

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ КОМИССИИ, ОТЧЕТ О ПРОЦЕССЕ МЕЖДУНАРОДНОЙ ПРОГРАММЫ (RLC) ДЛЯ УДАЛЕННОГО ОБНАРУЖЕНИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ ПЕЩЕР

By Yavor Shopov*1, Krisia Petkova1, Ognian Ognianov2
 1 Caving Club "Academik", Ruse, Bulgaria - 2 Acceco, Bulgaria

*Contact: **Yavor Shopov** (Bulgaria)

President of UIS Commission on Physical Chemistry and Hydrogeology of Karst

Президент Комиссии UIS по физической химии и гидрогеологии карста

yshopov@yahoo.com

Цель Международной программы метода удаленного обнаружения пещер (RLC). Комиссия UIS по физической химии и гидрогеологии карста использует тепловизор и ультрафиолетовые (УФ) методы визуализации для удаленных местонахождений неизвестных пещер. Эта программа очень многообещающая, потому что она может создать много лучшей связи между научной и спелеологической деятельностью UIS. Она направлена на обнаружение новых неизвестных пещеры и чрезвычайно полезна для расширения исследования пещер в новых регионах. Это способ, которым наука, может, помогает развитию исследования пещеры. Так и будет быть очень полезной, чтобы найти новые пещеры в труднодоступных регионах и даже на других планетах (Шопов, 2017, 2019б).

Работа программы RLC требует очень специфических, редкое и дорогое оборудование, которого не было доступно в UIS, любой из его членов или любой из участника программы. Так что усилиями комиссии были сосредоточены на получении финансирования для покупки и постройки соответствующего оборудования для работы RLC программы. После четырех попыток получить финансирование от различных национальных и международных программ для покупки правильной тепловизионной камеры, мы наконец получили финансирование от Болгарского национального гранта. Так недавно мы смогли приобрести необходимые тепловизионные камеры и беспилотную воздушную систему (БПЛА) для запуска программы RLC.

Программа исполнялась на нескольких пещерах, регионы Болгарии и Украины. Первые результаты программы были представлены на форуме EuroSpeleo (Shopov, 2019a,b; Shopov & Ognianov, 2019; Shopov et al., 2019b). Итак, наконец, мы можем начать международное использование программы и готовимся работать в других странах.

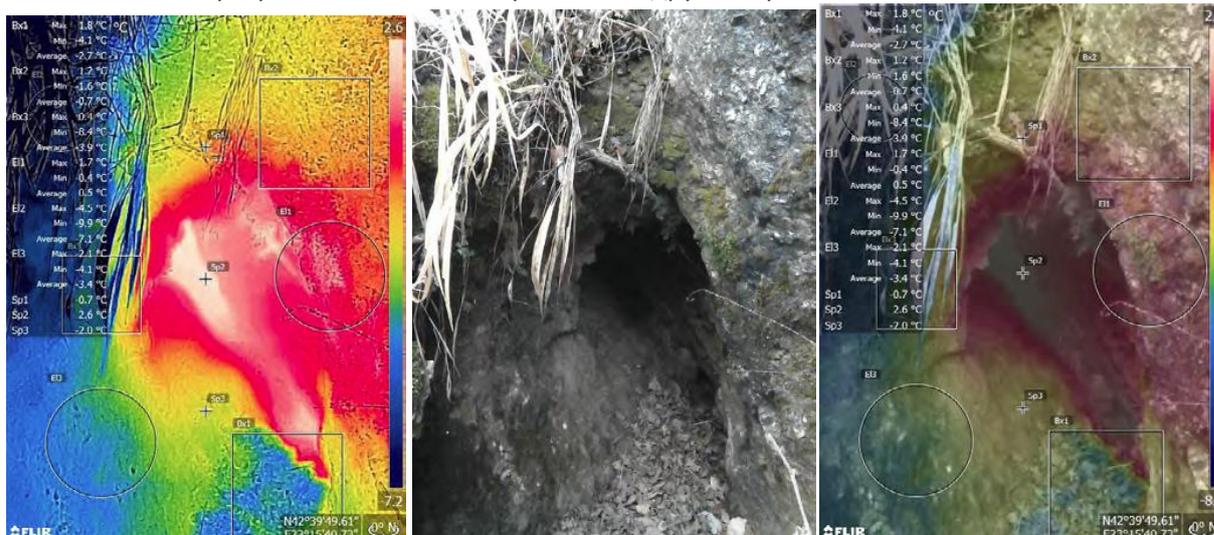


Рисунок 1. - Вход в неизвестную пещеру, локализованный с помощью тепловизионной инфракрасной камеры (Шопов и др., 2019а).

Рисунок 1. (слева) - тепловые инфракрасные и видимые изображения входа в неизвестную пещеру в районе Боснекского карста, Болгария, интегрированные на месте с помощью радиометрической тепловизионной камеры. В левом верхнем углу указаны значения температуры в соответствующих местах (Sp 1-3) местности, отмеченные крестами, а соответствующие области отмечены кружками (Bx 1-3) и квадратами (E1 1-3);

Рисунок 1. (посередине) - Видимое изображение того же входа в пещеру, сделанное одновременно с тепловым изображением на Рис.1. (оставил).

Рисунок 1. (справа) - перекрытие изображений с рисунка 1 (слева) и рисунка 1 (в центре) при последующей программной обработке полученной пары изображений.

18-й Международный конгресс спелеологов в Франции проведет специальную сессию по «Геофизическим методам и местонахождению неизвестных пещер» (в том числе Remote Расположение пещер) в рамках Симпозиума 9 «Топография, Картография, 3D, документация». Это будет лучшее место для ознакомления с результатами и потенциалом этой программы, и наладить сотрудничество для расширения полевых работ в других странах.

Недавно, 10 и 11 апреля 2021 г., мы провели самую успешную экспедицию по удаленному обнаружению неизвестных пещер. Мы сделали 3436 снимков с семь полетов над четырьмя разными полигонами, расположенными в Национальном историко-археологическом музее «Сборяново», заповедник - территория Всемирного наследия Свештари гробница, Болгария (Шопов и др., 2021). Мы захватили одновременно ту же часть местности в видимом и тепловой инфракрасной области спектра от UAS. Этот БПЛА объединяет выровненные видимые и тепловые камеры, записывающие одну и ту же площадь поверхности. Половина полученных изображений находится в видимом диапазоне, а половина – в тепловом инфракрасная (TIR) область спектра. Это позволяет наложение видимые и TIR-изображения (рис.1), позволяя получать интегрированные изображения с высоким разрешением изображений с камеры видимого диапазона (рис.1. посередине), содержащий важные данные из гораздо более низких тепловизионных камер разрешения (рис.1. слева, рис.4).



Рис. 2. - Пещеры и входы в неизвестные пещеры, локализованные с помощью тепловизионной инфракрасной камеры.

Рис. 2.а. (слева) - Входы в известные пещеры в многоугольнике 1, расположенные на карте Google с марта 2019 года с использованием GPS-координаты входов в пещеру заняты Алексеем Жаловым. Погрешность измерения этих GPS-координат превышает 20 м. Фактически все эти входы в пещеры находятся под откосом и на снимке смещены более чем на 20 м влево;

Рис. 2.б. (справа) - Небольшая часть входов в подземные полости и глубоководные оползни, обнаруженная тепловизионной камерой из UAS 10 апреля 2021 г.

Такие интегрированные изображения (Рис.1. Справа) чрезвычайно полезны и важны для обнаружения и определения местонахождения новых неизвестных пещер, если температура окружающей среды значительно отличается от температуры пещерного воздуха выходя из входов в пещеру. Для целей этой программы, мы использовали:

- Отображение местности с БПЛА с визуальном ленты для 3D реконструкции

Небольшой размер пикселя (2,91 сантиметра) дал нам очень детальные реконструкции. С такой моделью мы можем найти даже самые маленькие положительные и отрицательные формы рельефа (входы пещер). Детальные визуальные ортофотопланы, (как на рис. 2.b), полученные из этого сопоставления, представляют собой ценную информацию источник для проверки подозрительных тепловизионных изображений на подробных визуальных образах потенциальных входов в пещеру. Рис. 2.a и 2.b представляют почти одну и ту же местность. В диапазоне инструментальной погрешности GPS устройство использовалось, входы в шесть пещер (1036, 1020, 1035, 441, «нова вляво» и 442) совпадают с соответствующими удаленно расположенными входами 11.8, 10, 11.4, 11.2, 11 и 11.1.

Для максимальной точности цифровых моделей мы сделали серию изображений надира с высокой степенью перекрытия по горизонтали (80%) и по вертикали (70%) направления, охватывающие всю исследуемую территорию. Приобретенные изображения служат входными данными для программного обеспечения «компьютерного зрения» и генерируют облако точек с координатами x, y, z для генерации цифровой модели поверхности (DSM), цифровой ортофотоплан и трехмерные модели поверхности (рис. 3).

- Тепловидение с БПЛА

Аэрофотоснимки (как на рис. 4, 5) основной источник информации для удаленного местоположения пещер (Baroň et al.2013; Shopov 2013; Shopov & Ognianov, 2019; Шопов и др., 2019a, б). Главное преимущество от использования БПЛА - возможность перейти на строгую запрограммированную траекторию и делать снимки с равными интервалы и запрограммированной ориентацией камеры. Эти параметры - самые важные требования для обработки с программным обеспечением для фотограмметрии.

Используемое разрешение земли позволяет нам различать предметы размером всего несколько десятков сантиметров с высоты 95 м. Разница температур цели из окружающего ландшафта визуализируется на полученных тепловых изображениях (рис.4). Кроме того, БПЛА с тепловизором оснащен GPS, поэтому каждое изображение хранит координаты в файле.

Местоположение пещеры было выполнено путем ручного обнаружения и сравнение горячих точек на тепловизионных изображениях с соответствующие наземные фьючерсы на видимом ортофото изображения той же части земли.

У нашего БПЛА две коаксиальные камеры с одинаковым полем зрения. Один из них тепловой, а другой встроенная камера видимого диапазона Hasselblad с высоким разрешением. Это обеспечивает одновременный захват эквивалентных тепловых и видимых изображений. Однако при тепловизионном обследовании местности (6: 01-6: 11 утра) было слишком темно, чтобы можно было видеть резкие фотографии. Вместо этого мы сделали второю съемку той же местности с той же высоты. В тот же день для получения хороших видимых изображений для подготовки цифровых ортофотопланов DSM и 3-D поверхностных моделей (рис.3).

К счастью, во время обоих рейсов полет был отличный. Условия, которые позволили нам производить прекрасные наборы термические и видимые ортофотопланы, подобные изображенным на рис. 2.b, и рис. 4.



Рис. 3. - 3D визуальная модель региона.

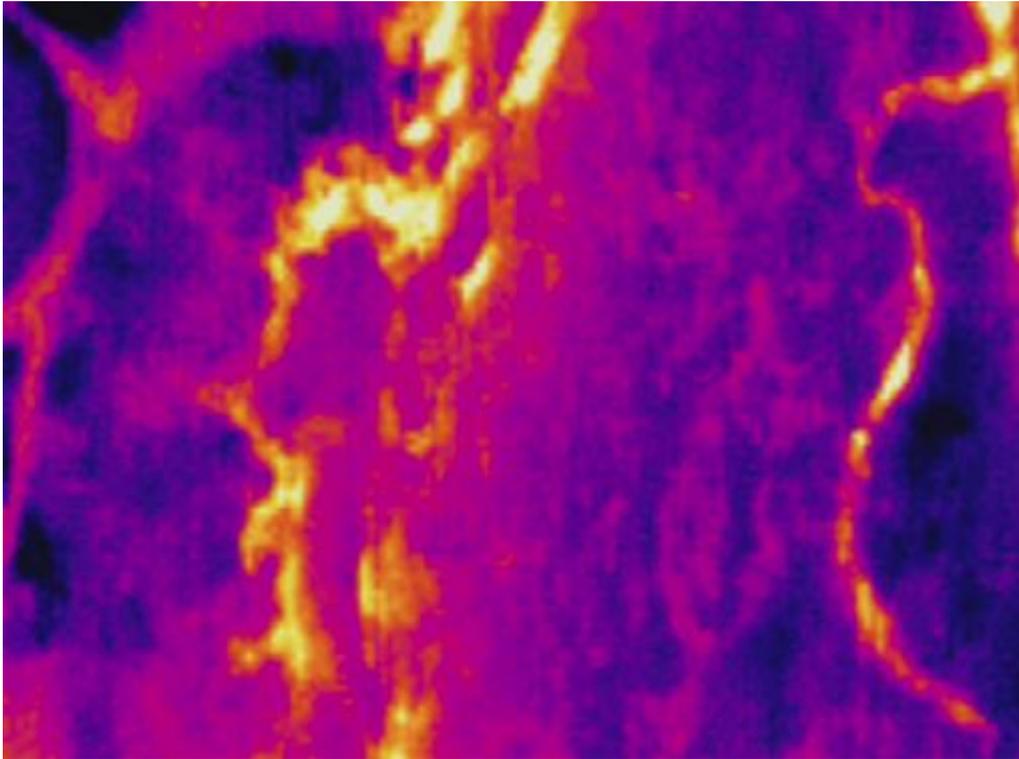


Рис. 4. - Тепловое изображение входов в пещеру (оранжевый и желтый) снято с БПЛА, летящего на высоте 95 метров над землей. Искусственный шкала цветовой температуры аналогична этой на рис.1.

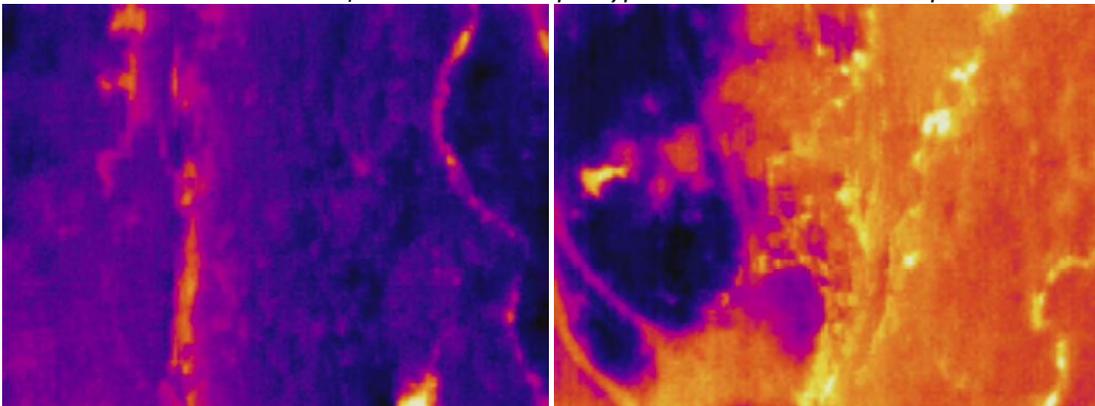


Рис. 5 - Тепловизионные изображения оползней и входов в пещеры, выровненных по оползням.

Рис. 5.а (слева) - тепловизионное изображение оползней (оранжевый). Искусственная шкала цветовой температуры аналогична рис.1.

Рис. 5.б (справа) - тепловизионное изображение входов в пещеру, выровненных вдоль обвалов (желтый цвет), полученное с БПЛА, летящего на высоте 95 метров над землей.

От 13 входов удаленно расположенных с тепловизионной камеры на ортофото на рис.2.б всего шесть соответствуют известным пещерам (рис. 2.а). Всего восемь пещер известны пока в изученном многоугольнике 1 «Demir baba teke» территория. Наше тепловизионное обследование обнаружило 57 входов подземных полостей и глубинных обвалов (рис. 2.а, б) в той же местности.

Мы ожидаем, что некоторые из них являются входами в глубокие оползни из-за удлиненной формы и очень узкие (рис.5) в отличие от формы входов в пещеры, которые всегда более или менее круглые и не простираются на значительную длину на земле. Действительно, несколько крупных трещин имеют отверстия на основании исследуемой местности. Полученные результаты требуют дополнительных обширных наземных съемок с целью определения тепловых аномалий на землю и проверить их характер: это пещеры входы или просто выходы воздуха из больших, закрытых подземных полостей?

В обоих случаях необходимо точно измерить их GPS-координаты на земле для их точного определения на топографических картах.

Международная программа по методам Удаленное расположение пещер (RLC) состоит из следующих этапов:

- 1. Оптимизировать технику на поверхности и откалибровать их с нанесенными на карту пещерами.**
- 2. Использовать методы для поиска новых неизвестных пещер. (рисунок 1).**
- 3. Установить приборы наблюдения на самолеты и вертолеты, или БПЛА для обнаружения неизвестных пещер с неба (рис. 2, 4).**
- 4. Установить на микроспутники наблюдательные приборы.**
- 5. Предложить НАСА использовать эту технику для определения местоположения пещер на Марсе.**

Пещеры на Марсе имеют жизненно важное значение для будущего исследования Марса (Бостон, 2010). Их можно использовать как убежища космонавтов от смертельной радиации космических лучей на первых этапах исследования планет (Шопов, 2013, 2017, 2019б).

Программа RLC уже достигла этапов 1-3 (Шопов и др., 2019а, б, 2021) и готов к запуску 4 и 5 этапы в зависимости от наличия финансовых ресурсов.

Достигнута интеграция наблюдательного центра МДП. оборудование на БПЛА позволяет расширить программу RLC для многих стран и географических регионов. Для этого отправьте эту информацию своим коллегам или друзьям из спелеологического сообщества кто может быть заинтересован в таком сотрудничестве.

Всем, кто заинтересован в сотрудничестве в этом крупномасштабном международном проекте, должны написать yyshopov@yahoo.com, чтобы стать членом исследовательской группы и получить подробную информацию о плане исследования программа RLC.

Дополнительным прогрессом программы является развитие архитектурного проекта поселков в пещерах на Марсе. Благодаря быстрому развитию проектов для пилотируемых космических полетов на Марс после начала программы RLC, возникла острая потребность в разработке проектов по созданию поселения для космонавтов в пещерах на Марсе (Шопов, 2017). Этот интенсивный спрос требовал нам начать работу над дополнительными этапами программы RLC:

6. Разработка архитектурного проекта для поселений в пещерах на Марсе.

Благодаря важности, независимости и актуальности этой затянувшейся задачи началась одновременно с развитием более ранних стадий 2 и 3 программа. Для этого в программе RLC сформирована рабочая группа под председательством архитектора Калина Калчева, Болгария.

Идея состоит в том, чтобы использовать несколько марсианских пещер для размещения больших надувных снарядов, наполненные искусственным воздухом для начальной среды обитания человека. Это лучший способ максимального быстрого хостинга первых людей, прибывших на другие планеты. Последний, можно было бы построить конструкции из сплавов, а там в пещерах надувают надувной снаряд.

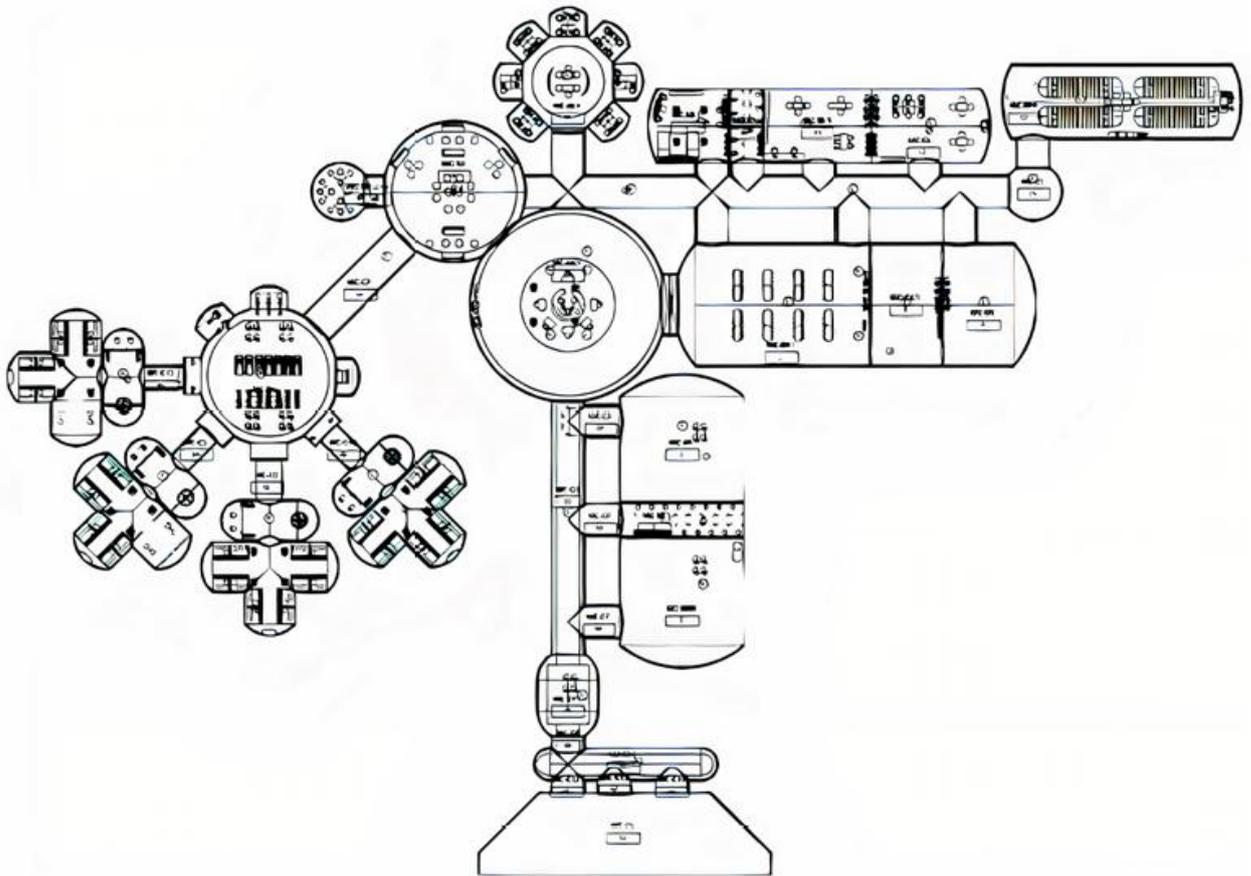


Рис. 6. - Проект пещерного поселения на Марсе модульного типа.
Структура сплавов в надувной оболочке. Проект *Kalina Kalcheva*.

Ожидается, что предполагаемое поселение на Марсе будет модульная структура сплавов в надувной оболочке (рис. 6).

Весь объект будет построен в пещерах на Марсе, и будет окружен искусственной экосистемой. Модульная структура предназначена для адаптации к растущей потребности такого поселения. С этим проектом Калина подала заявку на участие в Международной конкурс космических поселений 2020 НАСА и Национальное космическое общество, и была выбрана полуфиналистом среди сотен проектов со всего мира. Так, таким образом, программа RLC UIS заняла хорошую позицию даже в сообществе исследователей космоса.

Выводы

Здесь мы впервые продемонстрировали, что аэрофотосъемка для определения удаленного расположения пещер с помощью коаксиальной пары тепловизионных и видимых камер, установленных на БПЛА может обнаруживать гораздо большее количество входов подземные полости, чем подробный систематический грунт обследование опытными спелеологами.

Изучен полигон 1 «Demir baba teke» по долине реки Krapinets, была предметом подробных систематических наземных исследований Болгарского Спелеологического Общества в течение нескольких лет, хотя эта аэрофотосъемка обнаружила в несколько раз большее количество входов в пещеру в течение нескольких часов.

Это демонстрирует, что использование UAS, интегрированного с TIR и видимыми камерами чрезвычайно эффективны, и открывает большие возможности для повышения уровня и сложности методов определения местоположения неизвестных пещер на уровень выше, чем когда-либо предполагалось.

Полученные результаты - значительный шаг вперед в ультрасовременном месте неизвестных пещер.

Благодарности

Это исследование финансировалось National Science. Фонд Министерства образования и науки Болгарии с исследовательским грантом DN14 / 4 от 2017 Явор Шопов.

Благодарим Алексея Жалова за предоставление GPS-координат, входов в пещеры и полезные обсуждения и Калине Калчевой за набросок своего проекта, для пещерного поселения на Марсе.

Рекомендации.

- Baroň, I., Bečkovský D., Míča L. (2013) – Infrared Thermographic Survey of Pseudokarst Sites in the Fysch Belt of outer West Carpathians (Czech Republic) - *Proc. of 16th ICS, v.3. Czech Republic, Brno, ed, by Michal Filippi, Pavel Bosak, pp. 227-230.*
- Boston, P. J. – Location, location, location! Lava Caves on Mars for Habitat, Resources, and the Search for Life - *Journal of Cosmology, 2010, 12: 3957-3979.*
- Shopov Y.Y. (2013) – Activity Report of Commission on Physical Chemistry and Hydrogeology of Karst of International Union of Speleology (UIS) - *UIS Bulletin, Vol.56 (1), pp.18-19.*
- Shopov Y. (2017) – Using Thermal Vision Cameras for Remote Location of Caves on Mars for Immediate Shelters for Astronauts and Storage Chambers - *Journal of Aeronautics & Aerospace Engineering, May 2017, Volume 6, Issue 2, 64* <http://dx.doi.org/10.4172/2168-9792-C1-016>.
- Shopov Y. (2019a) – The International Program on “Techniques for Remote Location of Caves” (RLC) of the International Union of Speleology (UIS) and Bulgarian Project Related to It - *Abstracts of the 13th EuroSpeleo Forum 26-29 September 2019, Dolni Lozen, Sofia, Bulgaria. p.79.*
- Shopov Y. (2019b) – Remote Location of Caves on Mars and the Moon – First Step to the Settlement on Other Planets - *Abstracts of the 13th EuroSpeleo Forum 26-29 September 2019, Dolni Lozen, Sofia, Bulgaria. p.81.*
- Yavor Shopov, Ognian Ognianov (2019) – Remote Location of Caves by Thermal Cameras - *Abstracts of the 13th EuroSpeleo Forum 26-29 September 2019, Dolni Lozen, Sofia, Bulgaria. p.80.*
- Y. Shopov, O. Ognianov, A. Filipov and I. R Ivanov. (2019 a) – Development of Technology for Remote Location of Unknown Underground Cavities and Deep-Seated Rockslides by Unmanned Air Systems (UAS) - *Journal of Physics: Conference Series 1368 (2019) 032032, doi:10.1088/1742-6596/1368/3/032032.*
- Yavor Shopov, Ognian Ognianov, Ivan Ivanov (2019b) – Development of Technology for Remote Location of Unknown Underground Cavities and Deep-seated Rockslides by Unmanned Air Systems (UAS) - *Abstracts of the 13th EuroSpeleo Forum 26-29 September 2019, Dolni Lozen, Sofia, Bulgaria. p.83.*
- Yavor Shopov, Krisia Petkova, Ognian Ognianov, Diana Gergova (2021) – Remote Location of Unknown Caves and Deep-Seated Rockslides in Sveshtari World Heritage Site by Unmanned Air Systems (UAS) - *Extended Abstracts of 28th SEAC Conference Cultural Astronomy & Ancient Skywatching, Stara Zagora, Bulgaria, September 6th-10th, 2021.*