



Методология за тектонски изследвания в карста

Константин Костов
Геологически институт при БАН
София 1113, ул. Акад. Г. Бончев, Бл. 24
e-mail: kstov@geology.bas.bg

Абстракт: Карстовите пещери представляват относително консервативна среда, където тектонските деформации се фиксират особено ясно и се запазват във времето. В последните три десетилетия нарасна тяхното значение като индикатори за тектонска активност. Целта на доклада е да подчертае българския принос в изследването на взаимовръзката „тектоника – карст“.

Комплексният методически апарат, предложен от български учени през 2015 г, включва: а) Метод на морфоложки и статистически анализ на деформирани вторични пещерни образувания; б) Анализ на тектонския ефект върху морфологията на пещерните галерии и мониторинг на тектонски движения; в) Метод за определяне естествената честота и хоризонталното ускоряване на вторични пещерни образувания; г) Методи на абсолютната геохронология.

Ключови думи: тектоника, геодинамика, сеизмология, мониторинг, карст

Въведение

В последните години извънредно нарасна значението на карстовите форми и седименти в геоморфоложките изследвания. Понастоящем е възприета тезата, че разнообразните вторични пещерни образувания (сталагмити, сталактити, натечи и др.) са всред най-надеждните източници на информация за измененията на природната среда през плейстоцена и холоцена.

Едно от най-интересните и същевременно полезни за обществото и стопанството направления на съвременната карстология, е изучаването на пещерните морфология и отложения за целите на сеизмотектониката и палеосеизмологията. Вторичните пещерни образувания могат да бъдат забележителен източник на информация за въздействието на исторически и праисторически земетресения. Установяването, изучаването и датирането на следи от силни сеизмотектонски събития в пещерите е от съществена полза за изследване режима на повтаряемост на катастрофофални земетресения, а оттук и в предсказателен аспект.

В сравнение с други вторични доказателства за тектонски събития (повърхностни дислокации по разломи, свлачища и срутища, деформирани археологически обекти и др.), изследването на пещерните седименти има няколко главни предимства:

А. Пещерите са сравнително консервативна среда, характеризираща се с почти постоянни климатични условия, където влиянието на екзогенните геоморфоложки процеси като изветряне и дефлация са сведени до минимум. Ето защо в условията на подземните карстови форми деформациите се фиксират и запазват особено ясно във времето;

Б. Пещерните наслаги могат да бъдат прецизно датирани чрез методите на изотопната геохронология (уран-ториев, радиовъглероден и др.) или други техники (Andre-Jehan, 2000, Forti, 1997, 1998, Forti & Postpischl, 1984, 1987);

В. Чрез тяхното датирание е възможно да бъдат времево локализирани сеизмотектонски събития от последните 500 000 г. - т.е. много преди първите археологически или писмени доказателства за такива явления;

Г. Вторичните образувания са сравнително несложни структури, които лесно могат да се моделират и съответно чрез лабораторни тестове да се установят причините за тяхното деформиране (Camelbeeck, 1998, Davenport, 1998, Cadorn et al., 2000).

До началото на втората декада на века не бе утвърден унифициран методически апарат за тектонски и палеосеизмоложки проучвания в карстови форми и наслаги. Монографията „Динамична тектоника и карст“ на учени от Геологическия институт при БАН е сериозен опит за въвеждане в практиката на такава методология (Shanov & Kostov, 2015).

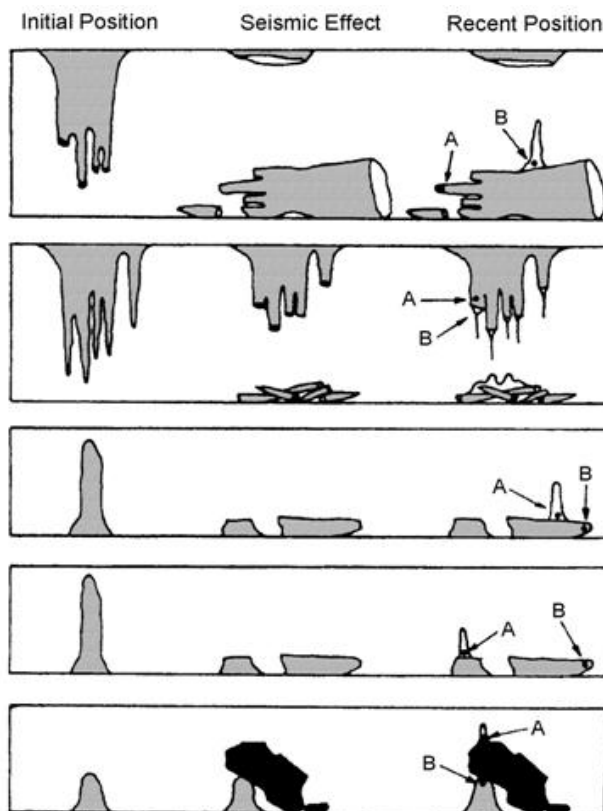
В изследването бе приложен комплексен подход с прилагане на техники от редица съвременни методи на геоморфологията, палеосеизмологията, инженерната сеизмология, карстологията, ядрената геохронология, геофизиката и геологията. Принципът на комплексност в разработката е предпоставка за въвеждането в практиката на стройна система от специализирани методи за тектонски и палеосеизмоложки изследвания в карста. Специфична особеност в методично отношение е и значителния обем теренни работи при трудни условия, които трябва да се проведат с използване на похвати от спортната спелеология.

Метод на морфоложки и статистически анализ на деформирани вторични пещерни образувания

Методът е разработен и приложен с известни различия в изследванията на Дублянский (1972, 1995), Gilli et al. (1998), Quinif (1999) и Delaby (1999, 2000). Основава се на разбирането, че наличието на изразена предпочитана посока в пространствената ориентация на деформираните вторични образувания е доказателствен признак за косеизмичния произход на деформациите. В качеството на индикатор за палеосеизмични събития. Дублянский използва повалени

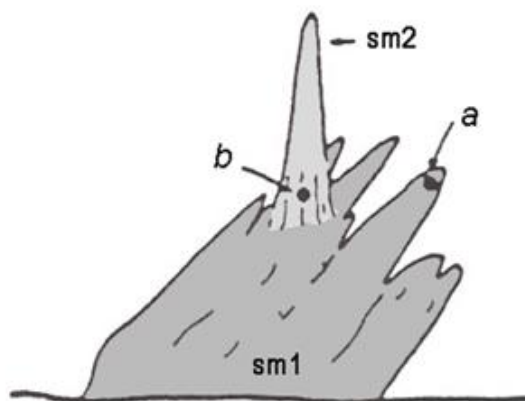
сталактони, Gilli - счупени цевични сталактити, а Quinif и Delaby - повалени или инклинирани сталагмити. В настоящото изследване е използван комплексен подход с измерване на посоките на целия наличен комплекс от деформирани пещерни хемогенни отложения - сталагмити, сталактити и колони (Костов, 2008, Shanov & Kostov, 2015). Такъв подход рязко повишава, както информативността на установените деформации, така и достоверността на изводите.

От определени места в деформираните образувания се избират образци за абсолютно датиране с цел определяне на времевия интервал, в който се е случило палеосейзмичното събитие (Фигури 1 и 2).



Фиг. 1.: Морфоложки типове тектонски деформации на вторични пещерни образувания. А и В – места за взимане на проби за абсолютно датиране с цел установяване на времевия интервал на тектонското събитие (по Dubois & Grellet, 1997 с допълнения)

В редица случаи напукването, инклинирането или счупването на вторични образувания е възможно да се дължи и на други причини: слягане или излужване на глинеста подложка под образуванията, екзарация, антропогенно или биогенно влияние.



Фиг. 2: Инклиниран сталагмитен масив с по-млад сталагмит. Образците за датиране А и В се взимат от края на наклонения масив и основата на новото образувание (по Quinif, 1996 с изменения)

А) Негативно антропогенно или биогенно въздействие върху вторичните пещерни образувания:

С появата и развитието на спелеотуризма възниква и проблема за опазването на пещерните ландшафти. За първата “туристическа” пещера в Европа се приема Виленица в Словения, където е въведена входна такса за посетители още от

1633 г. В нашата страна началото на епизодични туристически посещения в някои пещери се поставя през 20^{-те} години на ХХ в. Популярност всред българските туристи придобиват леснодостъпни части на пещерите Духлата при с. Боснек, Бачо Киро при Дряновския манастир, Леденика във Врачанска планина и Темната дупка при гара Лакатник.

За съжаление, още в началото на по-масовото запознаване с пещерите, се появява със закъснение и нуждата от опазването им. През 1929 г. в доклад, изнесен пред Съюза за защита на родната природа, акад. Иван Буреш пише: “Не мога да не призная, че човек застанал пред тия бизарни тънки и крехки стакактити, неволно бива обладан от желанието да замахне с ръка или бастун и да изпочупи десетки от тях просто така за удоволствие. И това варварско удоволствие се извършва за жалост масово в нашите пещери.” (Буреш, 1930, с. 14).

Следите от съвременно негативно антропогенно въздействие в пещерите се изразяват най-често в счупени сталактити и отчупени фрагменти от сталагмити и са характерни за леснодостъпните привходни части. Определянето им като такива не представлява трудност при полеви изследвания. Аналогична е ситуацията с евентуалните деформации на пещерни образувания в близост до праисторически пещерни жилища или огнища. В огромната си част пещерните селища от палеолита, мезолита и неолита по нашите земи са в привходните части на пещерите (или скалните ниши), при директна осветеност от пещерния вход. Описани са някои праисторически огнища и във вътрешни участъци на пещерите Магура при с. Рабиша, Зандана (Бисерна) край гр. Шумен и Снежанка при гр. Пещера, но вторичните пещерни образувания в близост до тях не са счупени или повалени (Попов, 1982).

Редки случаи на негативно биогенно въздействие върху пещерните наслаги са представени от повалянето на сталагмити от едри плейстоценски бозайници. Gilli съобщава за странно деформирани масивни образувания в пиренейски пещери – “костници” на пещерна мечка. Деформациите (бутнати сталагмити) в близост до леговищата могат да се интерпретират и като резултат от дейността на *Ursus Spelaeus*. (Gilli, 1995).

Б) Негативно въздействие от слягане или свличане на водно-механични наслаги под вторичните пещерни образувания;
Водно-механичните пещерни наслаги (в смисъла на Максимович, 1963 и Дублянский и др., 1985) са представени от пясъци, аргилити и алевролити. В зависимост от морфологията на пещерата и условията на седиментация, дебелината им на места е възможно да надхвърли 6 - 7 m (Дублянский и др., 1985). Във водни пещери с активен хидродинамичен режим е може да се наблюдава и бавно движение на тези седименти, както и слягане, свличане, размив или излужване в определени участъци в непосредствена близост до пещерната река. В случаите на отлагане на вторични пещерни образувания върху водно-механични наслаги, е възможно бавно инклиниране или поваляне на първите.

Във Франция е описан и случай на счупване на сталактити от кално-каменен порой (Vanaga, 1997). Предпоставките за появата на такова катастрофално геоморфоложко явление са:

- Пещерата да е понорна, с тесен вход и незначително напречно сечение на галериите;
- Пещерата да отводнява и да е в най-ниската точка на обширна карстова депресия (сляпа долина или валог), където е възможно да се акумулира порой с разрушително въздействие.

В) Негативно въздействие от движещ се лед;

Д-р Е. Жили от Центъра за изследване на карста в Ница създава хипотезата, че в определени пещери със значителна надморска височина е потенциално възможно счупването на пещерни образувания от движението на подземен вюрмски ледник (Gilli, 1999, 2005) (Фиг. 7). Идеята за екзарационен ефект върху пещерните морфология и наслаги е приложима за карстови райони, разположени над снежната граница на последния глациал – някои масиви в Алпите и Пиренеите.

В нашата страна природната обстановка през плейстоцена (Балтаков, 1988, Балтаков и Кендерова, 2003) позволява условно към тази категория да се причислят някои от пропастните пещери в пиринските циркуси Баюви дупки, Каменица, Бански Суходол и Казана, в които не са установени вторични образувания.

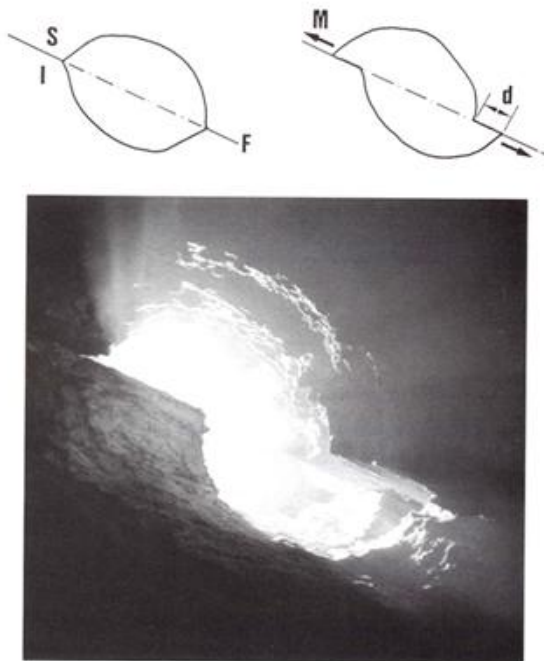
Сезонното акумулиране на лед в някои пещери като Леденика във Врачанска планина, Ледника в м. Злостен до гр. Котел, Ледницата до с. Гела в родопския рид Мурсалица, пропастните пещери Иванова вода и Ледницата при с. Добростан в Западните Родопи, и др., е в незначителни количества и е присъщо за привходните части на тези карстови обекти.

Внимателният анализ и логическото постепенно игнориране на описаните възможни причини за деформиране на вторични пещерни образувания довежда до последната възможна причина – тектонски ефект. Ето защо, за провеждане на коректен статистически анализ при изследвания на деформирани пещерни образувания е необходимо наличието на следните елементи:

1. Изследваната пещера или участъци от пещерата трябва да са добре защитени от негативна антропогенна намеса – т.е. да са сравнително труднодостъпни и непосещавани;
2. В изследваната пещера да е установено количество деформирани натечни образувания, позволяващи извършването на статистически анализ;
3. Установените деформирани вторични пещерни образувания да са в сухи, фосилни участъци на пещерата. При наличието на подземна река, да се анализират образци в отдалечени от нея части;
4. Пещерата да не е тесен понор (губилище), отводняващ значителна територия;
5. Деформираните или повалени образувания да лежат на стабилна хоризонтална повърхност, което изключва вторичната им предиспонация;
6. Анализираните деформирани образци да са калцирани за пода (припокрити с калцитна кора) или калцирани за по-стара генерация вторични образувания – доказателство за относителната старост на събитието, предизвикало деформацията.

Анализ на тектонския ефект върху морфологията на пещерните галерии

В някои пещери се наблюдават индикатори за съвременни тектонски движения върху елементи от пещерната морфология. Такива индикатори могат да бъдат разместени участъци в напречното сечение на галерията вследствие движение по разлом, тектонски огледала, наличие на тектонска брекча, пространствено несъответствие в двойка “сталактит – реципрочен сталагмит” или дислоцирани или инклинирани сталактони (Фиг. 3 и 4). Тези репери за активна тектоника в пещерите са разгледани подробно в работите на Връблянски, Forti & Postpischl, 1984, Gilli, 1995, Jeannin, 1990, Bini *et al.*, 1992, Quinif, 1996, Kostov, 1999 и др. Анализът им включва рутинно измерване с геоложки компас на техните параметри (страна, наклон, амплитуда на преместването, анализ на шрихи на триене).



Фиг. 3: Разместен от активен разлом участък в напречното сечение на пещерата Фрасини, Италия (Bini *et al.*, 1992)

В някои страни (Франция, Белгия, Испания, САЩ, Чехия, Словения, България) има традиции в инсталирането на инклинометрична апаратура в подходящи пещери, където да се извършва мониторинг на движенията. Със световна известност са сеизмотектонската лаборатория в пещерата Рошфор в Ардените, Белгия (Quinif, 1996), както и сеизмографите инсталирани в пещерата Нерха в Испания (Linan *et al.*, 2004).

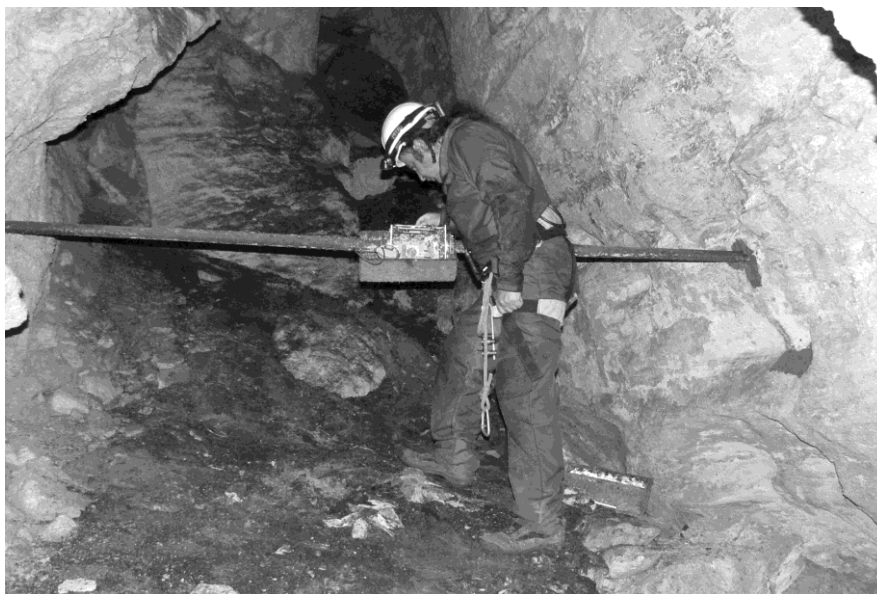
В България за възможностите от стационарни инструментални наблюдения в подземни карстови форми за първи път съобщава Връблянски (1983) и предлага инсталирането на екстензометри в пещерите Леви и Десни сухи печ, с. Долни Лом, Видинско.

Пионерно в нашата страна през 1990 г. в пещерата Смелите очички (Голямата цепнатина) при с. Мадара е инсталиран механичен чешки екстензометър ТМ-71, който заедно с двата прибора в близост до релефа на Мадарския конник и десетина щифтови марки, изгражда мониторинговата система за следене съвременните тектонски и блокови движения в обсега на паметника (Мирчева и др., 2004) (Фиг. 4).

Пещерата е образувана по пукнатина с посока СЗ-ЮИ и е с дължина 70 m. Данните от екстензометъра се отчитат от автора шест пъти годишно. В инсталирането на апарата участва и проф. Кошяк от тогавашната Чехословашка академия на науките – автор на патента на ТМ-71, монтиран на около 180 места в света от Мачу Пикчу в Перу до Шпицберген.

Приборът ТМ-71 работи на принципа на механооптичната интерференция и свързания с нея оптичен Моаре ефект. Регистрира микротектонски движения по пространствени оси X, Y и Z с прецизност до 0,001 mm (Kostak, 1991).

В рамките на трансграничен научен проект MARINEGEOHAZARD през 2013 г. бяха инсталирани 5 екстензометъра в пещерите Музея и Пещерата на носа (н. Калиакра), Домуз маара и скална ниша в местността Болата, с. Българево, Добричка област, както и в скална ниша в местността Яйлата, с. Камен бряг. Отчетите от приборите се следят и интерпретират в двумесечен интервал от Геологическия институт в сътрудничество с Института по океанология на БАН (Димитров, 2015, Dobrev *et al.*, 2015).



Фиг. 4: Авторът взима отчет от екстензометър ТМ-71 в пропастната пещера Голямата цепнатина, с. Мадара, Шуменска област

В периода 2011-2014 г. в пещерите Съева дупка до с. Брестница, Ловешка област, Бачо Киро до Дряново и Зандана (Бисерна) в природен парк „Шуменско плато“ са монтирани ТМ-71 от специалисти от Института по скална механика в Прага в сътрудничество с изследователи на карста от Департамента по география на НИГГГ – БАН. Данните от мониторинга на тектонските движения в тези български пещери се интерпретират в Чехия и са извън авторската компетентност (Briestensky et al., 2015).

Метод за определяне естествената честота и хоризонталното ускоряване на вторични пещерни образувания

Методът е разработен в последните 15 години от учени от Швейцария и Унгария (Lacave et al., 2003, 2004, Szeidovitz et al., 2005). В нашата страна се приложи за първи път през 2006 и 2007 г. (Paskaleva et al., 2006, 2008, Szeidovitz et al., 2008, Gribovszki et al., 2009). Изследвани бяха пропастните пещери Елата и Въртешката в Западна Стара планина, както и пещери в Родопите – Снежанка и Еминова дупка (Фиг. 5).

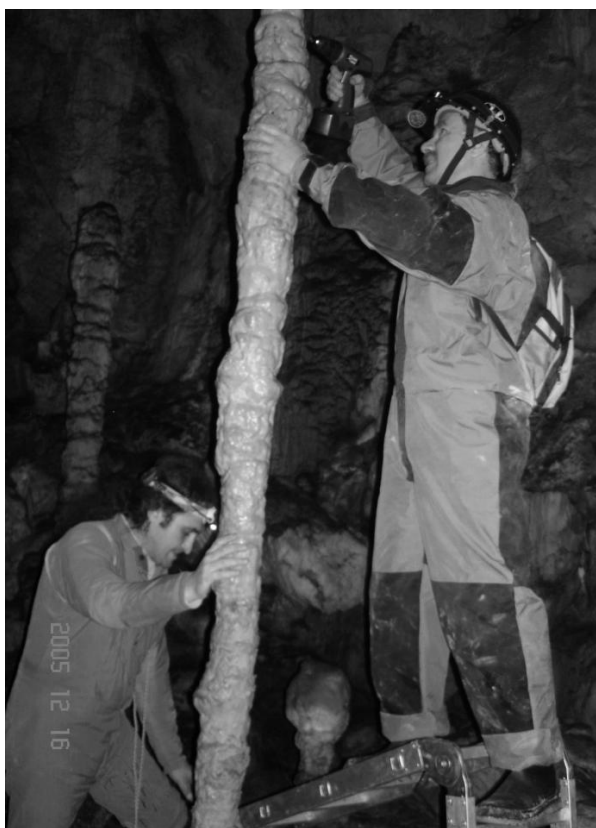
За разлика от статистическия анализ на деформации в пещерите, тази методика се основава на изследване на неразрушени вторични образувания – обикновено високи и тънки цилиндрични сталагмити (тополки). Целта е да бъде установен магнитудът на сеизмично събитие, способно да разруши образуването. В съчетание с абсолютни датировки на върха и основата на сталагмита, може да се докаже период на тектонски покой за дадената област.

Методът се базира на *in situ* експеримент със симулация на сеизмичен ефект и регистрирането му от геофони, прикрепени за вторичните пещерни образувания (високи и тънки цилиндрични сталагмити). При изследванията в България бе използван акселерограф SMACH SM-2 (Швейцария) с висока разрешаваща способност. Апаратът се състои от лазерен генератор, свързан с усилвател и демодулатор, следвани от филтърна кутия. Целият набор от инструменти е свързан с осцилоскоп, който се използва при придобиването, обработката и съхраняването на данните в преносим компютър. Три хоризонтални сензора (геофони) се прикрепят с лепяща лента за образуването. След това образуването се почуква леко с гумена пръчка или ръка. Скоростта на края на образуването се записва като функция на времето. От 12 записа се изчислява усреднен спектър на Фурие. Тези спектри показват основната (естествена) резонансна честота на изучавания сталагмит.

Заглушаването (затихването) при всяко изследвано образуване се изчислява от осцилацията във времето, както следва:

$$D = \frac{1}{2N} \frac{A(i)}{A(i+j)} \quad (1)$$

където i и j са времеви индекси, на които съответстват стойностите на амплитудата $A(i)$ и $A(i+j)$, като N е броят на разглежданите периоди. D е вискозното затихване, което ще се изрази като процент от критичното затихване, както обикновено се прави в инженерната сеизмология. Критичното затихване ($D=100\%$) съответства на границите на осцилаторното поведение. Отвъд тази граница ($D>100\%$) осцилациите са невъзможни. Стойността, която обикновено се използва да изразят стандартизираните спектри на отзвуча, е 5%.



Фиг. 5: Константин Костов и Габриел Николов от Геологическия институт при БАН взимат проба за датирание от върха на 365 см висок сталагмит в пропастта Въртешката, Врачанска планина

От определената резонансна честота на сталактита или сталагмита, по емпиричен път може да се изведе ускорението необходимо за разрушаването му (Lasave et al., 2004), а оттук и магнитуда на сеизмичното събитие, което може да разруши сталагмита. Взимането на проби за абсолютно U/Th датирание от изследваното образувание, позволява да се определи времеви интервал с относително спокоен тектонски режим.

Методи на абсолютната геохронология

Известни са над 22 метода или групи от методи за датирание на кватернерни наслаги и релефни форми (Sowers & Noller, 1997). Класификационна схема на методите за датировка на плейстоцена и холоцена е предложена от Colman et al. (1987). В тази класификационна схема се диференцират 6 групи от методи: календарни, изотопни, радиогенни, биологични, геоморфоложки и корелационни.

В тектонските изследвания на карстови седименти най-голямо приложение имат изотопните методи на урановите серии. Извършените абсолютни U/Th датировки на вторични пещерни образувания в нашата страна са епизодични. Датирани са сталагмити и сталактити от пещерите Духлата, Орлова чука, Елата, Въртешката, Ягодинската пещера, Ямата и някои пещери в Северозападна България (Костов, 2008, Shopov et al., 1997, Shanov & Kostov, 2015). Неналичието на апаратура за извършването им в нашата страна налага търсенето на сътрудничество със специализирани лаборатории в чужбина.

Заклучение

Предложената от български учени комплексна методика за тектонски изследвания в карста включва методи от различни научни дисциплини. В края на 2014 г. едно от най-авторитетните научни издателства Шпрингер я публикува като монография (Shanov & Kostov, 2015). Методологията е приложена от авторите в редица карстови райони на България (прецизно изследвани над 20 пещери), Албания, Крим, Франция и Куба, като резултатите са докладвани на множество международни научни форуми (Костов, 1999, 2010, Kostov, 2001, 2002, 2004, 2005, Kostov & Shanov, 2006, Kostov et al., 2000, 2009, Shanov et al., 1998, 2000).

С 22,7% от територията си, покрита с окарствяващи се скали (Попов, 1982), България е една от държавите със широко разпространение на карстови явления. Тяхното изучаване с използване на съвременни методи е предизвикателство пред всички нас - българските изследователи, занимаващи се с карстова геоморфология.

Литература

- Балтаков, Г. (1988) Кватернерна геоморфология и палеогеография. С., Изд. на СУ, 276 с.
- Балтаков, Г., Р. Кендерова (2003) Кватернерна палеогеография. Изд. Малео-63, Варна, 324 с.
- Буреш, И (1930) Пещерите в България. Техните красоти и нуждата от запазването им. София, Придворна печатница, 44 с.
- Връблянски, Б. (1983) Неотектонска характеристика на Белоградчишко за поставяне в подходящи сухи пещери на инклинометрични прецизни прибори за установяване на съвременните вертикални и хоризонтални движения на земната кора. Доклад, Фонд ГУГК.
- Димитров, О., Н. Добрев, С. Шанов (2015) Регионална система за ранно предупреждение за опасности от природни бедствия по българо-румънската крайбрежна зона. Нац. Конф. с международно участие „Геонауки 2015“, БГД, С., 127-128.
- Дублянский, В (1995) Признаки сильных землетрясений в карстовых областях (на примере Горного Крыма). Геоморфология, 1, 38-46.
- Дублянский, В., И. Молодых (1972) Сейсмичность Крыма по данным карстолого-археологических исследований. Пробл. гидрогеологии и инж. грунтоведения. Киев, Наукова думка, 43-51.
- Дублянский, В., В. Клименко, Б. Вахрушев, В. Илюхин (1985) Карст и подземные воды горных массивов Западного Кавказа. Москва, Наука, 150 с.
- Костов, К. (1999) Неотектонски и палеосейсмологични изследвания на карста в България. Нац. Конф. по проблеми на карста и спелеологията, София, 25-28 март, 1999, 50-55.
- Костов, К. (2008) Палеосейсмични индикации в карстови терени. Геологически институт-БАН, Автореферат на дисертация за получаване на научната и образователна степен „доктор“, 40 с.
- Костов, К. (2010) Неспойна земя. *BBC-Knowledge*, 5, 57-61.
- Максимович, Г. (1963) Основы карстологии. Т. 1. Пермь, Пермское книжное издательство, 444 с.
- Мирчева, М., З. Илиев, К. Костов (2004) Пещери в Мадарското плато. С., Печатница “Искър”, 44 с.
- Попов, В. (1982) Пътешествие под земята. С., Наука и изкуство, 152 с.
- Andre-Jehan, R. (2000) Enregistrement par les speleothemes: Le cas des paleoseismes. *Geochronique*, 76, p. 21.
- Bini, A., Y. Quinif, O. Sules, A. Uggeri (1992) Les mouvements tectoniques recents dans les grottes du Monte Campo dei Fiori (Lombardie, Italie). *Karstologia*, 19, 23-30.
- Briestensky, M., M.D. Rowberry, J. Stemberk, P. Stefanov, J. Vozar, S. Sebela, L. Petro, P. Bella, P. Gaal, C. Ormukov (2015) Evidence of a plate-wide tectonic pressure pulse provided by extensometric monitoring in the Balkan Mountains (Bulgaria). *Geologica Carpathica*, Vol. 66, 5, pp. 427-438.
- Cadorin, J.-F., D. Jongmans, A. Plumier, Y. Quinif, T. Camelbeeck (2000) Modelling speleothems rupture. Proc. "Han 2000" workshop, 13-17. 03. 2000, Han-sur-Lesse, Belgium, 27-30.
- Camelbeeck, T. (1998) Speleothems as palaeoseismic indicators: the point of view of a seismologist. *Contr. Int. Symp. Karst & Tectonics*, 9-12. 03. 1998, Han-sur-Lesse, Belgium, 23-24.
- Colman, S., K. Perce, P. Birkeland, 1987. Suggested terminology for Quaternary dating methods. *Quaternary Research*, 28, 314-319.
- Davenport, C. A. (1998) Karst as a record of paleoseismicity. *Contr. Int. Symp. Karst & Tectonics*, 9-12. 03. 1998, Han-sur-Lesse, Belgium, 41-44.
- Delaby, S., 1999. Etude statistique de l'enregistrement paleosismique par les speleothemes. L'exemple de la Grotte de Hotton (Belgique). Proc. "Karst 99" Europ. Conf., 10-15. 09. 1999, Grand Causses - Vercors, France, 73-76.
- Delaby, S. 2000. Palaeoseismic investigations in Belgium caves. Proc. "Han 2000" workshop, 13-17. 03. 2000, Han-sur-Lesse, Belgium, 45-48.
- Dobrev, N., O. Dimitrov, G. Nikolov, K. Kostov.. 2015. The first steps for a joint Romanian–Bulgarian regional earlywarning system for marine geohazards. – In: Abstracts of the VIII Balkan Geophysical Congress, 05–08.10.2015. Hania, Greece (on CD).
- Dubois, P., B. Grellet (1997) Les concrections des grottes enregistrent climats et seismes. *Pour la Science*, 231, Janvier 1997, 28-35.
- Forti, P. (1997) Speleothems and Earthquakes. In: Hill, C, P. Forti (Eds.), *Cave minerals of the world*, Nat. Spel. Soc., 284-285.
- Forti, P. (1998) Seismotectonic and paleoseismic studies from speleothems: the state of the art. *Contr. Int. Symp. Karst & Tectonics*, 9-12. 03. 1998, Han-sur-Lesse, Belgium, 79-81.
- Forti, P., D. Postpischl (1984) Seismotectonics and paleoseismic analyses using karst sediments. *Marine Geology*, 55, 145-161.
- Forti, P., D. Postpischl (1987) Seismotectonics and radiometric dating of karst sediments. In: Proc. Historical Seismicity of centr.-eastern mediterranean region, 27-29. 10. 1987, Rome, 321-332.
- Gilli, E. (1995) Recording of earth movements in karst. 5th Int. Conf. Seizm. Zonation, 17-19. 10. 1995, Nice, Ouest Edit., Nantes, 1305-1314.
- Gilli, E. (1999) Rupture de speleothemes par fluage d'un remplissage endokarstique. L'exemple de la grotte de Ribiere (Bouches-du-Rhone). *C. R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la terre et des planetes*, 329, 807-813.
- Gilli, E. (2005) Review on the use of natural cave speleothems as palaeoseismic or neotectonic indicators. *Compt. Rendus Geoscience* 337, 1208-1215.
- Gilli, E., A. Levret, P. Sollogoub, P. Delange (1998) Recherches sur le seisme du 18 fevrier 1996 dans les grottes de la region de Saint-Paul-de-Fenouillet (Pyrenees-Orientales, France). *Contr. Int. Symp. Karst & Tectonics*, 9-12. 03. 1998, Han-sur-Lesse, Belgium, 99-102.
- Gribovszki K., Paskaleva I., Kostov K., Varga P., Nikolov G., 2009. Estimating an upper limit on prehistoric peak ground acceleration using the parameters of intact speleothems in caves in southwestern Bulgaria. In: *Zaicenco, A. I. Craifaleanu, I. Paskaleva (Eds.) „Harmonization of Seismic Hazard in Vrancea Zone with Special Emphasis on Seismic Risk Reduction”, Springer-Verlag special publication. 287-308.*
- Jeannin, P.-Y., 1990. Neotectonique dans le karst du nord du Lac de Thoune (Suisse). *Eclogae Geol. Helvet.* 82, 2, 323-342.
- Košťák, B (1991) Combined indicator using Moiré technique. – In: Proceedings 3rd Intern. Symp. on Field Measurements in Geomechanics. Sept. 9–11, 1991, Oslo, 1. Rotterdam Balkema, Brookfield, 53–60.
- Kostov, K. 2001. Palaeoseismological studies using speleothems in Bulgarian caves. In: Fifth Int. Conf. on Geomorphology, Tokyo, Japan, Abstracts of Conference papers, *Transactions Japanese Geomorphological Union*, Vol. 22, 4, p. 131.
- Kostov, K., 2002. Speleothems as paleoseismic indicators: examples from Bulgaria. *Environmental Catastrophes and Recoveries in the Holocene Conference*, August 29 - September 2, 2002, Brunel University, London, 43-44.
- Kostov, K., 2004. Palaeoseismological investigations in karstic caves: examples from Bulgaria. Abstracts 32nd International Geological Congress, Florence.
- Kostov, K., 2005. Palaeoseismological traces in caves in Bulgaria. *Acta Carsologica*, 13th Int. Karstological School “Classical Karst”, 27-30. 06. 2005, Postojna, Slovenia, p. 30.
- Kostov, K., S. Shanov, K. Kourtev, G. Nikolov, A. Boykova, A. Benderev, 2000. Broken speleothems as indicators of palaeoseismic activity: An example from Lepenitsa Cave in the Western Rhodope Mts., South Bulgaria, *Abstr. Geological Conference, 11-13 October, 2000, Sofia*, 217-218.
- Kostov, K., S. Shanov, G. Surányi, 2009. Palaeoseismological investigations using speleothems: case study of two caves in Rhodopes Mountains, Southern Bulgaria. *1-st INQUA IGCP 567 International Workshop on Earthquake Archaeology and Palaeoseismology*, 07-13.09.2009, Baelo Claudia, Spain, 76-78.
- Lacave, C., M. G. Koller, M. Eichenberger, P.-Y. Jeannin, 2003. Prevention of speleothem rupture during nearby construction. *Environmental Geology*, 43, 892-900.
- Lacave, C., M. G. Koller, J. J. Ezogue, 2004. What can be concluded about seismic history from broken and unbroken speleothems? *Journal of Earthquake Engineering*, 8, 3, 431-455.
- Linan, C., J.M. Calaforra, J.C. Canaveras, F. Carrasco, A. Fernandez Cortes, M. Jimenez Sanches, W. Martin Rosales, F. Sanches Martos, V. Soler, I. Vadillo (2004) Experiencias de monitorizacion medioambiental en cavidades turisticas. In: Andreo, B. & J.J. Duran (Eds.), *Investigaciones en sistemas karsticos espanoles*, Publ. del Instituto Geologico y Minero de Espana, Ser.: Hidrogeologia y Aguas Subterranas, 12, 385-429.
- Paskaleva, I., G. Szeidovitz, K. Kostov, G. Koleva, G. Nikolov, K. Gribovszki, T. Czifra, 2006. Calculating the peak ground horizontal acceleration generated by paleoearthquakes from failure tensile stress of speleothems. *PROCEEDINGS of the International Conference on Civil Engineering Design and Construction* 14–16 September 2006, Varna, Bulgaria, 281-286.



- Paskaleva I., Gribovszki K., Kostov K., Varga P., Nikolov G, 2008. Peak ground acceleration assessment using the parameters of intact speleothems in caves situated in NW and SW Bulgaria. *PROCEEDINGS of the International Conference on Civil Engineering Design and Construction 12–14 September 2008*, Varna, Bulgaria, 249-264.
- Quinif, Y. (1996) Enregistrement et datation des effets sismo-tectoniques par l'etude des speleothemes. *Ann. Soc. Geol. Belgique*, 119, 1, 1-13.
- Quinif, Y. (1999) Etude d'un sismotheme dans le Reseau Sud de la Grotte de Han-sur-Lesse. *Speleochronos*, 10, 33-46.
- Shanov, S., K. Kourtev, K. Kostov, G. Nikolov, A. Boykova, A. Benderev. (1998) Palaeoseismological traces in the Lepenitsa Cave, Velingrad district, South Bulgaria. *Abstr. Vol. ProGEO*, 07-13. 06. 1998, Belogradchik, 53-54.
- Shanov, S., K. Kourtev, K. Kostov, G. Nikolov, A. Boykova, A. Benderev (2000) First finds of palaeoseismological deformations on speleothems in Bulgaria (Lepenitsa Cave, South Bulgaria). *Abstr. 31st Int. Geological Congress*, Rio de Janeiro, Brazil.
- Shanov, S., K. Kostov (2015) *Dynamic Tectonics and Karst*, Springer-Verlag, 123 p.
- Shopov, Y., L. Tsankov, L. Georgiev, A. Damyanova, Y. Damyanov, D. Ford, C. Yonge, W. McDonald, H. Krouse (1997) Speleothems as natural climatic stations with annual to daily resolution. *Proc. 12th Int. Congress of Speleology, La-Chaux-de-Fonds, Switzerland*, Vol. 1, 105-106.
- Sowers, J., J. Noller, 1997. Quaternary geochronologic methods. In: Sowers, J., J. Noller, W. Lettis (Ed.) *Dating and Earthquakes: Review of Quaternary Geochronology and its application to paleoseismology*. William Lettis & Associates, Inc., Walnut Creek, Canada, 1-9.
- Szeidovitz, G., S. Leel-Óssy, G. Suranyi, T. Czifra, K. Gribovszki, 2005. Calculating the peak ground horizontal acceleration generated by paleoearthquakes from failure tensile stress of speleothems. *Magyar Geofizika*, 46, 3, 91-101.
- Szeidovitz Gy., Paskaleva I., Gribovszki K., Kostov K., Surányi G., Varga P., Nikolov G. 2008. Estimation of an upper limit on prehistoric peak ground acceleration using the parameters of intact speleothems in caves situated at the western part of Balkan Mountain Range, north-west Bulgaria. *Acta Geod. Geoph. Hung.*, 43(2-3): 249-266.
- Vanara, N. (1997) Datation d'un phenomene catastrophique dans la grotte-tunnel d'Alzaleguy (massif des Arbailles, Pyrenees-Atlantiques, France). *Speleochronos*, 8, 13-22.