

СЪЗДАВАНЕ НА НОВ АЕРОКОСМИЧЕСКИ ПОЛИГОН В БЪЛГАРИЯ ЗА МОНИТОРИНГ И ОЦЕНКА НА ТЕХНОГЕННОТО ВЪЗДЕЙСТВИЕ ВЪРХУ ОКОЛНАТА СРЕДА – ПАНАГЮРСКИ РУДЕН РАЙОН

Христо Николов¹, Мила Атанасова², Деница Борисова¹

¹Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
²Национален Институт по Геофизика, Геодезия и География – Българска академия на науките
e-mail: hristo@stil.bas.bg

Ключови думи: аерокосмически полигон, сателитни и БЛС данни, антропогенно въздействие

Резюме: В този доклад са обобщени извършените дейности за създаване на нов тестов аерокосмически полигон в България насочен към проследяване динамиката на промените в ландшафта на Панагюрския руден район, като се използват най-новите постижения на технологиите за дистанционни и полеви изследвания. По принцип полигонали и тестовите участъци в тях са относително големи площи от земната повърхност съставени от обекти, които лесно се идентифицират в изображенията получавани от сателитни и/или самолетни апаратурни комплекси. В разглеждания район е очевидно техногенното въздействие причинено от предходни (обхващащи последните 40 години) и съвременни минни дейности в няколко открити рудници разположени в него. В това изследване са представени резултатите, получени от авторите при изучаване на промяната в земеползването на районите, където все още функционират минно-добивни комплекси, състоящи се от открит рудник и флотационна фабрика. Друга важна тема, която беше изследвана, са дейностите по възстановяване на качествата на почвата в зоните изложени на висок риск от замърсяване и трансформацията на бивши насипища и хвостохранилища в няколко вече затворени минни обекта в същия регион. Друг резултат от проведеното изследване е редовното наблюдение на текущите минни дейности в изследваната зона, които се считат за основен фактор за местното (река Тополница), както и за трансгранично замърсяване на посредством река Марица. От изследванията, проведени до този момент, беше създадена обширна геобазаданни, която се състои от растерни и векторни слоеве, които са готови да бъдат използвани от местните власти за по-добро регионално планиране.

INITIATING A NEW AEROSPACE TEST SITE IN BULGARIA FOR MONITORING AND ASSESSMENT THE TECHNOGENIC IMPACT ON THE ENVIRONMENT – THE PANAGYURISHTA ORE REGION

Hristo Nikolov¹, Mila Atanasova², Denitsa Borisova¹

¹Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
²National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: spsbyte@space.bas.bg; lusy_t@yahoo.com

Keywords: aerospace test site, satellite and UAS data, anthropogenic impact

Abstract: In this paper summarized is the effort made to establish a new test site in Bulgaria to track the ongoing processes in landscape changes using the latest achievements of the satellite and UAS remote sensing and in-situ technologies. Principally the test sites are relatively large areas of the Earth's surface comprised of objects that are easily identified in the images acquired by satellite and/or UAV based instruments. The uniqueness of the area in focus is the obvious technogenic impact caused by the past (covering the last 40 years) and modern mining activities in several open pit mines located in it. In this study presented are the results obtained by the authors in studying the land use change in the areas where mining complexes consisting of open pit mine and a processing plant are still in operation.

Въведение

Минните предприятия, поради естеството тяхната дейност, са един от факторите, които оказват значително отрицателно въздействие върху района, където извършват своята дейност. В случая на Панагюрския руден район, който е разположен на южните склонове на Централна Стара планина (вж. Фиг. 1) замърсяването на околната среда се дължи на два основни източника – атмосферно замърсяване от провежданите минни дейности (взривни работи, трошачни цехове, отвали, табани и др.) и от отпадъчни води от флотационните инсталации депонирани в хвостохранилища. Тези два фактора мотивираха авторите за провеждане на настоящото изследване – за определяне на тяхното въздействие върху почвите [1, 2], растителността, както и върху подземните и повърхностните водни тела [3] в райони, разположени в съседство с минните предприятия, като се използва информация от различни източници (сателити, БЛС, in-situ и архивни данни), като по този начин се създава добре документиран аерокосмически полигон, в който е характерен с добре изразено техногенно въздействие върху околната среда.

Получените до момента резултати, както и такива, които ще се получават в следващите години, се предвижда да подпомогнат действията на широк кръг заинтересовани лица, като например учени и местна администрация, при минимизиране въздействието върху околната среда и населението, дължащо се на работещите и нефункциониращи минни изработки в споменатия район. В повечето случаи споменатите минни изработки се експлоатират по открит способ и тяхното въздействие върху ландшафта, върху видовото разнообразие на растителността и дивите животни и най-вече върху хората е неоспоримо и е основно негативно. От друга страна създаването и поддържането на актуална информация, произхождаща от различни източници, за протичането на споменатите процеси в района несъмнено ще подпомогне извършването на оценки за текущото му състояние и при изготвяне на планове за неговото развитие. Една задача пред това изследване е да се покажат добрите практики при използване на данни от дистанционни изследвания за документиране, наблюдение и оценка на въздействието както на текущите, така и на прекратените минни дейности върху околната среда. Друга важна задача от появата на този нов полигон е да покаже потенциала при интегрирано използване на свободностъпни данни и софтуер с отворен код за да отговори на нуждите на публичните власти и широката общественост.

Предпоставка за успешната реализация на поставената цел са многогодишния опит и натрупаното експертно знание на учените от направление „Дистанционни изследвания на земята и планетите“ на ИКИТ-БАН в тематичната обработка на данни постъпващи от различни източници (напр. сателити, БЛС, in-situ) и тяхното съвместно използване за създаване на качествено нови информационни продукти, които са използвани за решаване на научни и научно-приложни задачи [4]. Необходимостта от създаването на споменатия нов аерокосмически полигон за регистриране на промените по земната повърхност вследствие на техногенното въздействие в Панагюрския руден район и неговото постоянно актуализиране произтича от факта, че до момента липсват добре проучени и документиращи тестови райони за такъв тип въздействие за територията на страната, прилагайки интегрирано използване на данни от различни източници насочено към получаване на качествено нов тип информация. Следва да се обърне внимание и на факта, че този подход позволява в процеса на нейното създаване да бъдат приложени и съвременни методи за обработка на данните като например такива, прилагащи методи на машинно обучение. Друг нов аспект при формирането на геобаза данни за района е съвместимостта им с т.нар. Data Cubes [5], които позволяват съхранение, анализ и визуализация на големи обеми от данни (BigData concept).

Район на изследване

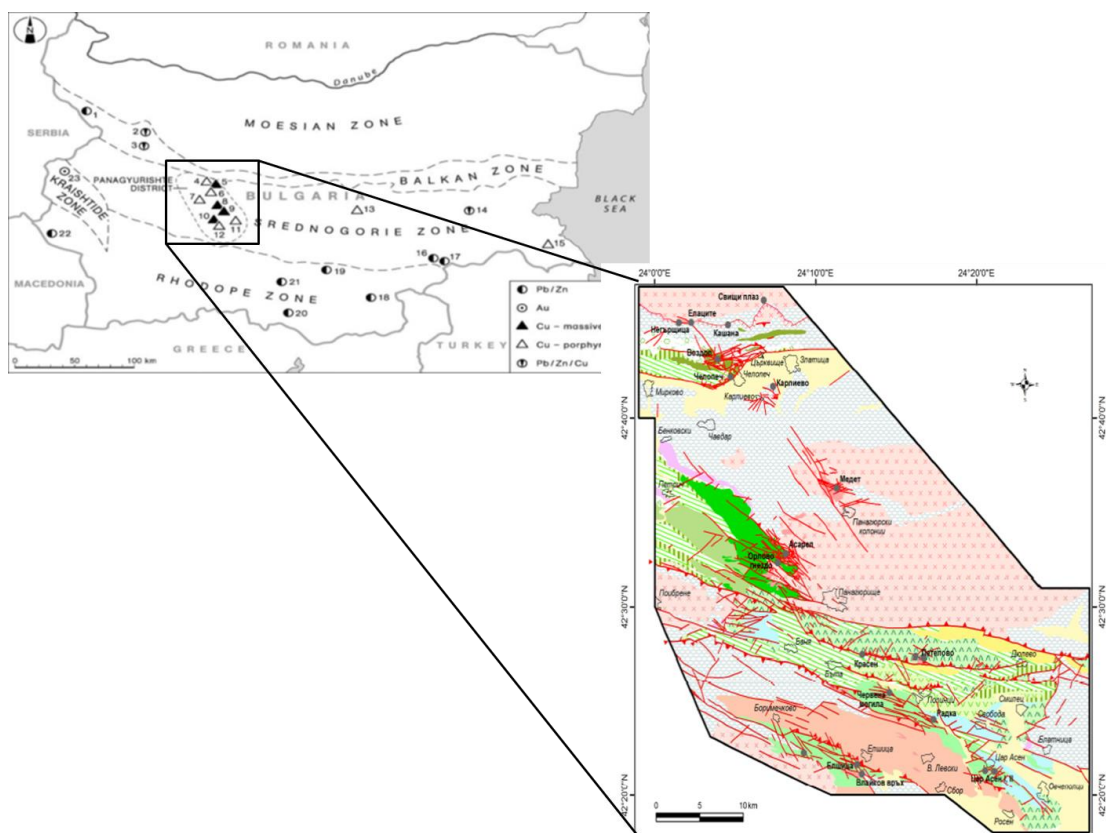
Геоложките проучвания в Панагюрския руден район, който е част от основния за Източна Европа металогенен пояс Апусени-Банат-Тимок-Средногорие започват в края на 50-те години на 20-ти век (вж. Фиг. 1 черния правоъгълник). В споменатия район са установени и документиращи повече от 150 рудни находища, рудни и минерални проявления и вследствие на това в този регион се поставя началото на експлоатацията на открити рудници за добив на медна руда. Основните геоложки особености, контролиращи пространствено-времето развитие на металогенните процеси в рудния регион на Панагюрище, се определят от особеностите и еволюцията на горнокредните магматични комплекси [7].

В тази статия авторите представят изследванията си върху два от най-важните открити рудници в производството на мед за 20-годишен период за нашата страна – „Асарел-Медет“ и „Елаците“. И при двата миннодобивни комплекса се състои от открит рудник, насипища и табани и флотационна фабрика.

След прекратяване на експлоатацията на находище „Медет“, което е част от най-ранно въведенният в експлоатация през 1964 г. минно-обогатителен комбинат в района, през 1994 г. беше създадена и стартирана програма за възстановяване на почвеното покритие и хидрографската мрежа (вж. Фиг. 2 за развитие на рудника през десетилетията). От последната ѝ част може да се види, че след затварянето си той има безспорно влияние върху замърсяването на водите в региона, тъй като липсваха специално предназначени дренажни съоръжения и в продължение на годините се запълваше до различни нива в зависимост от валежите. Така формирания воден басейн може да се счита за един от замърсителите на реките в района и безспорно допринася за трансграничния транспорт на разтворени тежки метали и до съседни държави. Тъй като находищата „Асарел“ и „Елаците“ все още са в активна експлоатация те определено допринасят за увеличаване на замърсяванията от различен тип в района.

Резултати

Тъй като основен обект на изследване като източник на негативно техногенно въздействие в района са минни изработки експлоатирани по открит способ важно място заемат данните от сателити и теренните измервания на различни скални образци с полевата многоканална спектрометрична апаратура (МКСА) TOMS. От редовно провежданите в последното десетилетие теренни кампании в споменатия регион бяха събрани проби от гранит, кафява почва и трева за по-нататъшен анализ на техните минерални и химични съставки с цел получаване на коректно разграничаване между тях. (вж. Фиг. 4 а). За събраните розови среднозърнести гранитни проби се установи следния състав състоят от средно 50% ортоклаз, 35% кварц, 15% плагиоклаз, 1% биотит и 1% магнетит. Основният материал на пробата от кафява пясъчно-глинеста почва е гранит. Почвената проба има умерена до груба призматична структура, много твърда и ронлива с неутрално рН (6,5) 1% органичен въглерод, 12% глина, 25% тиня и 62% пясък. [8, 9, 10]. В цитираните материали са получени резултати и за площите, които заемат отделните скални типове за някои от изследваните райони при използване на съвременни методи за сегментация на обекти в многоканални изображения и декомпозиция в единичен пиксел в тях (вж. Фиг. 4 б)-г).



Фиг. 1. Местоположение на откритите минни изработки за добив на медна руда и извадка от геоложка карта на Панагюрския руден район (по [6])



а) 1970 г.

б) 1980 г.

в) 1995 г.

Фиг. 2. Открит рудник „Медет“ по време на етапите на експлоатация - изграждане, в процес на експлоатация и след прекратяване на дейността му

Основен източник на многоканални спектрални растрови изображения за района, който изследвахме и предлагаме да се наблюдава редовно чрез създаване и подробно документиране на полигон за техногенни въздействия върху околната среда бяха данните от апаратурните комплекси TM/ETM+/OLI разположени на борда на сателитите от серията Landsat. Този избор бе обусловен от голямата и непрекъснатата времева серия (от началото на 80-те години на миналия век) от многоканални данни от едни и същи спектрални интервали, с една и съща пространствена разделителна способност (ПРС) от 30 m и не на последно място възможността за тяхното безвъзмездно ползване. С тяхна помощ бяха получени спектрални индекси, въз основа на които бе извършена класификация за наличните типове земно покритие по статистически и нелинейни подходи.

За по-добро проучване на изследваните обекти бяха използвани и многоканални данни в тесни спектрални канали (10 nm) от МКСА Hyperion на борда на сателита EO1 за по-добро разграничаване на миннодобивните обекти от останалите типове земни покрития. Този източник предостави данни в близкия и късовълновия обхват на инфрачервения спектър, които притежават висока информативност за минераложко и геоложко картиране на обекти от тип „голи скали“¹ (вж. Фиг. 4 а), каквито бяха предмет на изследване на базата на сателитни и теренни данни.

За този регион също така бяха използвани многоканални данни и от други МКСА източници със свободен достъп, като например:

- МКСА MSI разположена на борда на серията сателити Sentinel-2, която предоставя данни допълващи тези от Landsat и по-специално в края на червената и близката инфрачервена област на електромагнитния спектър [11]
- МКСА ASTER от сателита Terra на NASA, който разполага с 15 спектрални канала със средна ПРС, които са особено подходящи за допълване и обновяване на времевата серия от МКСА Hyperion. [12]
- МКСА AVNIR-2 от сателита ALOS на JAXA, която е с ПРС 10 m (сходна с тази на Sentinel-2) за допълване на МКСА слоевете с растрови данни в геобазата.

Друг важен източник на данни за геобазата характеризираща полигона са сензорите с висока ПРС с 1 m и по-малка, както и сателитни и аеро изображения от кампании за ортофото заснемане провеждани от Министерство на земеделието, храните и горите [13], които обхващат периода 2003 – 2021 г. Тяхното основно предназначение беше да се повиши пространствената разделителна способност на многоканалните данни посредством процедура за паншарпенинг за по-добро онагледяване на настъпилите промени в земното покритие дължащи се на техногенно въздействие. На първо място в нея сме включили данни от сателита Orbview-3, както растри от ортофото заснеманията.

Друг важен тип данни, които са включени в геобазата са тези от радари със синтезирана апертура (РСА), които предоставят информация независимо от метеорологичните условия и лесно се интегрират с многоканални данни. С тяхна помощ се проследяват промени в растителната покривка с помощта на т.нар. радарни вегетационни индекси или посредством поляризационни индекси. На базата на отразения радарен сигнал е възможно лесно да се проследи времевото развитие на постоянни водни площи или такива със сезонен характер [14] (за конкретно изследвания район е от особена важност да се установи динамиката на площите

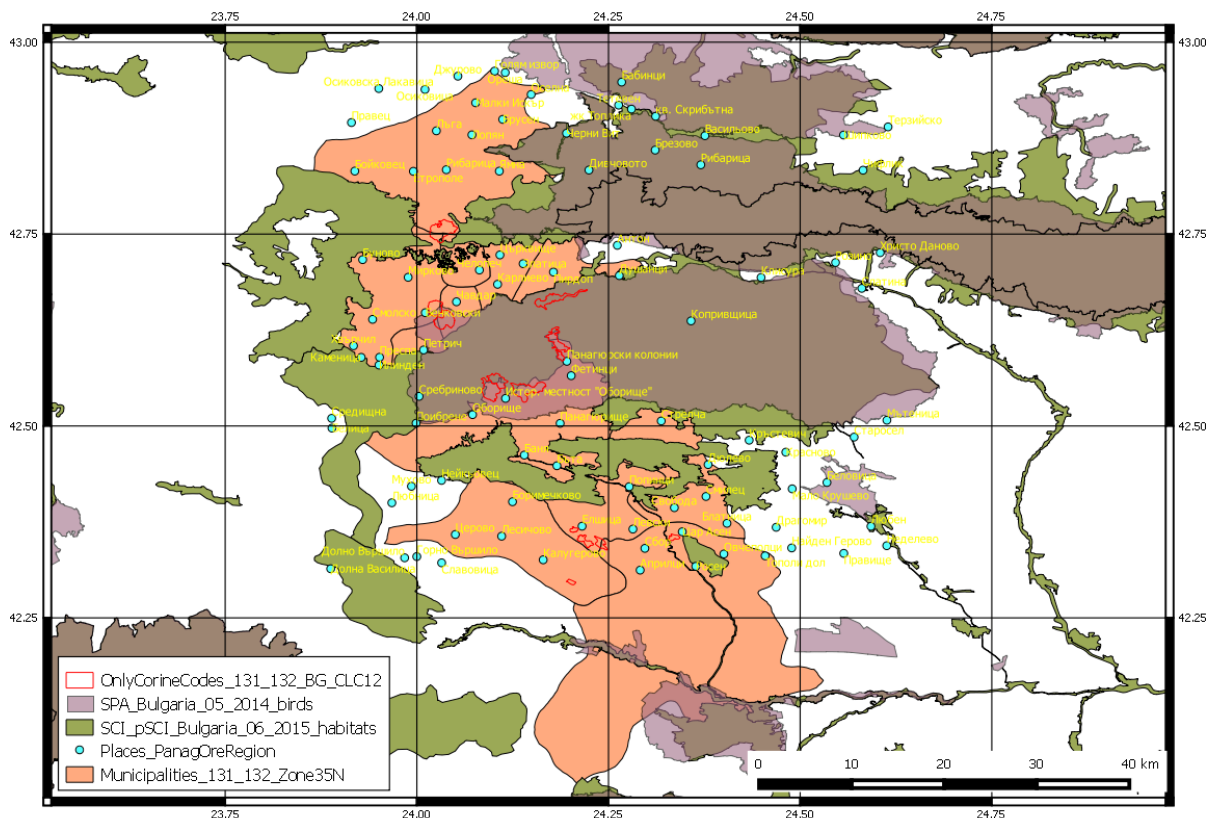
¹Съгласно по номенклатурата на КОРИНЕ Земно покритие

на хвостохранилищата, тъй като те са един от основните източници на прахово замърсяване на въздуха и почвите). Още един информационен ресурс, който се получава от РСА данни е в резултат на тяхната обработка по DInSAR метод – данни за малки премествания на земната повърхност, които биха могли да се използват като прекурсор на възможни срутвания или сляганя в открити минни изработки или по табани/насипища, както е показано в [15].

За визуализацията като отделен растерен слой за създаване на 3D модели на терена, така и в процеса на тематична обработка на данните от МКСА и РСА, бяха необходими и бяха използвани свободендостъпни растерни цифрови модели на релефа (ЦМР) със средна ПРС, като например данни от проектите SRTM (NASA) [16] 30 m и EU-DEM разработен по програма „Коперник“ на ЕК [17] 25 m, които също бяха включени в геобазата. При възможност за създаване на ЦМР с по-добра ПРС от кампании с безпилотни летателни системи те биха подобрили качеството на част от продуктите, които се получават при моделиране (напр. формиране на водосбори на реки), използвайки другите налични в геобазата слоеве.

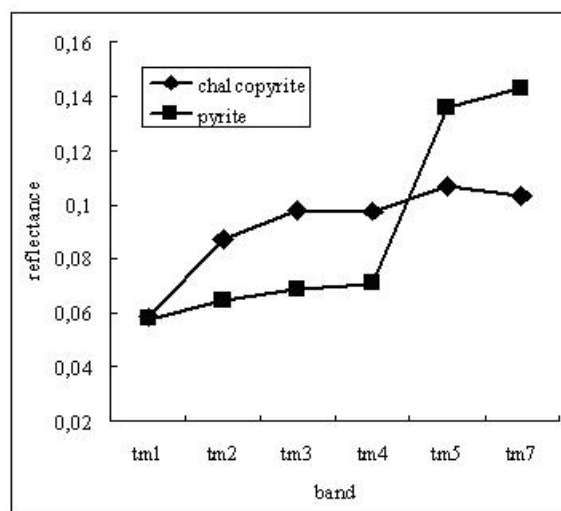
Изхождайки от факта, че ще се формира полигон насочен към отчитане влиянието на техногенни дейности е необходимо да се вземат предвид и наличието на защитени територии и зони от всякакъв тип (напр. национални паркове) с оглед извършване на актуални анализи относно споменатото влияние.[18] Благодарение на наличните и достъпни на страницата на ИАОС² данни за споменатите обекти [19] е възможно към геобазата документираща полигона да се създадат векторни слоеве, които осигуряват тази възможност. Пример за прилагане на този тип данни е показан на Фиг. 3.

Друг източник на информация за земеползването в района са изпълняваните от началото на 90-те години на 20-ти век поредица проекти „Корине Земно Покритие“, които предоставя векторни слоеве за земното покритие и промените в него съгласно номенклатура от три нива, както и допълнителни пет тематични растерни слоя за важни от екологична гледна точка типове земно покритие получени от данни с висока ПРС [13]. От особена важност за геобазата са слоевете, отразяващи промените в земното покритие, тъй като те ще покажат тенденциите в развитието на техногенното въздействие в региона. Това става проследявайки динамиката на класовете включващи компонентите на съответното миннодобивно предприятие и радиус около него 10 km.



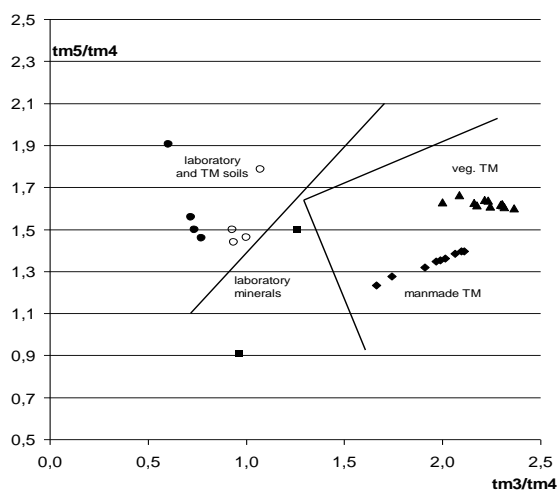
Фиг. 3. Пример за съвместно използване на данни разположението на минните предприятия и данни за защитени територии

²Изпълнителната агенция по околна среда

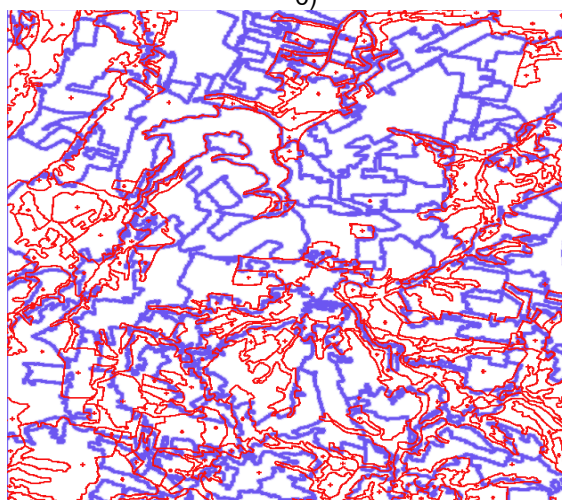


a)

б)



в)



г)

Фиг. 4. Измервания на терен с МКСА TOMS, сателитни и теренни данни за конкретните скални образци и сегментиране на райони въз основа на тях

Заклучение

От представените резултати необходимостта и предимството относно създаването на нов аерокосмически полигон за времево проследяване на промените в ландшафта и влиянието върху околната среда, дължащи се на техногенното въздействие на миннодобивни и миннопреработвателни дейности в Панагюрския руден район, може да направим заключението, че те бяха доказани. Извършените от авторите предварителни дейности по изследването на отделни аспекти на споменатото въздействие бяха отразени в цитираните публикации, което е предпоставка за създаване на единна геобаза данни. Тя може да бъде използвана и допълвана както от широк кръг специалисти, изследващи района, така и от местните власти и бизнеса за по-добро планиране на бъдещи дейности в него. Следва да се отбележи, че голяма част от данните се получават от апаратурни комплекси разположени на сателитни носители, което облекчава дейности по своевременното обновяване на наличната в геобазата информация. Не на последно място следва да се отбележи, че източниците на данни и програмното осигуряване използвано за тяхната обработка са предимно с свободен достъп.

Литература:

1. Tsoleva, V.; Banov M., Accumulation of microelements in technogenic ecosystems from the vicinity of the "Medet" opencast mine, Bulg. J. Agric. Sci., 23 (6): 1011–1015.
2. Borisova, D., Banushev, B., Nikolov, H., Nedkov, R., Avetisyan, D., Hyperspectral measurements of rocks and soils in Central Srednogorie. Journal of Mining and Geological Sciences, 60, Part I, Publishing House "St. Ivan Rilski", 2017, ISSN:1312-1820, pp. 117–121.

3. Borisova, D., H. Nikolov H., D. Petkov D., Lubenov T., Remotely Sensed Data for Water Volume Assessment in Inoperative Mines, Conference Proceedings, 7th Congress of the Balkan Geophysical Society, Oct 2013.
4. Руменина, Е., Желев Г., Развитие на дистанционните изследвания, провеждани на аерокосмическите полигони в България, Sixteenth International Scientific Conference SPACE, ECOLOGY, SAFETY – SES 2020, 4 – 6 November 2020.
5. Appel, M.; Pebesma, E. On-Demand Processing of Data Cubes from Satellite Image Collections with the gdalcubes Library. *Data* 2019, 4, 92. <https://doi.org/10.3390/data4030092>.
6. Popov, K. Lithostratigraphy of the Late Cretaceous rocks in the Panagyurishte ore region. - *Ann. Univ. Min. Geol.*, 48, 1; 101–114 2005.
7. Попов, П., S. Strashimirov, K. Попов, R. Petrunov, M. Kanazirski, D. Tzonev. Main features in geology and metallogeny of the Panagyurishte ore region, *Annual of University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski"*, 46, Part I: Geology and Geophysics, 119–125 2003.
8. Борисова, Д., Хр. Николов, Б. Банушев. Полеви и лабораторни измервания на магмени, седиментни и метаморфни скали за попълване на база данни при дистанционни изследвания, *Годишник на МГУ „Св. Иван Рилски“*, ISSN 1312-1820, vol. 52, , pp.137–140, 2009.
9. Borisova, D., H. Nikolov, B. Banushev, D. Petkov. Techniques for segmentation of open pit and stone mines. *Annual of UMG "St. Ivan Rilski"*, ISSN 1312-1820, vol. 53, Sofia, Publishing House "St. Ivan Rilski", pp.139–142, 2010.
10. Borisova, D., H. Nikolov. Improvements of the segmentation of multispectral images by means of LSMA. Conference with International Participation "Space, Ecology, Safety" (SES'2010), Sofia, Bulgaria, 2-4 November 2010, pp. 232–236.
11. Borisova, D., Banushev B., Petkov D., Nedkov R., Avetisyan D., Optical hyperspectral measurements of rocks and soils in Central Srednogorie, Bulgaria, *Proc. SPIE 10444, Fifth International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2017)*, 104441O (6 September 2017).
12. Bakardjiev, D., Popov K., ASTER spectral band ratios for detection of hydrothermal alterations and ore deposits in the Panagyurishte Ore Region, *Central Srednogorie, Bulgaria, Rev Bulg Geol Soc vol 76 1 2015 79 88*.
13. Dimitrov, V., Koleva, R., Tepeliev, Y., Kroumova, Y., Lubenov, T., Ilieva, N., Satellite mapping of Bulgarian land cover – CORINE 2018 project, (2019) *Forestry Ideas*, 25 (2), pp. 237–250.
14. Nikolov, H., Atanasova M., Using Information Obtained from SAR Data to Assess Flood Affected Areas in the Area of Bregovo, Bulgaria, *Proceedings of FIG working Week, June 20-25th 2021, Netherlands*.
15. Atanasova-Zlatareva, M., Nikolov H., Applying the DInSAR Method for Surface Deformations Detection in Pernik Valley, Source: *Conference Proceedings, 11th Congress of the Balkan Geophysical Society, Oct 2021, Volume 2021, p.1 – 5, DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202149BGS12>*.
16. NASA JPL,. NASA Shuttle Radar Topography Mission Global 1 arc second,. 2013, distributed by NASA EOSDIS Land Processes DAAC, <https://doi.org/10.5067/MEaSURES/SRTM/SRTMGL1.003>.
17. EU-DEM v1.1. Available online: <https://land.copernicus.eu/imagery-in-situ/eu-dem/eu-dem-v1.1?tab=metadata> (accessed on 30 June 2021).
18. Nikolov, H., D. Borisova, Tracing landscape changes near open pit mines, *Third SCGIS conference "Geoinformation technologies for natural and cultural heritage conservation"*, 2016, ISSN 1314-7749, p 54–63.
19. Регистър на защитените територии и защитените зони в България, <http://eea.government.bg/zpo/bg/> (accessed on 28 September 2021).