта и неговата модификация азимутално вертикално електрическо сондиране в един пункт.



Фиг. 4. Геложка карта за района на с.Румянцево: 1 - алувиални отложения - пясъци, чакъли, глини; 2 - палеогенски мергели, пясъчници, алевролити, глини ; 3 - горно-маастрихтски варовици ; 4 - долнокредни пясъчници, мергели, алевролити; 5 – а) реки, б) извори; 6- вртопи и валози; 7 – населени места; 8 – изследван район

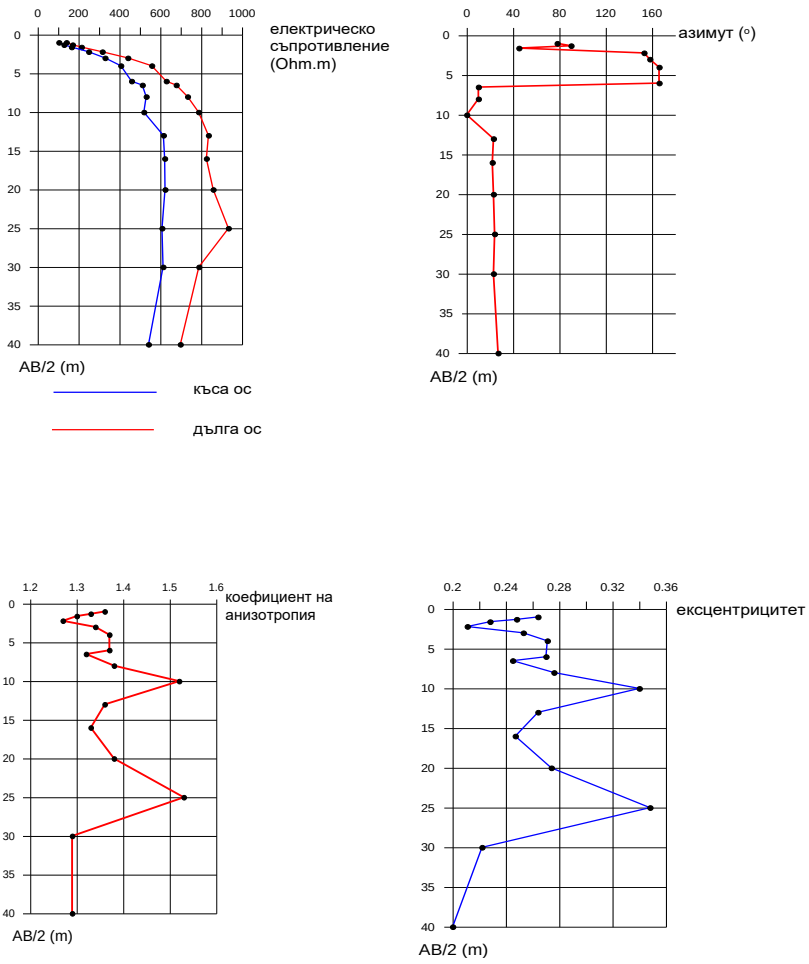
Първото измерване по метод ВЕС се намира на около 4 m северно от сондаж СН10 установил каверната и затова при интерпретацията се наложиха слоевете и дебелините им така, както са пресечени от сондажа (програма IPI2WIN). След това се освободиха всички параметри, което позволи на програмата да избере оптимален модел. Полученият резултат е с точност 5.8%.

В горната част на разреза (до към 11 m) се регистрират електрически съпротивления (над 1 000 Ohm.m), които са присъщи на високоомни варовици (фиг.5). Следва зона, вероятно силно напукана, с променливо съдържание на глинест запълнител, която е с по-ниски стойности на електрическото съпротивление. Ако под тази точка на ВЕС има каверна, то тя се намира на дълбочина над 22 m и е с височина около 7 m. Следват варовици с електрическо съпротивление около 500-600 Ohm.m. На измерената крива от ВЕС се вижда един ясен максимум при AB/2=25 m. Той е вероятното отражение на каверната. По тази причина бе решено измерванията по метода на диполното профилиране по схемата на срединните градиенти да се изпълни с разстояние между захранващите електроди A и B равно на 50 m.



Фиг. 5. Интерпретация на кривата на ВЕС 1

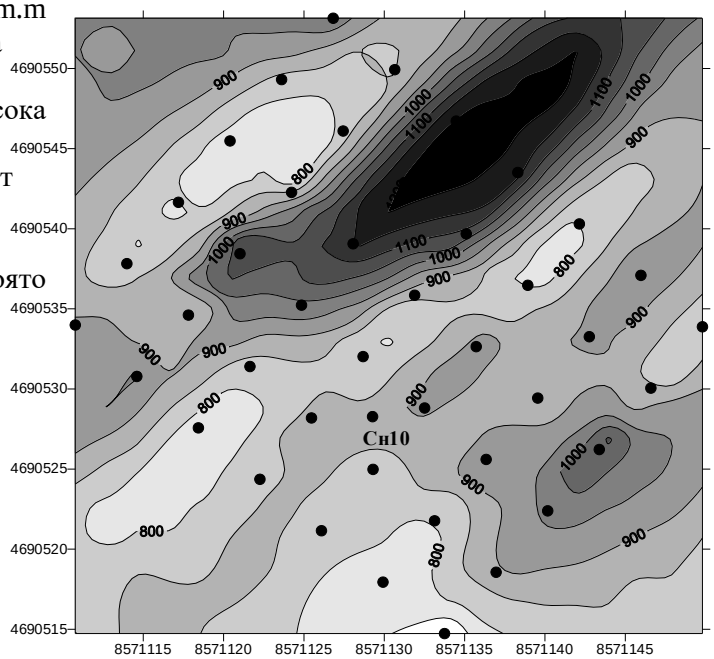
Разновидност на метод ВЕС е изследването по азимутална схема в една точка (например 4 бр. ВЕС с азимути на схемата през 45^0). С този тип измервания се получава важна информация за електрическата анизотропия на скалния масив на различни дълбочини и се определят преобладаващите направления на пукнатинната система. Интерпретацията се прави отново като за обикновено вертикално електрическо сондиране, но с програмата ELLIPSE се получава допълнителна информация за анизотропните характеристики на скалите. Направените анализи на азимуталните изследвания отново при сондаж СН10 показват, след като се изключи повърхностният слой до около 2 m, че има две генерални направления на анизотропия (фиг. 6). Първото, с азимут на голямата ос на електроанизотропия N 150-170^0, е свързано с варовиците до дълбочина около 10-13 m, т.е. с по-високоомните варовици от горната част на разреза.



Фиг. 6. Графични характеристики на електрическата анизотропия на варовиците, преминати от сондаж Сн10

Второто направление на голямата ос на електро-анизотропия N 22-27^0 е характерно за дълбочини над 13 m от повърхността. Това направление трябва да се свърже с главното направление на пукнатинните системи в долулежащите и окарстени в по-голяма степен варовици. На фиг. 6 са представени графиките на всички изчислени параметри от азимуталното ВЕС. От тях ясно се вижда, че в зоната на каверната (AB/2=25 m) се регистрира ясно изразен максимум на коефициента на електроанизотропия и съответ-но максимум на ексцентрици-тета на елипсата. На дълбочини около 10 m и 25 m се регистрират най-изразителни нива на смяна на електрическите характеристи-ки на скалите. За по-малката дълбочина (AB/2 = 10 m) това вероятно се дължи на литоложки преход, докато за по-голямата дълбочина (AB/2 = 25 m) най-обоснованото обяснение е наличие на карстови кухини с направление СИ-ЮЗ.

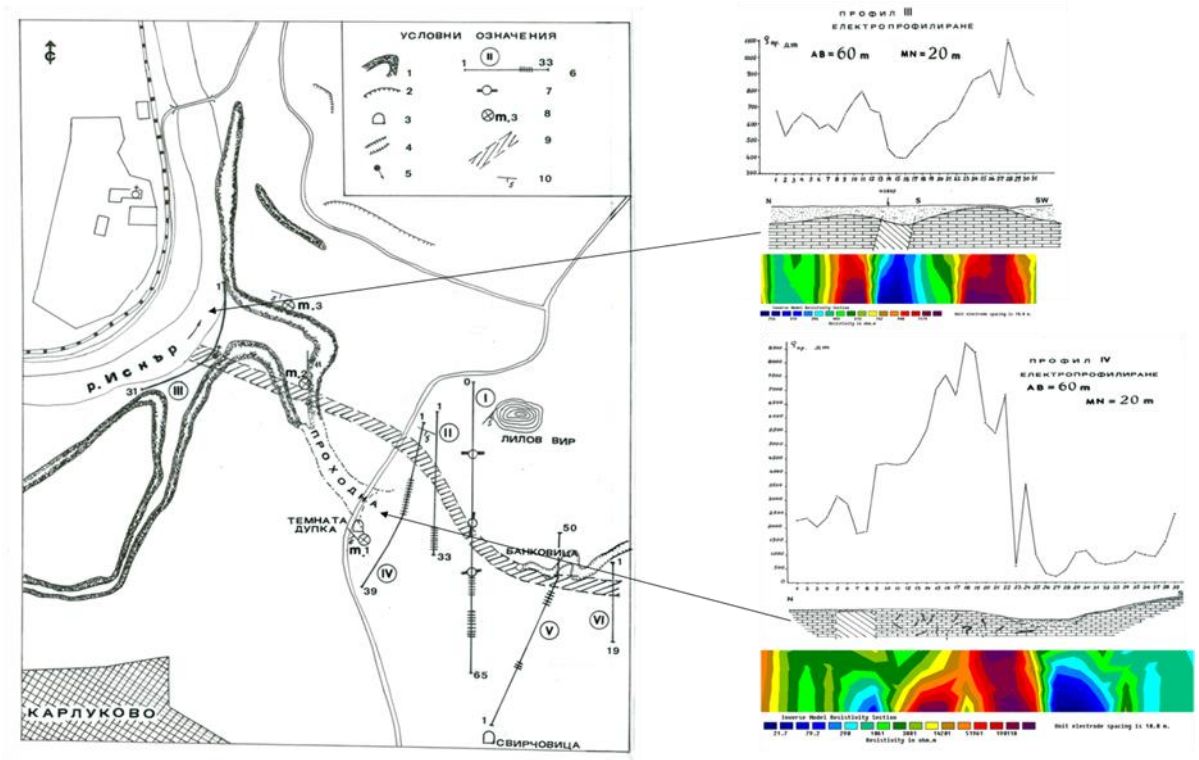
За площно картиране на определена дълбочина на електрическото съпротивление на скалите е приложено диполно профилиране по схемата на срединните градиенти. Ясно се вижда, че сондаж Сн10 попада в зона с електрически съпротивления над 850 Ohm.m (фиг.7). Преминатата от сондажа карстова кухина вероятно се развива като подземна галерия на ЮЗ, като дренира системата по посока към откритите карстови повърхностни и познатите подземни форми на ЮЗ от изследвания участък. Вероятно трябва да се изключи като ефект от карстова кухина най-силната аномалия в североизточната част, която се приема като отражение на по-високоомни варовици.



Фиг. 7. Карта на аномалиите на привидното електрическо съпротивление на изследвания район при с. Румянцево.

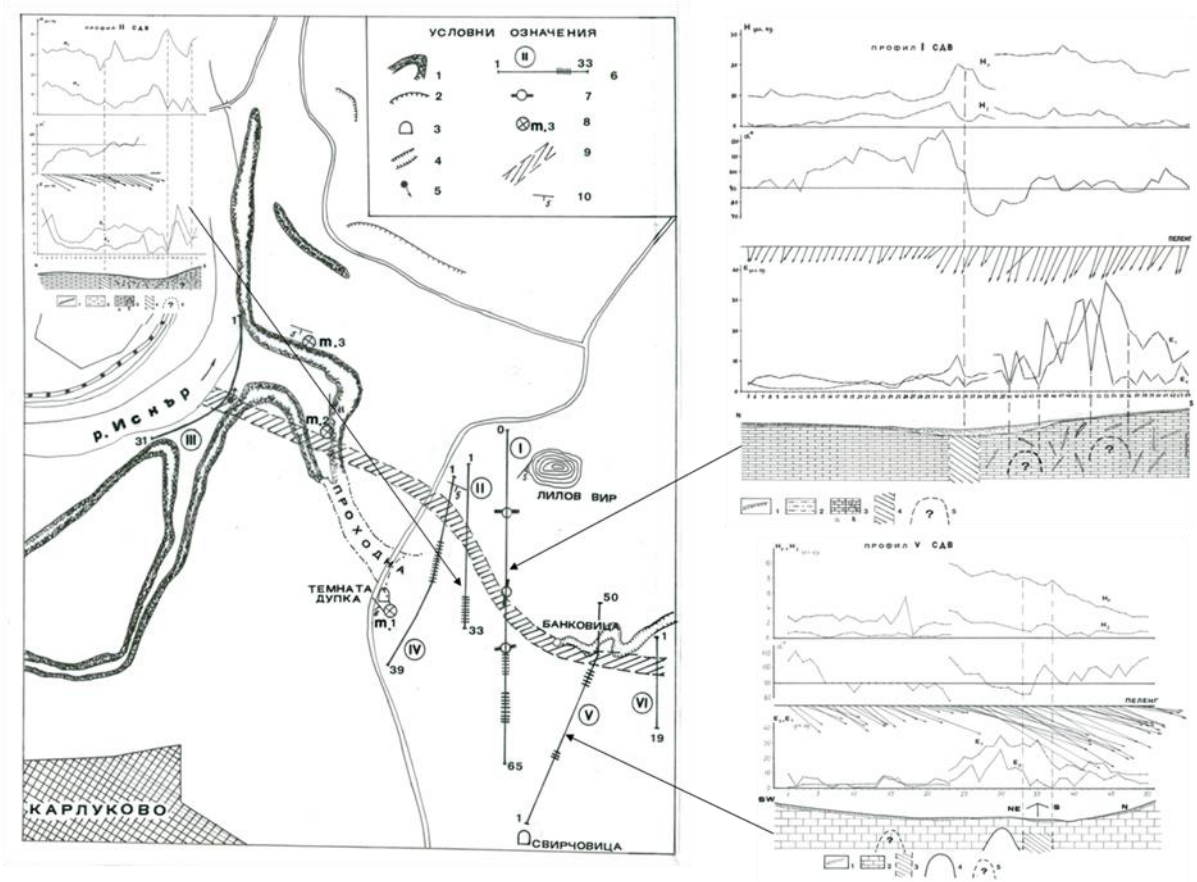
Карлуковски карстов район

Геофизичните и структурно-геоложките изследвания в района на с.Карлуково, източно от долината на р.Искър, са извършени през периода 1985-1986 година за да се установят тези структурни и тектонски характеристики на варовиковия масив (Кайлъшка свита – късен маастрихт), които контролират развитието на една уникална карстова система, чиято най-забележителна изява е пещерата „Проходна" . Чрез методите на електропрофилирането с използването на постояннотокови методи (фиг. 8) и метода на свръх дългите радиовълни (СДВ)(фиг. 9) са определени аномалии от известни в района карстови пещери, както и аномалии, които биха могли да се отнесат към неизвестни подземни карстови форми.

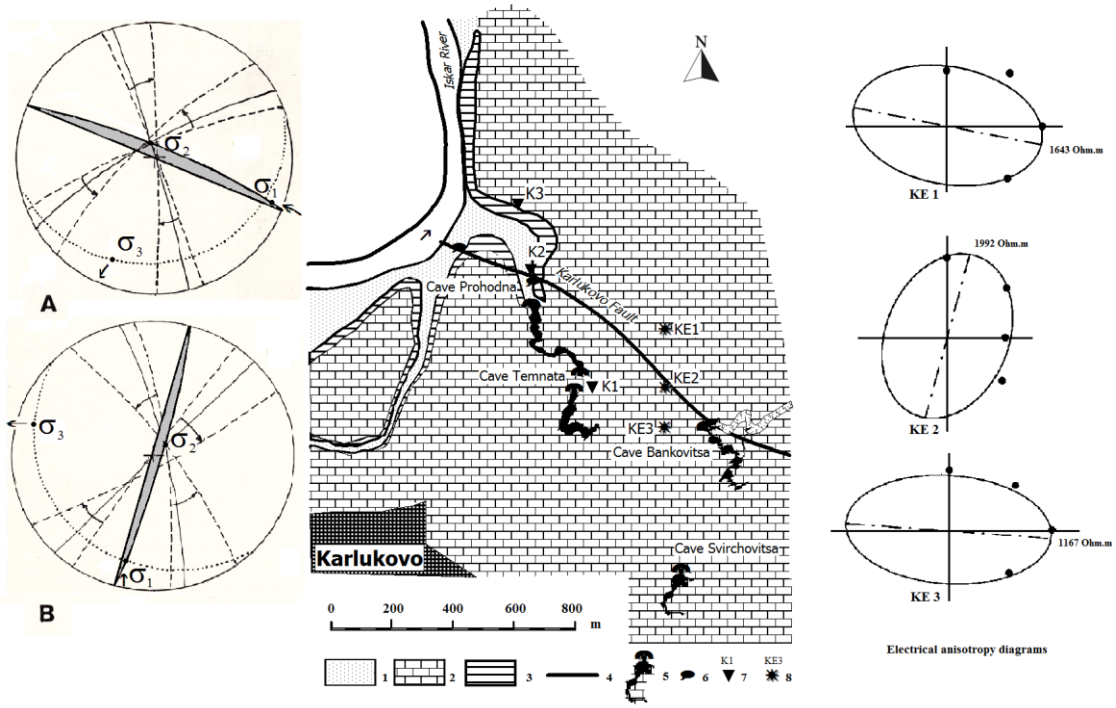


Фиг. 8 Изследвания по метода на симетричното електропрофилиране с постоянен ток по два профила в района на с.Карлуково

Трасиран е сегмент от регионален разлом с направление СЗ-ЮИ (Карлуковски разлом - продължение на Брестнишко-Преславската флексура), който контролира процесите на карстообразуване и дренира подземните води към река Искър. Изследването на системите пукнатини на срязване в масива и електрическата анизотропия позволиха да се реконструират полетата на тектонски напрежения, последователно действали върху скалите и определили формирането на пукнатините на опън, които от своя страна са най-благоприятни за движението на подземните води и формирането на главните карстови системи (фиг. 10). Неизвестни карстови кухини бяха предсказани южно от Карлуковския разлом. След дълъг период на подземни работи в пещерата Банковица през 2008 година спелеолозите откриха карстови галерии с подземна река съвпадащи в план с геофизичните аномалии. Направлението на галериите съвпада и с определеното главно направление на отворените пукнатини от анализа на тектонските напрежения.



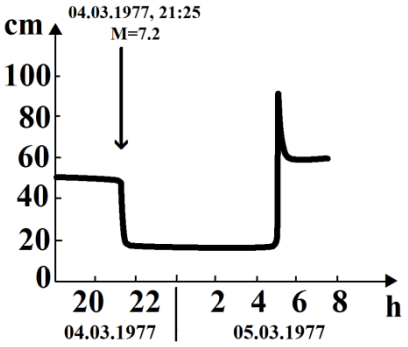
Фиг. 9 Изследвания по метода на свръх дългите вълни (СДВ) на честота 16 kHz (станция Ръгби, Великобритания) по три профила в района на с.Карлуково



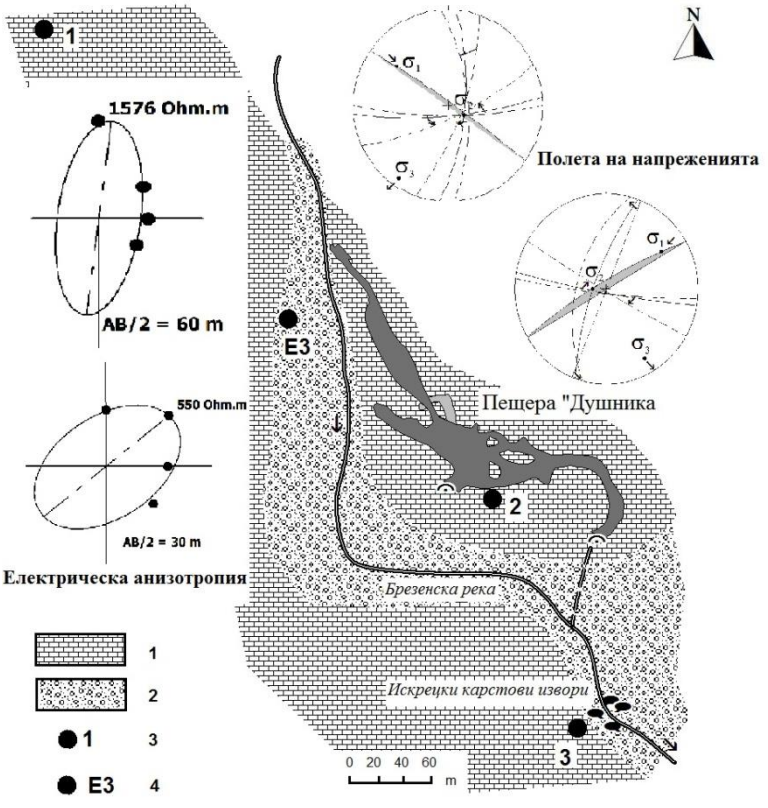
Фиг. 10 Схема на района североизточно от с.Карлуково с проекция на известните пещерни системи и диаграми на реконструкциите на тектонското поле на напреженията и електрическата анизотропия на скалите (от Shanov, Kostov, 2015). 1 – кватернерни седименти; 2 – маастрихски варовици; 3 – склонове на каньонообразни долини; 4 – разлом; 5 - хоризонтална проекция на известни пещери; 6 – карстов извор; 7 – точка на измерване на електрическа анизотропия на скалите; 8 – точка на измервания на пукнатитни на срязване

Искрецки карстови извори

Изворите се намират в Искрец-Губешкия карстов район в Западна Стара планина (варовици от триаската карбонатна група). Дебитът им се мени от 280 до повече от 50 000 l/s. Техен преливник при високи води е пещерата „Душника". Геофизичните изследвания в района са правени през големи интервали от време, като първите са за електрическата анизотропия и са представени при анализа на тектонската обстановка в района (Паскалев и др., 1992). Изследвания за възможно влияние на взривове в близката кариера върху дебита на изворите, които се използват за водоснабдяване на г. Своге и околни села (150 l/s) са извършени през 2000 година по искане на местните власти (Shanov et al. 2000; Shanov and Benderev 2005). Причината е, че след земетресението във Вранча (Румъния) през 1977 г. (M=7.2) на разстояние около 400 km от изворите дебитът им спада внезапно от 5.5 to 0.5 m^3/s в продължение на 7.5 часа). Следва внезапно увеличаване на дебита до 13.5 m^3/s, след което постепенно намалява до нормалните си стойности (фиг. 11). Подобно събитие се случва и след локалното Своге земетресение от 1980 г., както и на 11.04.1982 г. без регистрирано осезаемо земетресение в целия Балкански регион.



Фиг. 11 Изменение на дебита на Искрецките карстови след земетресението във Вранча (Румъния) от 04.03.1977 г., M=7.2 (от Shanov, Benderev 2005 по Петров, 1983).



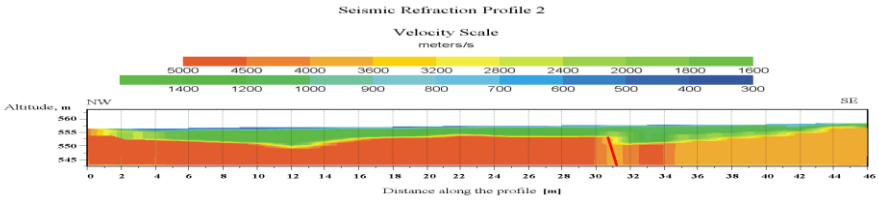
Фиг. 12 Геоложка схема около пещерата „Душника" с нейната проекция на повърхността и точките на извършени изследвания (по Shanov, Kostov, 2015).

1 – Варовици на Оплетненския член от Триаската карбонатна група (долен до горен аниз); 2 – кватернерни седименти (основно алувиални); 3 – точка на измерване на пукнатини на срязване; 4 – точка на измервания на електрическата анизотропия на скалите

От анализът на пукнатините са определени две ясни тектонски въздействия, които са предопределили появата на отворени тектонски пукнатини в направления СЗ-ЮИ и СИ-ЮЗ. Първото направление контролира сега активните галерии на пещерата „Душника", а второто съвпада с някои от галериите около входовете на пещерата. От изследванията в карстовите райони в Западна Стара планина е определено, че първото въздействие е от Къснокимерската тектонска фаза в края на юрския период. Второто на правление е отражение на въздействието на Пиринейската тектонска фаза (от олигоцена до плиоцена). Елипсата на електрическата анизотропия при симетрична схема с разстояние между електродите AB/2 = 30 m е с дълга ос ориентирана точно в това направление. Решението за механизма на сравнително близко земетресение от 09.03.1980 г., M=4.4 дава основание дава основание да се постулира, че основните директриси на тектонското силово поле в района не са се променили значимо след въздействията на Пиринейската тектонска фаза.

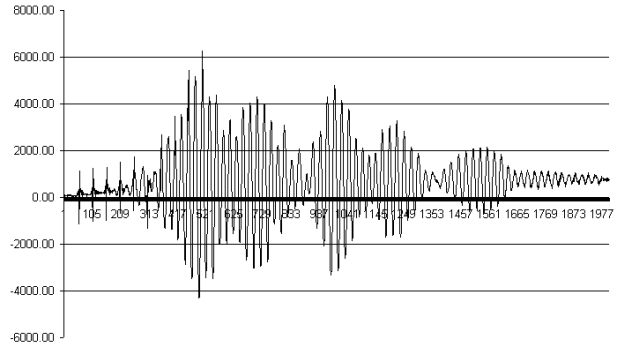
За оценка на въздействията от взривни работи в близката кариера, в предварително прокарани сондажи в кариерата бяха проведени 2 бр. отделни опитни взривявания. Дълбочината на сондажите е около 9 m. Взривно вещество от химически тип с тегло 30 kg се постави във всеки от двата избрани сондажа, като след това те се запълниха до повърхността със скален материал. Така се получи заряд тип "цилиндричен" с дълбочина на средната си част от около 5 m под земната повърхност.

Сеизмоприемниците се разположиха по два профила в непосредствена близост до изворите. За всеки от профилите бе извършено стандартното изследване по метод КМПВ с пет пункта на възбуждане на сеизмични вълни чрез удари по земната повърхност. Регистрацията се извърши при натрупване на сигнала от 5 удара за всеки пункт. Сеизмоприемниците бяха от типа за регистрация на вертикални премествания, разположени в групи от по два, през 2 m. Общият брой на каналите по всеки профил е 24. По такъв начин всеки от профилите е с дължина от 46 m. На фиг. 13 е показан получения разрез по профила разположен по посока на речната долина. Ясно се вижда разломът, който предопределя наличието на извори.



Фиг. 13. Геофизичен разрез по скорости при изследването по метод КМПВ на геоложките структури около Искрецките извори (програма WinSeis 8)

При двете регистрации всички сеизмични канали с нечетен номер бяха свързани със сеизмоприемници от вертикален тип, а четните канали - със сеизмоприемници от хоризонтален тип. Така се получи регистрация на въздействията от взривовете във вертикално и хоризонтално направление. И при двата взрива 1 и 2 канали бяха свързани със сеизмоприемници, които бяха поставени на 14 m навътре от входа на пещерата Душника, т.е. директно върху скалната варовикова основа под земята. По този начин се направи регистрация на сеизмичния сигнал от взривовете без да се филтрира от алувиалните наслаги, какъвто е случаят по двата сеизмични профила около изворите. За да се очаква негативно въздействие от взривовете, то техният ефект трябва да бъде сравним с този от земетресенията, които са предизвиквали временно намаляване на дебита им. По известни емпирични зависимости се изчисли, че ускорението от земетресението във Вранча, Румъния през 1977 г. е било максимум 0.07 g, а от Свогенското земетресение през 1980 г. – около 0.043 g. Полученото средно въздействие (хоризонтално ускорение) при единичен взрив от 30 kg в кариерата на 350 m от изворите е 0.00024 g. За да се оцени въздействието при групово взривяване се използва най-чистият запис от един от сеизмоприемниците в пещерата (хоризонтална чувствителност). Синтетичната сеизмограма имитира групов взрив от 10 взрива със закъснение между тях от 25 милисекунди (фиг. 14). Изчисли се и ускорението за цялата дължина на синтетичния запис. При подобен начин на взривяване в кариерата има наслагване на сеизмичните сигнали от последователните взривове, понякога в противофази. От сравнението с ускоренията от сеизмичните вълни при земетресения се вижда, че при тази схема на групово взривяване резултантното движение на почвата (респективно скалата) над 40 пъти (0.001 g) по-слабо от въздействието на земетресенията, при които е имало спиране или намаляване на дебита на изворите (фиг. 14). Скоростта на движение на почвата се получава 14 пъти по-ниска от критичната скорост от 5 cm/s, изведена за групови взривове.



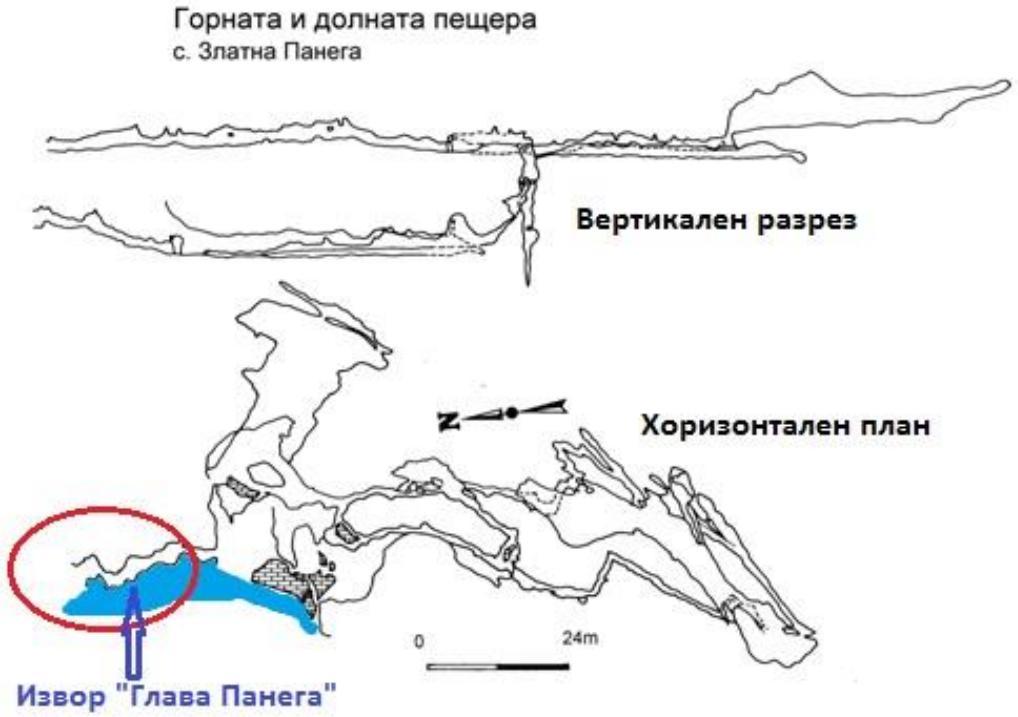
Фиг. 14 Синтетична сеизмограма от 10-кратно наслагване с последователно закъснение от 25 ms на реалния запис от първия опитен взрив на хоризонталния сеизмоприемник в пещерата Душника. Тази сеизмограма имитира групово взривяване през 25 ms на 10 сондажа, всеки зареден с 30 kg взривно вещество.

Извор „Глава Панега”

Целта е да се определи дали провежданите промишлени взривявания могат да повлияят на карстовия извор Глава Панега (до степен на прекъсване на водопритока). Разстоянието между центъра на взривното поле и разположените по пътеката към пещерата и в пещерата сеизмоприемници е 1 250 m.

Карстовият комплекс около извора Глава Панега е разположен в непосредствена близост до кариерата между 300 и 400 m, западно от края на концесионната площ. В него се включва карстовия извор и пещерите около него. Карстовият извор представлява две езера свързани подземно помежду си. По-горното е с кота на водното ниво около 185 m и максимална дълбочина около 11,5 m. В източната му част, на около 3 m под водната повърхност, започва низходящ канал завършващ със слабонаклонена галерия, по която леководолази са стигнали до 230 m от входа на дълбочина – 51 m под водното ниво.

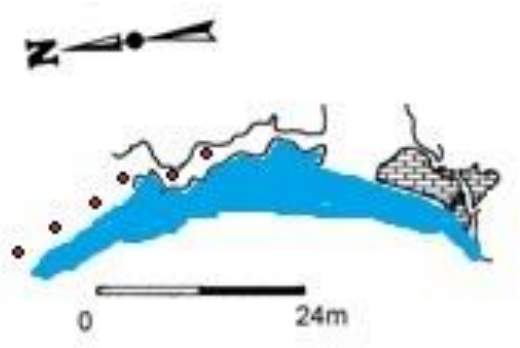
В комплекса на извора се включва и така наречените Горна и Долна пещери. На фиг. 15 е представена картата на пещерния комплекс около извора (вертикален разрез и план). С елипса е означена площадката, в която бяха поставени регистриращите прибори (в пещерата и извън нея). Пресъхване на извора е имало много години преди започване на кариерните работи (по данни публикувани от френския консул G.Lejean през 1873 г. и цитирани от Попов, 1962), което може да се дължи на обрушвания и вътрешно временно баражиране на водите в карстовата система. Друг е въпросът, дали това не се дължи на силно сеизмично въздействие преди 1873 г., за което няма информация.



Фиг. 15 Карта на пещерния комплекс при извор Глава Панега (по материали на БФСп). С елипса е означена площадката, където е регистрирано взривяването на 04.10.2013 г.

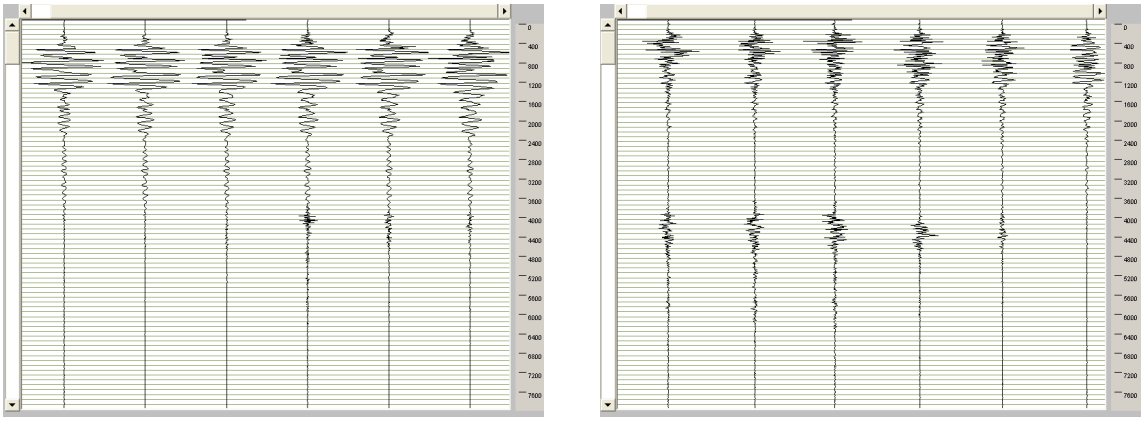
Взривното поле се състои от 32 броя вертикални сондажи с диаметър 115 mm и средна дълбочина 8.3 m (дълбочината варира от 3.8 до 11.6 m), които са запълнени със взривно вещество. Взривяването се изпълнява по схема Нонел, със закъснение от 25 ms между отделните сондажи. Изпълнението на взривните работи по схема „Нонел” води до силна интерференция на преките сеизмични вълни от сондажите. Тази интерференция, по принцип, потушава пиковите скорости и ускорения, които се регистрират на повърхностния слой. Случайно може да се очаква такова наслагване на вълните, че да се получат по-големи стойности и нежелани ефекти, главно в близката зона около взривовете.

На фиг. 16 е представена схема с разположението на двойките сеизмоприемници (хоризонтален и вертикален) при извор Глава Панега. Две двойки сеизмоприемници са поставени в пещерата, практически над сифона на извора, една двойка – при самия вход на пещерата и три двойки сеизмоприемници се разполагат по пътеката към пещерата, успоредно на брега на езерото.



Фиг. 16 Схема на разположението на сеизмоприемниците при извор Глава Панега.

Измерванията се извършиха с 24-канална сеизмична станция с висока разделителна способност RAS-24, производство на компанията SEISTRONIX, USA. Записът е цифров, със стъпка на квантуване 1 ms. Всички филтри на станцията са отворени при регистрацията, т.е. създадени са условия за записване на широк спектър от трептения на почвата. Усилването на всички регистриращи канали е еднакво – 24 dB. Регистрациите при извор Глава Панега са с дължина 8 секунди. На фиг. 17 са представени оригиналните записи на 12-те канала (6 бр. хоризонтални и 6 бр. вертикални).



А Б

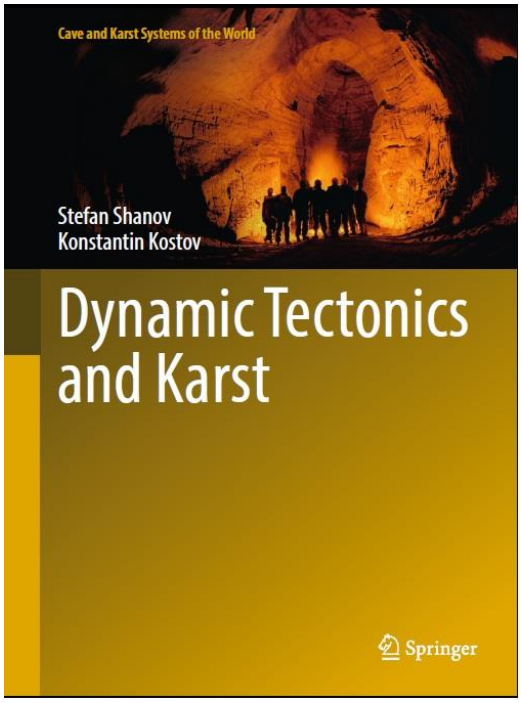
Фиг. 17 Записи на сеизмоприемниците с хоризонтална чувствителност (А) и вертикална чувствителност (Б), разположени на площадката около извор Глава Панега.

Измерените стойности за скоростта на движение от хоризонталните сеизмоприемници са от 0.0063 до 0.0078 cm/s при средна стойност 0.0071 cm/s. Тези стойности, сравнени с графиците за безопасните прагове по международните стандарти, показват, че в този случай избраната методика на взривяване обезпечава неразрушителни въздействия извън радиуса от 500 m. Нито една стойност не достига критичните 5 cm/s. Средното ускорение е 1.87 cm/s^2 при регистрирани стойности от 1.25 до 2.81 cm/s^2. В последния случай прави впечатлени почти два пъти по-ниските стойности на хоризонталните ускорения регистрирани в пещерата над извора, от тези извън нея. Това е потвърждение на факта, че в дълбочина под земната повърхност ускоренията са по-ниски. Заключението е, че не е възможно взривовете от кариерата да имат отражение върху дебита на водата в извора.

От записите на вертикалните сеизмоприемници се определи, че регистрираните скорости на площадката около извор Глава Панега са още по-ниски – от 0.00061 до 0.00091 cm/s, при средна стойност 0.00078 cm/s. Максималните ускорения, изчислени за сеизмоприемниците с вертикална ос на чувствителност от 0.14 cm/s^2 в пещерата над извора до 0.69 cm/s^2 извън нея, а средната стойност за цялата разстановка е 0.38 cm/s^2.

Монография „Динамична тектоника и карст”

Голяма част от изложените по-горе резултати намери своето място в монографията „Динамична тектоника и карст” (Dynamic Tectonics and Karst – Shanov S., Kostov K., 2015). Монографията (фиг. 18) систематизира познанията върху връзката „тектоника – карст” и предлага оригинален комплексен методически апарат за нейното изследването, включващ геофизични, геоложки, сеизмоложки, палеосеизмоложки и геоморфоложки методи. В книгата са публикувани изследвания, извършени от авторите в карстови райони на България, Албания, Франция и Куба. Представени са фундаменталните научни аспекти и приложните методи за изследване на връзката „тектонски напрежения – напуканост – карст”. Електрическата анизотропия на скалите и решенията за механизмите на земетресения (там, където има такива) в изследваните райони са използвани за времевото и пространствено позициониране на реконструираните чрез структурно-тектонски методи полета на напрежения в скалите и определяне на преференциалните направления за развитието на подземните карстови системи. Представена е и комплексна методика за изследване на следи от предисторически земетресения в пещери.



Фиг. 18 Корица на монографията

Методиката включва морфоложки и статистически анализ на пространствената ориентация на деформирани пещерни образувания (фиг. 19), измерване на естествената честота и хоризонталното сеизмично ускорение на сталагмити, мониторинг на съвременни геодинамични процеси и методи за датировка. За първи път в света наличното познание по темата е систематизирано в монография. Въведена е стройна методика за тектонски изследвания в карстови терени, разглежда се и поведението на карстовите форми по време на внезапното разместване на тектонските блокове от активни или способни да генерират сеизмично събитие разломи.



Фиг. 19 Деформирани спелеотеми в следствие на палеоземетресение. Пещера „Лепеница” край г. Велинград (Kostov, Shanov, 2006). Абсолютната датировка по метод U/Th на върха на наклонените сталагмити и на основата на вертикалните сталагмити дава времевия интервал в който се е случило катастрофалното сеизмично събитие.

Литература

Бендерев Ал., Шанов Ст., Костов К., Михайлова Б., Митев Ас., 2009. Характеристика на карста в района при гара Черепиш (Западен Балкан) с оглед оценка възможностите за провеждане на хидротехническо строителство Симпозиум „80 години организирана спелеология в България", 22 март 2009 г., София, с. 25-33, ISBN: 978-954-8827–05–08

Паскалев М., Бендерев А., Шанов С., 1992. Тектонски условия в района на Искрецките карстови извори (Западна Стара планина). Списание на БГД, год.53, кн.2, с.69-81.

Шанов С., А.Бендерев, А.Митев, Б.Михайлова, И.Илиева, 2009. Геофизични изследвания за откриване на подземни карстови форми в района на с.Румянцево, Ловешка област. Материали от Конференцията по спелеология "50 години студентски пещерен клуб Академик – София", 24 октомври 2008 г., София, Национален музей "Земята и хората", 135-147.

Hoover R.A., 2003. Geophysical choices for karst investigations. 9th Multidisciplinary Conference on Sinkholes and the Engineering and Environmental Impacts on Karst. Huntsville, Alabama, September 2003, pp.1-10.

Kostov K., Shanov S., 2006. Records of catastrophic events on speleothems: Case studies from the Rhodopes, Southern Bulgaria. In: Archives of Climate Change in Karst. Karst Waters Institute Special Publication 10, 36-38.

Shanov S., Benderev A., 2005. Seismic impact from earthquakes and from grouped blasts in quarries on the discharge of karst springs. Proceedings of the International Conference "Water Resources and Environmental Problems in Karst – CVIJIC 2005", Belgrade & Kotor, 13-22 September 2005, p. 145-150.

Shanov S., Isaev M. 2014. Assessment of the seismic impact from quarry blasts on Glava Panega Karst Spring (Bulgaria). Proceedings of XX Congress of the Carpathian-Balkan Geological Association, September 24-26, Tirana Albania, v.I, pp. 397-400.

Shanov S., Kostov K., 2015. Dynamic Tectonics and Karst. Springer – Verlag Berlin Heidelberg, 123 p.

Smith D.V., 2005. The State of the Art of Geophysics and Karst: A General Literature Review. US Geological Survey Karst Interest Group, Proceedings, Scientific Investigations Report, Rapid City, South Dakota, September 12-15, 2005, pp.10-16