

XXXIV МЕЖДУНАРОДЕН СИМПОЗИУМ

СЪВРЕМЕННИТЕ ТЕХНОЛОГИИ,
ОБРАЗОВАНИЕТО И ПРОФЕСИОНАЛНАТА
ПРАКТИКА В ГЕОДЕЗИЯТА И
СВЪРЗАНИТЕ С НЕЯ ОБЛАСТИ

Ноември 2024, София, България

Сборник доклади



<http://symp2024.geodesy-union.org/>



СБОРНИК ДОКЛАДИ

**от XXXIV МЕЖДУНАРОДЕН СИМПОЗИУМ
СЪВРЕМЕННИТЕ ТЕХНОЛОГИИ, ОБРАЗОВАНИЕТО И
ПРОФЕСИОНАЛНАТА ПРАКТИКА В ГЕОДЕЗИЯТА И СВЪРЗАНИТЕ С НЕЯ
ОБЛАСТИ – 2024 г.**

София 2025 г.



PROCEEDINGS

of the XXXIV INTERNATIONAL SYMPOSIUM
MODERN TECHNOLOGIES, EDUCATION AND
PROFESSIONAL PRACTICE IN GEODESY AND RELATED FIELDS – 2024

Sofia 2025

София 1000, ул. Г. С. Раковски 108, П.К. 431;
тел: 02 987 5852 / 02 986 1357, факс: 2 987 9360,
e-mail: office@geodesy-union.org
<http://geodesy-union.org/>



XXXIV МЕЖДУНАРОДЕН СИМПОЗИУМ
СЪВРЕМЕННИТЕ ТЕХНОЛОГИИ, ОБРАЗОВАНИЕТО И
ПРОФЕСИОНАЛНАТА ПРАКТИКА В ГЕОДЕЗИЯТА И СВЪРЗАНИТЕ С НЕЯ ОБЛАСТИ
София, 06 – 08 ноември 2024 г., България

ДИГИТАЛЕН СБОРНИК ОТ ДОКЛАДИ

СЪСТАВИЛИ:

Чл.-кор проф. д-р инж. Георги Костов Милев,
инж. Таня Благоева Маджарова



РЕДАКТОР: Чл.-кор проф. д-р инж. Георги Костов Милев

© ИЗДАТЕЛ: Съюз на геодезистите и земеустроителите в България
България, 1000 София, ул. „Г. С. Раковски” 108

ISSN: 2367-6051

София, 2025 г.



XXXIV INTERNATIONAL SYMPOSIUM
MODERN TECHNOLOGY, EDUCATION AND
PROFESSIONAL PRACTICE IN SURVEYING AND RELATED TO IT FIELD
Sofia, 06 – 08 November 2024, Bulgaria

DIGITAL COLLECTION FROM THE REPORT

CONSTITUENTS:

Corr. Memb. of BAS Prof. Georgi Kostov Milev,
Eng. Tanya Blagoeva Madzharova



Editor: Corr. Memb. of BAS Prof. Dr. Eng. Georgi Kostov Milev

© **Publisher:** Union on surveying and land management in Bulgaria
Bulgaria, 1000 Sofia str. „ G.S. Rakowski” 108

ISSN: 2367-6051

Sofia 2025

София 1000, ул. Г. С. Раковски 108, П.К. 431;
тел: 02 987 5852 / 02 986 1357, факс: 2 987 9360,
e-mail: office@geodesy-union.org
<http://geodesy-union.org/>

ОРГАНИЗАТОРИ НА СИМПОЗИУМА



МЕЖДУНАРОДНА ФЕДЕРАЦИЯ НА ГЕОДЕЗИСТЕ
МЕЖДУНАРОДНО ДРУЖЕСТВО ПО ФОТОГРАМЕТРИЯ И ДИСТАНЦИОННИ ИЗСЛЕДВАНИЯ
ЕВРОПЕЙСКИ КОМИТЕТ ПО ГЕОДЕЗИЯ
ЕВРОПЕЙСКА ГРУПА НА ГЕОДЕЗИСТИТЕ
МЕЖДУНАРОДНА АСОЦИАЦИЯ ПО ГЕОДЕЗИЯ
ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ В ИСТАНБУЛ
СЪЮЗ НА ГЕОДЕЗИСТИТЕ И ЗЕМЕУСТРОИТЕЛИТЕ В БЪЛГАРИЯ
ФЕДЕРАЦИЯ НА НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИТЕ СЪЮЗИ
БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ – НАЦИОНАЛЕН ИНСТИТУТ ПО ГЕОФИЗИКА, ГЕОДЕЗИЯ И ГЕОГРАФИЯ
БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ – ИНСТИТУТ ЗА КОСМИЧЕСКИ ИЗСЛЕДВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ
УНИВЕРСИТЕТ ПО АРХИТЕКТУРА, СТРОИТЕЛСТВО И ГЕОДЕЗИЯ
МИНИСТЕРСТВО НА РЕГИОНАЛНОТО РАЗВИТИЕ И БЛАГОУСТРОЙСТВОТО - АГЕНЦИЯ ПО ГЕОДЕЗИЯ, КАРТОГРАФИЯ И КАДАСТЪР
МИНИСТЕРСТВО НА ЗЕМЕДЕЛИЕТО И ХРАНИТЕ
МИНИСТЕРСТВО НА ОТБРАНАТА - ВОЕННОГЕОГРАФСКА СЛУЖБА
КАМАРА НА ИНЖЕНЕРИТЕ ПО ГЕОДЕЗИЯ
АСОЦИАЦИЯ НА ГЕОДЕЗИЧЕСКИТЕ ФИРМИ
КАМАРА НА ИНЖЕНЕРИТЕ В ИНВЕСТИЦИОННОТО ПРОЕКТИРАНЕ – СЕКЦИЯ ГЕОДЕЗИЯ
СЪЮЗ НА УЧЕНИТЕ В БЪЛГАРИЯ - СЕКЦИИ ТЕХНИЧЕСКИ И ГЕОЛОГО - ГЕОГРАФСКИ НАУКИ

ОРГАНИЗАЦИОНЕН КОМИТЕТ

Поч. председател: чл.-кор. проф. д-р инж. Георги Милев

Председател: д-р инж. Иван Калчев

Зам.-председатели: доц. д-р инж. Кристина Микренска – наука
доц. д-р инж. Мария Асенова – организация

ЧЛЕНОВЕ

акад. д.т.н. инж. Ячко Иванов, НТССБ
чл.-кор. д.а.н. арх. Атанас Ковачев, ЛТУ
проф. д-р инж. Георги Вълев, СГЗБ
проф. д.ик.н инж. Андрей Андреев, НВУ Шумен
проф. д-р инж. Елена Пенева, УАСГ
проф. д.т.н. инж. Станислав Василев, УАСГ
проф. д-р инж. Бойко Рангелов, МГУ
проф. д-р инж. Керанка Василева, СГЗБ
проф. Маргарита Мондешка, УАСГ
проф. д-р инж. Деница Борисова, БАН-ИКИТ
проф. д-р инж. Христо Николов, БАН-ИКИТ
доц. д-р инж. Костадин Костадинов, СГЗБ
доц. д-р инж. Иван Кунчев, УАСГ
доц. д-р инж. Венета Коцева, СГЗБ
доц. д-р инж. Мила Атанасова-Златарева, БАН-НИГГГ
доц. д-р инж. Кристина Микренска, УАСГ
доц. д-р инж. Веселина Господинова, МГУ
гл. ас. д-р инж. Добромир Филипов, УАСГ
д-р инж. Кирил Стоянов, МЗХГ
инж. Виолета Коритарова, АГКК
полк. инж. Иван Инковски, ВГС
полк. инж. Светослав Църovski, ВГС
полк. инж. Николай Йорданов, ВГС
инж. Иван Деянов, КИИП

инж. Златан Златанов, КИГ
инж. Цветан Георгиев, АГФ
инж. Цветен Боев, СГЗБ

ТЕХНИЧЕСКИ КОМИТЕТ

инж. Иванка Колева, СГЗБ – ръководител доц. д-р
инж. Борислав Александров, УАСГ гл. ас. д-р инж.
Надежда Ярловска, УАСГ инж. Станимира
Стоянова, СГЗБ инж. Маргарита Тончева



XXXIV МЕЖДУНАРОДЕН СИМПОЗИУМ
СЪВРЕМЕННИТЕ ТЕХНОЛОГИИ, ОБРАЗОВАНИЕТО И ПРОФЕСИОНАЛНАТА ПРАКТИКА В

XXXIV МЕЖДУНАРОДЕН СИМПОЗИУМ
СЪВРЕМЕННИТЕ ТЕХНОЛОГИИ, ОБРАЗОВАНИЕТО И ПРОФЕСИОНАЛНАТА ПРАКТИКА В
ГЕОДЕЗИЯТА И СВЪРЗАНИТЕ С НЕЯ ОБЛАСТИ
София, 06 – 08 ноември 2024 г.

XXXIV INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON
MODERN TECHNOLOGIES, EDUCATION AND PROFESSIONAL PRACTICE IN
GEODESY AND RELATED FIELDS
Sofia, 06 – 08 November 2024

ПРЕДГОВОР

Настоящият Сборник съдържа докладите предвидени в програмата за представяне на XXXIV Международен симпозиум „Съвременните технологии, образованието и професионалната практика в геодезията и свързаните с нея области“, София, 06 – 08 ноември 2024 г.

След предговора, обобщено са представени реда и темите на сесиите от програмата, която е съобразена и с динамични промени наложили се в последния момент.

Съдържанието на Сборника отразява точно протичането на Симпозиума. Изнесените доклади, при провеждането на симпозиума, са представени в дигитален вид в Сборника. Поради това, че се явиха малки различия с програмата, като – изнесен доклад не представено само дигитално резюме, само заглавие и изнесен доклад, включено заглавие в програмата но не представено нищо на симпозиума. Всъщност съдържанието на Сборника отразява, следвайки програмата тази картина.

Докладите включени в Сборника са представени в съответствие въведената от скоро система за Изисквания и шаблон за публикуване на статиите в списание „Геодезия, картография, земеустройство“ и възприета за останалите издания на Съюза на геодезистите и земеустроителите в България (СГЗБ). Това би следвало да унифицира и подобри изданията, да ги онагледят, опрости и облекчи подготовката на издаването и ползването им (Качени са на интернет страницата на СГЗБ).

Заедно с това докладите отразяват съответните съвременни тенденции на развитие на интердисциплинарни технологии, особено геопропространствените, образованието и професионалната практика в геодезията и свързаните с нея области на конкретния настоящ етап. Наред със сериозните теоретични разработки на симпозиума се представят и много приложни такива, заедно с национални, регионални и световни проблеми, представени и от специалисти от свързаните с геодезията области с инженерен, природонаучен и друг характер и от млади специалисти, и студенти.

Със Сборника се продължава и 34-годишната традиция за отразяване на ежегодно провеждания международен симпозиум, който в историята на СГЗБ и ФНТС, остава като едно от най-важните събития за геодезическата, научната, техническата и инженерна общност и проблематика.

Елементи от оформянето на Сборника за 2024 г. са възприети от този, съставен за 2023 г.

Съставителите на Сборника изказват благодарност за съдействието по съставянето на Сборника, оказано им от: председателя на СГЗБ д-р инж. Иван Калчев и секретарите на СГЗБ инж. Иванка Колева и инж. Станимира Стоянова, на ас. инж. Боряна Николова, както и на авторите на доклади и други, също оказали съдействие.

София, 27.03.2025 г.

Чл.-кор. проф. д-р инж. Георги Милев - Редактор



XXXIV МЕЖДУНАРОДЕН СИМПОЗИУМ
СЪВРЕМЕННИТЕ ТЕХНОЛОГИИ, ОБРАЗОВАНИЕТО И ПРОФЕСИОНАЛНАТА ПРАКТИКА В
ГЕОДЕЗИЯТА И СВЪРЗАНИТЕ С НЕЯ ОБЛАСТИ
София, 06 – 08 ноември 2024 г.

XXXIV INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON
MODERN TECHNOLOGIES, EDUCATION AND PROFESSIONAL PRACTICE IN
GEODESY AND RELATED FIELDS
Sofia, 06 – 08 November 2024

PREFACE

This Collection contains the reports meant for the program for presentation of the XXXIV International Symposium "Modern Technologies, Education and Professional Practice in Geodesy and Related Fields", Sofia, 06 – 08 November 2024.

In a generated form, after the preface, the order and topics of the sessions from the program are presented, which is also consistent with dynamic changes that were necessary at the last moment.

The content of the Collection accurately reflects the course of the Symposium. The reports presented during the symposium are digitally presented in the Collection. Due to that, minor differences with the program appeared, such as - a report presented but only a digital summary presented, only a title and a report presented, a title included in the program but nothing presented at the symposium. In fact, the content of the Collection reflects, following the program, this picture.

The reports reflected in the Collection are presented in accordance with the recently introduced system of Requirements and a template for publishing articles in the journal "Geodesy, Cartography, Land Management" and are adopted for the other publications of the Union of Surveyors and Land Managers in Bulgaria (USLMB). This should unify and improve the publications, make them more visual, simplify, and facilitate the preparation of their publication and use (They are uploaded to the website of the USLMB).

Along with this, the reports reflect the relevant contemporary trends in the development of interdisciplinary technologies, especially geospatial technologies, education, and professional practice in geodesy and related fields at the specific current stage. Along with the serious theoretical developments of the symposium, many applied ones are also presented, along with national, regional, and global problems presented by specialists from geodesy-related fields of engineering, natural science, and other nature, as well as by young specialists and students.

The Collection continues the 34-year tradition of covering the annually held international symposium, which, together with this in the history of the USLMB and FSEU, remains one of the most important events for the geodetic, scientific, technical, and engineering community and issues.

Elements from the design of the Collection 2024 were adopted by the one compiled for 2023.

The compilers of the Collection express their gratitude for the assistance in compiling the Collection provided to them by: the president of the USLMB Dr. Eng. Ivan Kalchev, and the Secretaries of the USLMB, Eng. Ivanka Koleva and Eng. Stanimira Stoyanova, as well as Asist. Prof. Eng. Boryana Nikolova, the authors of reports and others who also provided assistance.

Sofia, 27.03.2025

Corresponding Member of BAS, Prof. Dr. Eng. Georgi Milev – Editor

ОБОБЩЕНА ПРОГРАМА (СЪДЪРЖАНИЕ)

0. ОТКРИВАНЕ НА СИМПОЗИУМА. ПРИВЕТСТВИЯ	14
1. ДОКЛАДИ И ДИСКУСИИ (I) – ПЛЕНАРНА СЕСИЯ	21
2. ДОКЛАДИ И ДИСКУСИИ (II) – ГЕОДЕЗИЯ, ОБРАЗОВАНИЕ	58
3. ДОКЛАДИ И ДИСКУСИИ (III) – ПРИЛОЖНА ГЕОДЕЗИЯ, УСТРОЙСТВО И ЗАЩИТА НА ТЕРИТОРИИТЕ	96
4. ДОКЛАДИ И ДИСКУСИИ (IV) – ФОТОГРАМЕТРИЯ, ЛАЗЕРНО СКАНИРАНЕ	163
5. ДОКЛАДИ И ДИСКУСИИ (V) – КАРТОГРАФИЯ И ГИС	202
6. СПЪТНИКОВИ СИСТЕМИ И ИЗСЛЕДВАНИЯ (VI)	265

GENERAL PROGRAM (CONTENTS)

0. OPENING OF THE SYMPOSIUM. WELCOME	14
1. REPORTS AND DISCUSSIONS (I) – PLENARY SESSION	21
2. REPORTS AND DISCUSSIONS (II) – GEODESY, EDUCATION	58
3. REPORTS AND DISCUSSIONS (III) – APPLIED GEODESY, LAND DEVELOPMENT AND PROTECTION	96
4. REPORTS AND DISCUSSIONS (IV) – PHOTOGRAMMETRY, LASER SCANNING	163
5. REPORTS AND DISCUSSIONS (V) – CARTOGRAPHY AND GIS	202
6. SATELLITE SYSTEMS AND RESEARCH (VI)	265

ДЕТАЙЛНО СЪДЪРЖАНИЕ / DETAILED CONTENT

Заглавие	Автор	Страница
0. <u>ОТКРИВАНЕ НА СИМПОЗИУМА. ПРИВЕТСТВИЯ</u>	Д-р инж Иван Калчев председател на СГЗБ	
1. <u>Приветствие от почетният председател на Съюза на геодезистите и земеустроителите в България</u>	Георги Милев (BG)	<u>14</u>
2. <u>Приветствие от Министерство на регионално развитие и благоустройството – Агенция по геодезия, картография и кадастър</u>	Милен Димиев (BG)	<u>16</u>
3. <u>Приветствие от Военно-географската служба</u>	Светослав Църовски (BG)	<u>17</u>
4. <u>Приветствие от Камара на инженерите в инвестиционното проектиране</u>	Иван Деянов (BG)	<u>18</u>
5. <u>Приветствие от Федерация на научно-техническите съюзи</u>	Кремена Дедеянова (BG)	<u>19</u>
6. <u>Приветствие от Техническият университет в Истанбул</u>	Бихтер Ерол (TR)	<u>20</u>
1. <u>ДОКЛАДИ И ДИСКУСИИ (I) – ПЛЕНАРНА СЕСИЯ</u>		
7. <u>Техническият университет в Истанбул - доклад</u>	Бихтер Ерол (TR)	<u>21</u>
8. <u>Итерационно изравнение на първокласни нивелачни мрежи</u>	Васил Цветков (BG)	<u>22</u>
9. <u>Някои аспекти от информационните технологии днес и тяхното приложение в геодезията</u>	Гинчо Костов (BG)	<u>31</u>
10. <u>Приложимост на дистанционните методи за наблюдение на земеделските стопанства: научна гледна точка</u>	Кирил Стоянов (BG)	<u>41</u>
11. <u>Космическа сеизмология</u>	Бойко Рангелов (BG)	<u>51</u>
2. <u>ДОКЛАДИ И ДИСКУСИИ (II) – ГЕОДЕЗИЯ, ОБРАЗОВАНИЕ</u>		
12. <u>Експериментален анализ и сравнение на изчислени височини на обекти от измервания с тотална станция и лазерен далекомер SW-600A</u>	Борислав Александров, Радослав Николов (BG)	<u>58</u>
13. <u>Подготвителни геодезически работи по създаване на геопространствена база данни за водопади</u>	Виолина Атанасова, Гергана Петрова (BG)	<u>67</u>
14. <u>Фотореалистично моделиране на паметника на Христо Ботев в гр. Калофер</u>	Албена Узунова Цветелина Атанасова-Евденова (BG)	<u>74</u>
15. <u>Геодезията и вертикалното планиране в обучението на специалисти по ландшафтна архитектура, класически и съвременни методи на приложение</u>	Милена Данаилова (BG)	<u>84</u>
16. <u>Климатичните промени и образованието по фотограмметрия и дистанционни методи</u>	Нели Здравчева (BG)	<u>86</u>

17. 7th FIG Young Surveyors European Meeting, Bucharest (RO), 23 - 24 October 2024	Васил Димитров (BG)	95
--	---------------------	--------------------

3. ДОКЛАДИ И ДИСКУСИИ (III) – ПРИЛОЖНА ГЕОДЕЗИЯ, УСТРОЙСТВО И ЗАЩИТА НА ТЕРИТОРИИТЕ

18. Метод за изчисление на деформациите при конформни картографските проекции	Симеон Кателиев (USA)	96
19. Приложение на иновативен метод за анализ на деформациите при картографските проекции от системата БГС 2005	Симеон Кателиев (USA)	106
20. Комплексен анализ на стабилността на точките при изследване на деформации	Румен Иванов (BG)	117
21. Геодезически дейности при поддържане на подкранови пътища	Иван Иванов (BG)	124
22. Създаване на дигитални двойници на градове, базирани на съвременни иновативни геопространствени технологии	Александра Иванова (BG)	135
23. Способи за устройствено планиране в крайградските територии	Надежда Ярловска (BG)	144
24. Мониторинг на природни бедствия, съгласно национални и световни директиви	Елия Стоянова (BG)	154

4. ДОКЛАДИ И ДИСКУСИИ (IV) – ФОТОГРАМЕТРИЯ, ЛАЗЕРНО СКАНИРАНЕ

25. Цифрови двойници на градове базирани на геопространствени данни	Мила Коева (NL)	163
26. Приложение на блискообхватната фотограметрия в инвестиционното проектиране	Пламен Малджански (BG)	164
27. Използване на фотограметрични дроне за нуждите на Армията	Димитър Петров (BG)	172
28. Новости в LIDAR технологиите на RIEGL, Австрия	Петър Тодоров (BG)	181
29. Подобряване на точността на геореферирането при регистрация на облак от точки с използване на сферични сигнали	Гергана Антова (BG)	192
30. Създаване на дигитален двойник за нуждите на строително-информационен модел	Мариян Генчев, Добромир Филипов, Михал Краус, Алеш Канковск (BG)	193

5. ДОКЛАДИ И ДИСКУСИИ (V) – КАРТОГРАФИЯ И ГИС

31. Изпълнение и контрол на горскостопанските дейности чрез възможностите на ГИС	Севдин Нинов, Мария Асенова (BG)	202
32. Приложение на резултатите от автоматизирана компютърна класификация в ГИС за горски територии	Радка Колева, Станимира Стоянова (BG)	214
33. Приложение на ГИС За анализ на риска от мащабни наводнения в България в контекста на изменението на климата: оценка на потенциалното въздействие и прогноза за ефектите върху различни сектори на икономиката	Тамара Илиева-Цветкова, Боряна Николова (BG)	225

<u>34. ГИС-базиран анализ на фактори, влияещи върху локализирането на топлинни острови в градска среда - пример за централната част на гр. София</u>	Боряна Николова, Тамара Илиева-Цветкова (BG)	<u>241</u>
<u>35. Маркшайдерски дейности при осъществяване на подземна връзка между два участъка в "Горубсо - Мадан" - АД</u>	Десислава Атанасова (BG)	<u>250</u>
<u>36. Класификация на системите за следене на погледа с приложение в картографията</u>	Николета Николова (BG)	<u>254</u>
<u>6. СПЪТНИКОВИ СИСТЕМИ И ИЗСЛЕДВАНИЯ (VI)</u>		
<u>37. Приложение на SAR технологията за изследване на косеизмичните деформации за територията на Балканския полуостров</u>	Мила Атанасова Христо Николов (BG)	<u>265</u>
<u>38. Демонстратор Галилео за прогноза на бурите в България</u>	Гергана Герова Керанка Василева (BG)	<u>266</u>
<u>39. Оценка на обхвата на вътрешноконтинентални водни обекти с помощта на спътникови изображения от Sentinel 2 на примера на язовир „Батак“ (Западни Родопи, България)</u>	Емилия Черкезова Калин Марков Мариан Върбанов Стефан Генчев (BG)	<u>268</u>
<u>40. Регистриране движението на ледник Перуника чрез радарни дистанционни методи</u>	Мартин Берданков Наталия Александрова (BG)	<u>277</u>
<u>41. Сравнение на резултатите от йонизационния модел CORSIMA приложен за аномални космически лъчи въз основа на спътникови данни</u>	Петър Й. Велинов, Симеон Асеновски, Лъчезар Матеев (BG)	<u>286</u>
<u>42. Сензори използвани при измерване на DC и AC електрични полета в магнитосферата и йоносферата от борда на сателити и МКС</u>	Димитър Теодосиев, Анна Бузекова-Пенкова, Бойко Цинцерски, Йордан Георгиев, Деница Борисов (BG)	<u>296</u>
<u>43. Повишаване качеството на информацията получавана от радар с синтезирана апертура посредством съвместно използване на тристенни отражатели и GNSS измервания</u>	Христо Николов, Константин Методиев, Мила Атанасова, Иван Калчев (BG)	<u>297</u>

ПРИВЕТСТВИЯ

1. XXXIV МЕЖДУНАРОДЕН СИМПОЗИУМ
СЪВРЕМЕННИТЕ ТЕХНОЛОГИИ, ОБРАЗОВАНИЕТО И ПРОФЕСИОНАЛНАТА ПРАКТИКА В
ГЕОДЕЗИЯТА И СВЪРЗАНИТЕ С НЕЯ ОБЛАСТИ
София, 06 – 08 ноември 2024 г.

XXXIV INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON
MODERN TECHNOLOGIES, EDUCATION AND PROFESSIONAL PRACTICE IN
GEODESY AND RELATED FIELDS
Sofia, 06 – 08 November 2024

ПРИВЕТСТВИЕ

към

участниците в XXXIV Международен симпозиум „Съвременни технологии, образование и професионална практика в геодезията и свързаните с нея области“, София, 06 – 08.11.2024 г.

от

Чл.-кор. проф. д-р инж. Георги Милев,

Почетен председател на Съюза на геодезистите и земеустроителите в България (СГЗБ);
Почетен член на Федерация на научно-техническите съюзи в България (ФНТС); Почетен член
на Международната федерация на геодезистите (ФИГ); Почетен член на Организационния
комитет на Симпозиума

Скъпи приятели, колеги и дългогодишни партньори,

Имам честта и удоволствието да Ви приветствам за XXXIV Международен симпозиум „Съвременни технологии, образование и професионална практика в геодезията и свързаните с нея области“.

Началото си Международният симпозиумът води от 1991 г., тогава проведен в София, като симпозиум по Инженерна геодезия, организиран от СГЗБ, под мое председателство на Организационния комитет и под егидата на ФИГ, заедно с честването на 100 годишнината на Военно-географската служба, с присъствието на тогавашният Министър на отбраната – Тодор Тагарев и почетният председател на ФИГ и СГЗБ проф. почетен д-р инж. Васил Пеевски. Симпозиумът си завоюва свое име и традиция, през дългите – 34 години на неговото ежегодно провеждане. Той отразява съответните съвременни тенденции на развитие на интердисциплинарни технологии, особено геопространствените, образованието и професионалната практика в геодезията и свързаните с нея области на конкретния етап. Наред със сериозните теоретични разработки на симпозиума се представят и много приложни такива, заедно с национални, регионални и световни проблеми. Освен геодезисти в симпозиума участват специалисти от свързаните с геодезията области с инженерен, природонаучен и друг характер. Така е и тази година. В симпозиума редовно има сесии за млади специалисти и студенти. И тази година младежките доклади са интегрирани в съответните специализирани сесии. Обичайно симпозиумът е придружен с изложба на съвременни системи, инструменти и технологии, проекти, дипломни работи на завършващи студенти, фотоизложби и др.

И тази година постъпилите доклади са обичайни на брой - 42 и покриват практически цялостната обявена многостранна тематика на симпозиума. Заявено участие има освен от България, още от Турция, Нидерландия, Малта, Чехия, Америка, Южна Африка. Докладите се оформят като дигитален сборник и се издават след симпозиума.

Наред с това през годините има подчертан интерес и динамично участие, предимно от българска и турска страна, поради което XXIX симпозиум, беше много успешно организиран и проведен при 2018 г. в Техническия университет в гр. Истанбул, Турция.

Дори и при пандемията, XXX Международен симпозиум се проведе много успешно през 2020 г. в София под комбинирана форма – присъствена и он лайн. Правим го така от тогава, включително и през настоящата 2024 г.

В историята на Съюза на геодезистите и земеустроителите в България и ФНТС, симпозиумът остава като едно от най-важните събития за геодезическата, научната, техническата и инженерна общност и проблематика.

Още веднъж Ви приветствам за Вашето участие и искрено пожелавам успех на тази многостранна, дългогодишна, традиционна изява на Съюза на геодезистите и земеустроителите в България.

Много поздрави!

С уважение,

Чл.-кор. проф. д-р инж. Георги Милев

2. XXXIV МЕЖДУНАРОДЕН СИМПОЗИУМ
СЪВРЕМЕННИТЕ ТЕХНОЛОГИИ, ОБРАЗОВАНИЕТО И ПРОФЕСИОНАЛНАТА ПРАКТИКА В
ГЕОДЕЗИЯТА И СВЪРЗАНИТЕ С НЕЯ ОБЛАСТИ
София, 06 – 08 ноември 2024 г.

XXXIV INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON
MODERN TECHNOLOGIES, EDUCATION AND PROFESSIONAL PRACTICE IN
GEODESY AND RELATED FIELDS
Sofia, 06 – 08 November 2024

ПРИВЕТСТВИЕ

УВАЖАЕМИ ДАМИ И ГОСПОДА,

УВАЖАЕМИ КОЛЕГИ,

От името на Агенцията по геодезия, картография и кадастър и лично от мое име поздравявам организаторите на XXXIV Международен симпозиум "Съвременни технологии, образование и професионалната практика в геодезията и свързаните с нея области", който правят възможна тази инициатива, както и всички включили се участници.

Симпозиумът е знаково събитие за геодезическата колегия. Ежегодното му провеждане е от особена важност и необходимост, както в тази връзка приветствам техническия и организационния комитет за положените усилия и тяхната всеотдайност, и отправям своето пожелание за активно участие и ползотворна работа!

Използвам случая да Ви уверя в готовността на Агенцията да продължи да развива активно съвместно сътрудничество от името на професионалната ни общност – да бъде по-сплотена, силна и обединена.

Желая Ви здраве и професионални успехи!

С уважение,

ИНЖ.МИЛЕН ДИМИЕВ
ИЗПЪЛНИТЕЛЕН ДИРЕКТОР НА АГКК

3. XXXIV МЕЖДУНАРОДЕН СИМПОЗИУМ
СЪВРЕМЕННИТЕ ТЕХНОЛОГИИ, ОБРАЗОВАНИЕТО И ПРОФЕСИОНАЛНАТА ПРАКТИКА В
ГЕОДЕЗИЯТА И СВЪРЗАНИТЕ С НЕЯ ОБЛАСТИ
София, 06 – 08 ноември 2024 г.

XXXIV INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON
MODERN TECHNOLOGIES, EDUCATION AND PROFESSIONAL PRACTICE IN
GEODESY AND RELATED FIELDS
Sofia, 06 – 08 November 2024

ПРИВЕТСТВИЕ

при откриване на XXXIV международен симпозиум „Съвременни технологии, образование и професионалната практика в геодезията и свързаните с нея области“

Уважаеми господин професор Милев, почетен председател на съюза на геодезистите и земеустроителите в България,
уважаеми господин доктор Калчев, председател на съюза на геодезистите и земеустроителите в България,
уважаеми участници и гости в днешния симпозиум,

като началник на Щаба на Военно-географската служба, за мен е чест да присъствам на нашата международна конференция, както и да Ви поздравя от името на началника на Службата. Също така бих искал да благодаря на организаторите за положителните усилия и тяхната всеотдайност и отправям своето пожелание за активно участие и ползотворна работа!

Историята на геодезията в България и особено на геодезията и земеустроителството в България е тясно свързана със създаването на геодезическата общност в България, с формирането на общественото значение на геодезическата професия и подкрепянето на жива връзка между практиката и науката. Не случайно и това е мисията на симпозиума — съвременни технологии, образование и практика.

Настоящата програма на симпозиума дава възможност на участниците да се срещнат със съвременни технологии в областта на геодезията, фотограметрията, картографията, устройството на територията и кадастра, за запознаване с тяхното приложение в конкретни проекти, изнесени от нашите колеги и да ги дискутират. Конструктивни дискусии ще подпомогнат формирането на нови идеи и стратегии за развитие на геодезията, за усъвършенстване на нормативната уредба по геодезия и картография и за подобряване на качеството на нашия продукт и услугите, които предлагаме на обществото.

Особено много се радвам, че днес тук ще бъдат представени на административна и управленска дейност по кадастрална, геодезическа и картографска, на професионални организации, които обединяват инженерни геодезисти, образованието, науката и публичната дейност и на последното място в бизнеса, който както винаги не може да се обявява и да работи за развитие на нашата любима професия.

Желая интересни доклади, ползотворни дискусии и срещи на всички участници в конференцията.

С уважение:
Светослав Бочев Църовски
Началник на Щаба на Военно-географска служба
Полковник инженер
07.11.2024 г., София

4. XXXIV МЕЖДУНАРОДЕН СИМПОЗИУМ
СЪВРЕМЕННИТЕ ТЕХНОЛОГИИ, ОБРАЗОВАНИЕТО И ПРОФЕСИОНАЛНАТА ПРАКТИКА В
ГЕОДЕЗИЯТА И СВЪРЗАНИТЕ С НЕЯ ОБЛАСТИ
София, 06 – 08 ноември 2024 г.

XXXIV INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON
MODERN TECHNOLOGIES, EDUCATION AND PROFESSIONAL PRACTICE IN
GEODESY AND RELATED FIELDS
Sofia, 06 – 08 November 2024

ПРИВЕТСТВИЕ

към

участниците и гостите на XXXIV Международен симпозиум „Съвременни технологии, образование и професионална практика в геодезията и свързаните с нея области“

Уважаеми д-р инж. Иван Калчев - Председател на Организационния комитет на симпозиума.
Уважаеми чл.-кор. на Българската академия на науките, проф. д-р инж. Георги Милев
Уважаеми колеги и гости.

И тази година с особено задоволство искам най-сърдечно да поздравя участниците и гостите на откриващият се международен симпозиум от името на членовете на Национална професионална секция „Геодезия и приложна геодезия“ към Камара на инженерите в инвестиционното проектиране и лично от мое име. За мен е чест да бъда член на организационния комитет и признание за институцията, която представлявам.

Всяка година в нас се засилва убеждението от необходимостта за провеждане на такива форуми и все повече се затвърждава традицията за участие, както на утвърдени, така и на млади научни работници с научни и научно-приложни доклади с многостранна тематика. Ежегодното провеждане на симпозиума с неговата богата научна програма, още един път доказва, че това събитие се утвърждава в международния научен календар. Тук трябва да отбележим необходимостта от разработване на доклади по теми свързани с образованието в професионалната област, както и да се търсят инструменти за решаването на натрупаните проблеми и оптимизирането на целия учебен процес.

Искам отново да изтъкна, че сътрудничеството между професионалните геодезически организации и образователни институции намери своята изява в учредяването на Координационен съвет. Това определено може и трябва да се счита, като крачка напред с подписването на Меморандум за предприемане на общи действия за развитие и защита на професионалната ни общност.

Продължаваме традицията КИИП, като съорганизатор на този ежегоден научен форум да подпомага изследванията в областта на геодезията и внедряването им в проектантската практика. Всички секции от камарата са подпомагали със стипендии и продължаваме да подпомагаме отлични и много добри студенти с намерение да се реализират в областта на проектирането.

Искам и тази година да изразя своята увереност, че съвместната ни работа в подпомагането на науката и образованието и приложението на научните достиженията в проектирането, ще продължи и за напред.

Пожелавам на всички участници здраве и ползотворна работа!
Благодаря за вниманието!

инж. Иван Деянов

Председател на Национална професионална секция

“Геодезия и приложна геодезия” към Камара на инженерите в инвестиционното проектиране

5. XXXIV МЕЖДУНАРОДЕН СИМПОЗИУМ
СЪВРЕМЕННИТЕ ТЕХНОЛОГИИ, ОБРАЗОВАНИЕТО И ПРОФЕСИОНАЛНАТА ПРАКТИКА В
ГЕОДЕЗИЯТА И СВЪРЗАНИТЕ С НЕЯ ОБЛАСТИ
София, 06 – 08 ноември 2024 г.

XXXIV INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON
MODERN TECHNOLOGIES, EDUCATION AND PROFESSIONAL PRACTICE IN
GEODESY AND RELATED FIELDS
Sofia, 06 – 08 November 2024

До участниците в XXXIV Международен симпозиум Съвременни технологии, образование и професионална практика в геодезията и свързаните с нея области

ПОЗДРАВИТЕЛЕН АДРЕС

Уважаеми д-р Калчев,
Уважаеми участници,

Имам удоволствието да Ви поздравя от името на Федерацията на научно-техническите съюзи в България и лично от мое име за организирането и провеждането на XXXIV Международен симпозиум „Съвременни технологии, образование и професионална практика в геодезията и свързаните с нея области“.

Провеждането на този форум за 34-ти пореден път е доказателство за неговите авторитети. Включените в програмата научно-приложни доклади и презентации споделят актуални новини за съвременни технологии в геодезията, картографията, фотограметрията, образованието и професионалната практика и ще бъдат полезни за всички специалисти.

Заслужава да се изтъкне специалната сесия, която е насочена към посещенията на младите учени и специалисти.

Надявам се на симпозиума да се обсъдят интересни теми в научните сесии, да бъдат споделени практически опит, продукти, процеси и технологии по време на изложбата и техническите сесии и да се създадат нови професионални и лични контакти.

Желая здраве на всички участници и успех на XXXIV Международен симпозиум!

Председател:
доц. д-р инж. Кремена Дедеянова

6. XXXIV МЕЖДУНАРОДЕН СИМПОЗИУМ
СЪВРЕМЕННИТЕ ТЕХНОЛОГИИ, ОБРАЗОВАНИЕТО И ПРОФЕСИОНАЛНАТА ПРАКТИКА В
ГЕОДЕЗИЯТА И СВЪРЗАНИТЕ С НЕЯ ОБЛАСТИ
София, 06 – 08 ноември 2024 г.

XXXIV INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON
MODERN TECHNOLOGIES, EDUCATION AND PROFESSIONAL PRACTICE IN
GEODESY AND RELATED FIELDS
Sofia, 06 – 08 November 2024

ПРИВЕТСТВИЕ

от

Техническият университет в Истанбул

Проф. Бихтер Ерол (TR)

1. ДОКЛАДИ И ДИСКУСИИ (I) – ПЛЕНАРНА СЕСИЯ

7. XXXIV МЕЖДУНАРОДЕН СИМПОЗИУМ
СЪВРЕМЕННИТЕ ТЕХНОЛОГИИ, ОБРАЗОВАНИЕТО И ПРОФЕСИОНАЛНАТА ПРАКТИКА В
ГЕОДЕЗИЯТА И СВЪРЗАНИТЕ С НЕЯ ОБЛАСТИ
София, 06 – 08 ноември 2024 г.

XXXIV INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON
MODERN TECHNOLOGIES, EDUCATION AND PROFESSIONAL PRACTICE IN
GEODESY AND RELATED FIELDS
Sofia, 06 – 08 November 2024

ДОКЛАД ОТ ТЕХНИЧЕСКИЯ УНИВЕРСИТЕТ В ИСТАНБУЛ

Проф. Бихтер Ерол (TR)

XXXIV INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON
MODERN TECHNOLOGIES, EDUCATION AND PROFESSIONAL PRACTICE IN
GEODESY AND RELATED FIELDS
Sofia, 06 – 08 November 2024

ИТЕРАЦИОННО ИЗРАВНЕНИЕ НА ПЪРВОКЛАСНИ НИВЕЛАЧНИ МРЕЖИ

Гл. ас. д-р инж. Васил Цветков, УАСГ

ITERATIVE ADJUSTMENT OF PRECISE LEVELLING NETWORKS

Chief Assist. Prof. Dr. Eng. Vasil Cvetkov, UASG

SUMMARY

The current paper presents the results from iterative parametric adjustment of the Second /1953 – 1957/ and the Third /1975 – 1984/ Levelling of Bulgaria. The weights used to adjust the Second Levelling /1953 – 1957/ are $p = L^{-c}$, where L is the length of the levelling line, and $c \geq 0$ is a power parameter, different in the separate iterations. Besides the weights $p = L^{-c}$, the Third Levelling Bulgarian network is adjusted with the weights $p = |H|^{-c}$, where $|H|$ is the absolute elevation between terminal benchmarks in the levelling lines. The results show that the best decisions, in the case of the Second Levelling of Bulgaria /1953 – 1955/, were obtained by the weights $p = L^{-7}$. The minimisation of the sum of the standard errors of the adjusted benchmark heights in the Third Levelling of Bulgaria was produced by the weights $p = L^{-1.6}$ and $p = |H|^{-1}$. The differences between the adjusted benchmark heights, yielded by the classical levelling weights $p = L^{-1}$ and the best iterative decisions are 9 mm and 16 mm on average, respectively for the Second and the Third Levelling of Bulgaria. Moreover, the maximum values of these differences are 21.6 mm and 39.3 mm, respectively for the Second and the Third Levelling of Bulgaria, which significantly go beyond the accuracy of the precise geometric levelling.

Keywords: geometric levelling, adjustment, weights, methodology.

РЕЗЮМЕ

В настоящата статия са представени резултатите от итерационното изравнение на първокласните нивелачни мрежи на Р. България, II и III цикъл, измерени съответно в периодите 1953 – 1957 г. и 1975 – 1984 г. Тежестите, използвани при изравнението на нивелачната мрежа на България /1953 – 1957 г./ са във вида $p = L^{-c}$, където L е дължината на нивелачната линия, а $c \geq 0$ е степенен показател, различен в различните итерационни цикли. Мрежата от Третата първокласна нивелация на България /1975 – 1984 г./ освен с тежестите $p = L^{-c}$ е изравнена и с тежестите $p = |H|^{-c}$, където $|H|$ е абсолютната стойност на превишението между крайните реperi в нивелачните линии от мрежата. Резултатите от извършените изравнения показват, че най-добри решения, базирани на обобщени критерии за точност, се получават при тежести $p = L^{-7}$ за мрежата от Втората нивелация на България /1953 – 1957 г./. Съответно, минимализирането на сумата на средните квадратни грешки на изравнените височини на възловите реperi в мрежата от Третата нивелация на България се получава при тежести $p = L^{-1.6}$ и $p = |H|^{-1}$. Разликите в изравнените височини на реперите в анализираните мрежи, получени при най-добрите итерационни решения, и изравнените височини на същите реperi, но получени с класическите

тежести $p = L^{-1}$ за изравнение на нивелачни мрежи, са средно 9 mm и 16 mm, съответно за Втората и Третата нивелация на България. Максималните абсолютни стойности на въпросните разлики достигат до 21.6 mm и 39.3 mm, съответно за Втората и Третата нивелация на България, което значително надвишава точността на първокласната геометрична нивелация.

Ключови думи: геометрична нивелация, изравнение, тежести, методика.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Нека имаме една нивелачна мрежа, в която са измерени n на брой превишения, чрез които трябва еднозначно да се определят изравнените височини/геопотенциални коти на k на брой възлови репера. Нека за простота и по-голяма яснота при представянето на идеята за итерационно изравнение на високоточни мрежи да приемем, че мрежата е свободна. Тогава, за средната квадратна грешка m_i на изравнената височина/геопотенциална кота на произволен възлов репер $i \in \{1, 2, \dots, k\}$, получена при параметричното изравнение на мрежата, може да се запише зависимостта (1).

$$(1) \quad m_i = \mu \cdot \sqrt{Q_{ii}}.$$

Означението μ е средната квадратна грешка с тежест единица, изчислена по формула (2), където P е тежестната матрица на измерванията (3), а V е матрица-вектор на измерваните превишения между крайните реperi на нивелачните линии в изравняваната мрежа, получена чрез уравненията на поправките (4).

$$(2) \quad \mu = \sqrt{V^T P V / (n - k)}$$

$$(3) \quad P_{(n,n)} = \begin{bmatrix} P_1 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & P_n \end{bmatrix}$$

$$(4) \quad V_{(n,1)} = A_{(n,k)} \cdot X_{(k,1)} + f_{(n,1)}.$$

Всички елементи на тежестната матрица P са нули с изключение на елементите по главния ѝ диагонал. Именно стойностите на тези елементи са от изключителна важност за минимализация на влиянието на конфигурацията на мрежата върху крайната точност на изравнените височини / геопотенциални коти на възловите реperi в една нивелачна мрежа.

Самата конфигурация на мрежата се представя като графа чрез матрицата $A_{(n,k)}$. Матрицата-вектор $f_{(n,1)}$ в уравненията на поправките (4) съдържа разликите между измерените превишения в линиите и приблизителните височини/геопотенциални коти на реперите в мрежата. Колкото по-точни са измерванията, толкова по-малки по абсолютна стойност са членовете на матрицата $f_{(n,1)}$. Матрицата-вектор $X_{(k,1)}$ съдържа корекциите към приблизителните височини/геопотенциални коти на реперите в мрежата, получени в хода на параметричното изравнение и се изчислява по (5) като за тежестната матрица $Q_{(k,k)}$ е валидна зависимостта (6).

$$(5) \quad X_{(k,1)} = -(A^T P A)^{-1} \cdot A^T P f$$

$$(6) \quad Q_{(k,k)} = (A^T P A)^{-1}.$$

Замествайки (5) в (4), уравнението на поправките може да се запише чрез (7), а средната квадратна грешка с тежест единица μ чрез (8).

$$(7) \quad V = -A \cdot (A^T P A)^{-1} \cdot A^T P f + f$$

$$(8) \quad \mu = (n - k)^{-0.5} \cdot [(-A \cdot (A^T P A)^{-1} \cdot A^T P f + f)^T \cdot P \cdot (-A \cdot (A^T P A)^{-1} \cdot A^T P f + f)]^{0.5}.$$

Тогава, за средната квадратна грешка m_i на изравнената височина/геопотенциална кота на произволен възлов репер $i \in \{1, 2, \dots, k\}$, получена при параметричното изравнение на мрежата на основата на (8) и (6), ще запишем (9).

$$(9) \quad m_i = (n - k)^{-0.5} \cdot [(-A \cdot (A^T P A)^{-1} \cdot A^T P f + f)^T \cdot P \cdot (-A \cdot (A^T P A)^{-1} \cdot A^T P f + f) \cdot (A^T P A)^{-1}]^{0.5}$$

Тъй като n и k са константи при една съществуваща мрежа, а конфигурацията на мрежата представена с графа в матрична форма $A_{(n,k)}$ е наследена, от (9) следва, че средната квадратна грешка на изравнената височина/геопотенциална кота на репера i зависи от точността на извършените измервания, представени чрез матрицата-вектор $f_{(n,1)}$ и от избора на тежестите p_{ij} . При изравнението на мрежата, ние вече разполагаме с данни от измерванията, т.е. матрицата-вектор $f_{(n,1)}$ е също наследена. Следователно, единствените параметри на изравнението, които можем да оптимизираме са тежестите p_{ij} , респективно тежестната матрица P .

Изхождайки от факта, че конфигурацията на една нивелачна мрежа се дефинира от пространствените връзки между реперите в нея, минимизацията на обобщени критерии за точност като средноаритметично, медиана, средногеометрично и т.н. на извадката на средните квадратни грешки на изравнените височини/геопотенциални коти на реперите в тази мрежа ще бъде търсена чрез итерационни решения, базирани на тежестите (10) и (11), където L е дължината на нивелачната линия, а H е превишението между крайните реperi в линията.

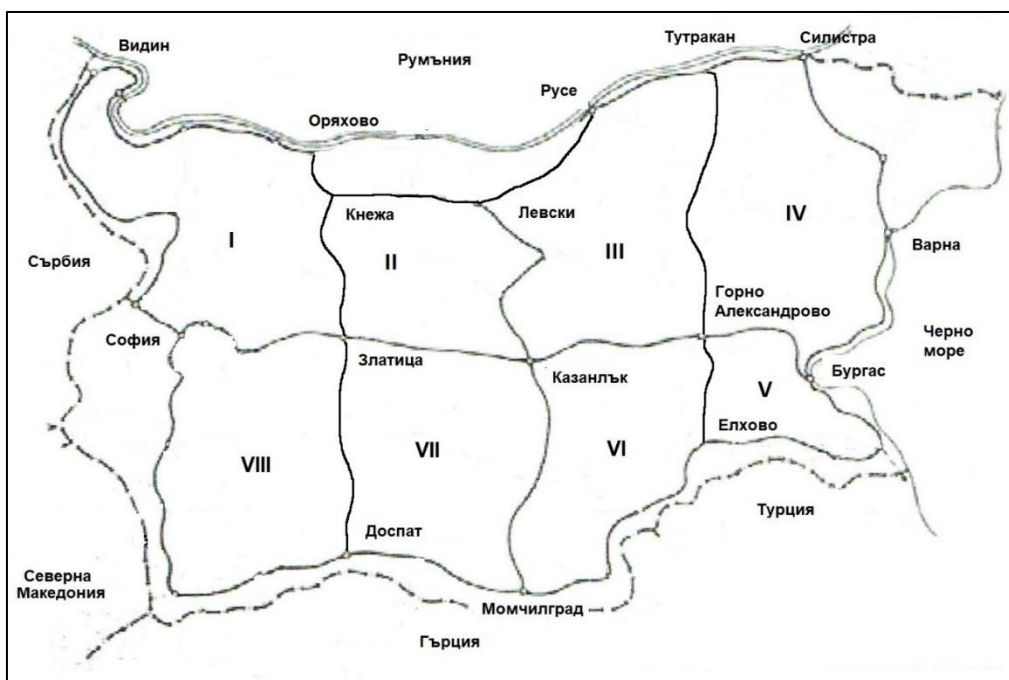
$$(10) \quad P = L^{-c}$$

$$(11) \quad P = |H|^{-c}.$$

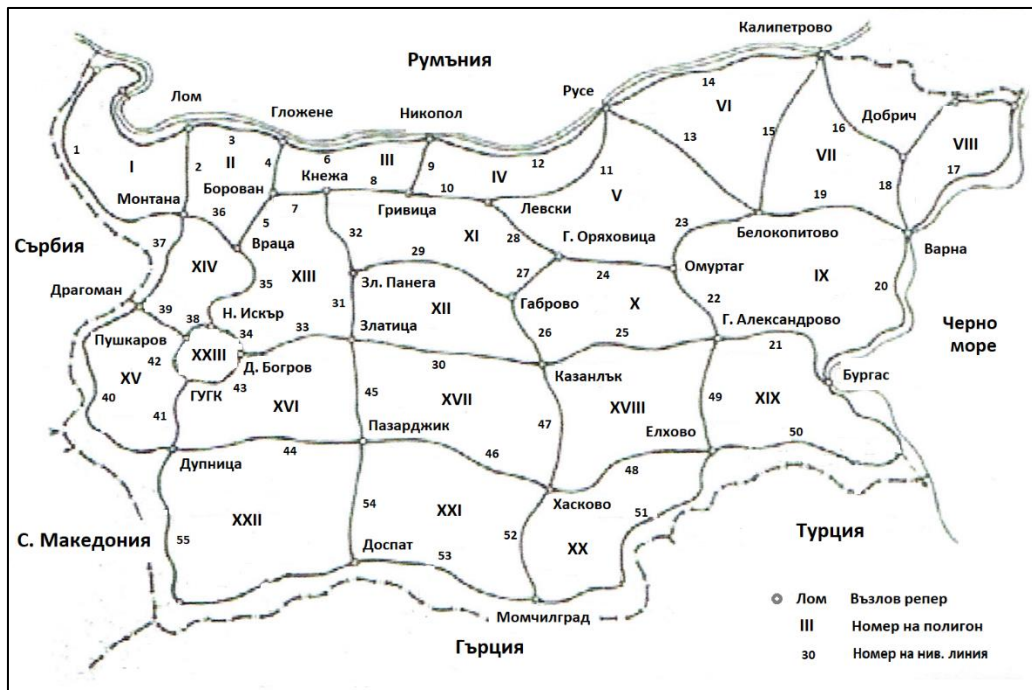
Използвайки данните от две първокласни нивелации на територията на Р. България, с настоящата статия цели да се покаже несъстоятелността на предписваните в българските инструкции [3, 4] тежести $P = L^{-1}$ за изравнение на геометрична нивелация от най-висок клас у нас.

2. ИЗХОДНИ ДАННИ

Изходните данни, използвани в настоящото проучване, са резултатите от първокласните нивелации на Р. България, периоди II и III. Тези данни са налични и се съхраняват в Геокартфонда към АГКК. Схемите на двете нивелачни мрежи са представени чрез Фигури 1 и 2. Изходни реperi при изравнението на мрежите са ВНР 63 в м. „Табиите“, землище на гр. Бургас за мрежата от II цикъл и ВНР 28, намиращ се в землището на гр. Варна, за третата нивелация на страната ни.

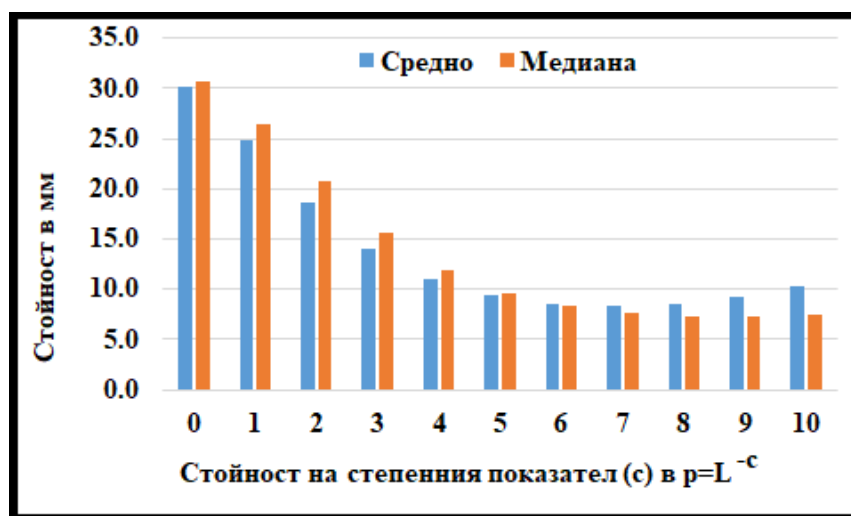


Фиг. 1. Схема на нивелачната мрежа на България /1953 – 1957 г./ [5, 6]

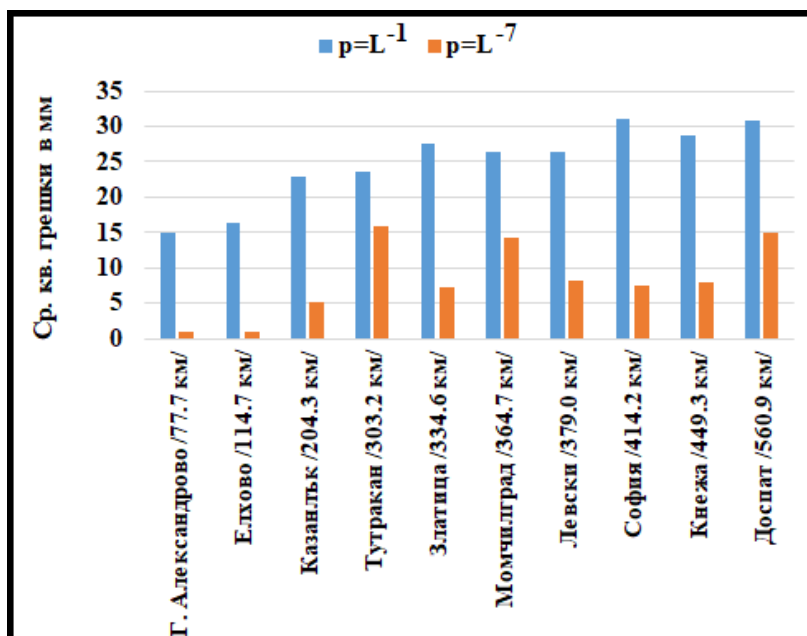


Фиг. 2. Схема на нивелачната мрежа на България /1975 – 1984 г./ [2], [5], [6]

3. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЯ



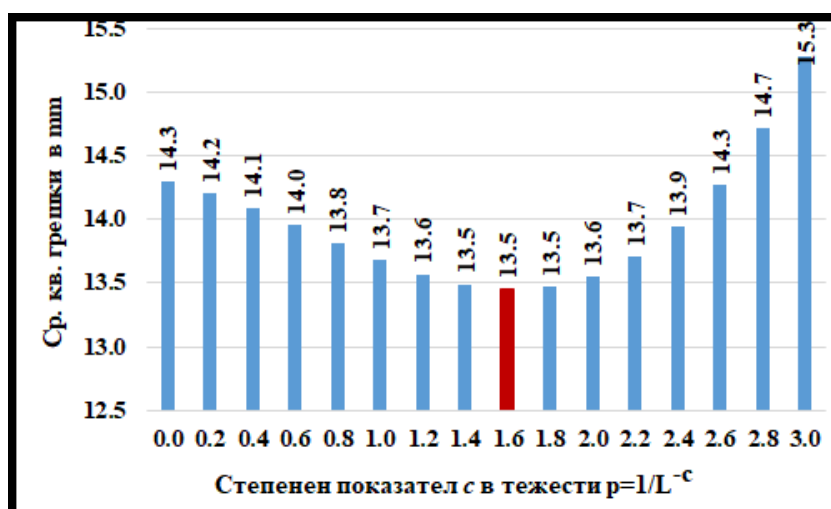
Фиг. 3. Средноаритметични стойности и медиани на извадките на средните квадратни грешки на изравнените височини на реперите в първокласната мрежа на България II цикъл, получени при различни стойности на степения показател с на тежестите $P = L^{-c}$.



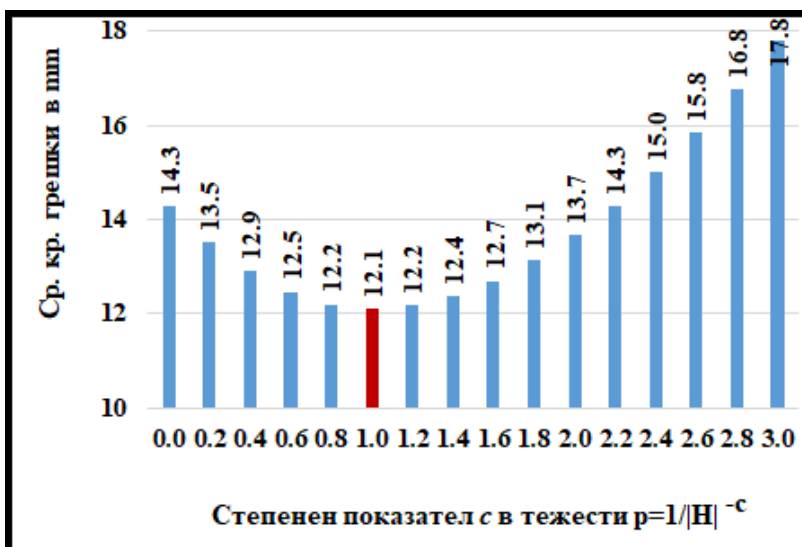
Фиг. 4. Средните квадратни грешки на изравнените височини на реперите в първокласната мрежа на България II цикъл, получени с на тежести $P = L^{-1}$ и $P = L^{-7}$.

Таблица 1. Разлики в mm между изравнените височини на реперите в първокласната мрежа на България II цикъл, получени с на тежести $P = L^{-1}$ и $P = L^{-7}$

Репер	$L^{-1} - L^{-7}$	Репер	$L^{-1} - L^{-7}$
Г. Александрово	-8.6	Момчилград	-10.4
Елхово	-0.8	Левски	-15.0
Казанлък	-9.3	София	-21.6
Тутракан	-12.3	Кнежа	-6.1
Златица	-9.3	Доспат	1.6



Фиг. 5. Средноаритметични стойности и медиани на извадките на средните квадратни грешки на изравнените височини на реперите в първокласната мрежа на България III цикъл, получени при различни стойности на степения показател с на тежестите $P = L^{-c}$.



Фиг. 6. Средноаритметични стойности и медиани на извадките на средните квадратни грешки на изравнените височини на реперите в първокласната мрежа на България III цикъл, получени при различни стойности на степения показател с на тежестите $P = |H|^{-c}$.

Таблица 2. Т-Тест по двойки за извадките на средните грешки на изравнените височини на възловите реperi в първокласната мрежа на България III цикъл, получени с тежестите $P = L^{-1}$ и $P = L^{-1.6}$.

Статистика	L^{-1}	$L^{-1.6}$
Ср. Аритметично	13.68	13.46
Дисперсия	4.42	4.56
Наблюдения	32	32
Корелация по Пирсън	0.990	
Хипотетична средна разлика	0.00	
Степени на свобода	31	
t Stat	4.28	
P(T<=t) едностранен тест	0.0001	
t _{крит.} – едностранен тест	1.696	
P(T<=t) двустранен тест	0.0002	
t _{крит.} – двустранен тест	2.040	

Таблица 3. Т-Тест по двойки за извадките на средните грешки на изравнените височини на възловите реperi в първокласната мрежа на България III цикъл, получени с тежестите $P = L^{-1.6}$ и $P = |H|^{-c}$.

Статистика	$L^{-1.6}$	H^{-1}
Ср. Аритметично	13.46	12.11
Дисперсия	4.56	9.15
Наблюдения	32	32
Корелация по Пирсън	0.306	
Хипотетична средна разлика	0	
Степени на свобода	31	
t Stat	2.440	
P(T<=t) едностранен тест	0.010	

$t_{\text{крит.}} - \text{едностранен тест}$	1.696	
$P(T \leq t) \text{ двустранен тест}$	0.021	
$t_{\text{крит.}} - \text{двустранен тест}$	2.0395	

Таблица 4. Разлики в mm между изравнените височини на възловите репери в първокласната нивелация на България III цикъл /1975 – 1984 г./ с на тежестите - $P = L^{-1}$ и тежестите $P = L^{-1.6}$ и $P = |H|^{-1}$.

Репер	$L^{-1} - L^{-1.6}$	$L^{-1} - H ^{-1}$	Репер	$L^{-1} - L^{-1.6}$	$L^{-1} - H ^{-1}$
Добрич	-8.19	10.29	Зл. Панега	-2.64	25.88
Белокопитово	-6.14	0.13	Златица	-1.65	-2.75
Калипетрово	-8.16	14.70	Борован	-2.97	24.00
Бургас	-5.73	8.34	Гложене	-4.44	6.98
Омуртаг	-4.98	10.11	Враца	-5.63	26.18
Русе	-4.00	12.21	Пазарджик	-6.63	23.28
Г. Александрово	-2.94	13.11	Момчилград	-6.73	28.01
Г. Оряховица	-0.91	-5.87	Лом	-6.60	23.24
Елхово	-1.24	3.25	Д. Богров	-6.62	23.80
Габрово	-2.42	11.83	Монтана	-5.77	23.35
Левски	-1.34	3.26	Нови Искър	-5.26	33.00
Казанлък	-1.79	9.86	ГУГК	-4.85	28.71
Никопол	-1.58	9.84	Пушкарров	-4.12	30.14
Гривица	1.94	1.09	Драгоман	-2.39	27.81

Анализирайки данните представени чрез табл. 1 и фигури 3-4, могат да се направят следните изводи:

Минимизация на сумата на средните квадратни грешки на изравнените височини на възловите репери в нивелачната мрежа на България II цикъл, при итерационно изравнение с тежести (10) - $P = L^{-c}$ се получи при стойност на степенния показател $c = 7$. Най-малка медианна стойност на извадките на средните грешки във височините на реперите се получи за извадката на тежести със степенен показател $c = 8$.

Средноаритметичните стойности на средните квадратни грешки на изравнените височини на възловите репери в мрежата от фиг. 1, получени с тежести $P = L^{-1}$ и $P = L^{-7}$, са съответно 24.9 mm и 8.3 mm. Следователно, итерационното решение със степенен показател $c = 7$ доведе до средно 3 пъти по-малки стойности на средните квадратни грешки на изравнените височини на реперите в нивелачната мрежа на България II цикъл, в сравнение с предписваните от инструкциите [3, 4] тежести $P = L^{-1}$. Статистическата значимост на тази разлика е на ниво на сигурност по-високо от 99%.

Съгласно фиг. 4, увеличаването на степенния показател при тежестите (10) - $P = L^{-c}$, корелацията между средните квадратни грешки на изравнените височини на възловите репери в мрежата и отдалечеността на реперите от изходния ВНР 63 намалява. При степенни показатели $c = 1$ и $c = 7$, съответно коефициентите на корелация са 0.945 и 0.724.

Съгласно табл. 1, при изравнение с класическите тежести $P = L^{-1}$ се получи физически по-високи изравнени височини на възловите репери в нивелачната мрежа на България II цикъл, в сравнение с изравнените височини, получени с тежестите $P = L^{-7}$.

Генералният извод е, че за данните от Втората нивелация на България, итерационните процедури възпроизвежда 8 статистически значително по-добри решения от класическото изравнение с тежести - $P = L^{-1}$, предписано в инструкциите [3, 4].

Резултатите от итерационното изравнение на Третата нивелация на България Итерационното с тежести (10) - $P = L^{-c}$ и (11) - $P = |H|^{-c}$ са представени чрез Фигури 5-6 и Таблицы 2-4. Анализирайки тези резултатите се вижда, че:

Средноаритметичната стойност на средните квадратни грешки на изравнените височини на възловите репери в мрежата, показана на фиг. 2, получени чрез тежести (11) - $P = |H|^{-c}$ е минимална. Съгласно Таблицы 2-3, тежестите $P = |H|^{-1}$ произвежда статистически значително

по-точни резултати в сравнение с тежестите $P = L^{-1.6}$ и $P = L^{-1}$. Нивото на сигурност на този извод е по-високо от 97%.

За всички стойности на степенния показател с на тежестния модел (11) - $P = |H|^{-c}$, където $0.2 \leq c \leq 2.0$, средноаритметичната стойност на средните квадратни грешки на изравнените височини на възловите репери в анализираната мрежа е по-малка от най-малката средноаритметична стойност на средните квадратни грешки на изравнените височини на възловите репери, получена чрез тежестите (10) - $P = L^{-c}$.

Най-добри резултати от изравнението на първокласната нивелачна мрежа на България – III цикъл с тежестния модел (10) - $P = L^{-c}$ се получи при стойност на степенния показател $c = 1.6$, а не при класическото предписание $c = 1$.

Разликите в mm между изравнените височини на реперите, получени при изравнение с тежести $P = L^{-1}$ и $P = L^{-1.6}$, са отрицателни, което означава, че при изравнение на първокласната нивелачна мрежа на България – III цикъл, тежестният модел $P = L^{-1.6}$ произведе физически по-високи височини на реперите в мрежата в сравнение с модела $P = L^{-1}$, като максималните разлики надхвърлят 8 mm по абсолютна стойност.

Изхождайки от факта, че разликите в mm между изравнените височини на реперите, получени при изравнение с тежести $P = L^{-1}$ и $P = |H|^{-1}$, са положителни и почти половината от тях надхвърлят 25 mm.

Генералният извод, който може да се направи е, че итерационните техники намериха повече от 10 по-добри решения при изравнението на първокласната нивелачна мрежа на България III цикъл в сравнение с официално най-доброто такова, представено в труда на Бурилков и Вучкова [1].

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Първокласната геометрична нивелация е геодезическият метод, позволяващ определянето на разликите във височините на отдалечени точки от земната повърхност с недостижима към настоящия момент за други измерителни методи точност [7], [8], [9]. Неправилната обработка на данните от полските измервания [9, 10], базирано на необосновани статистически стереотипи за законите на натрупване на грешки в нивелачните измервания [7], намиращо отражение в автоматичното преписване на цели части от една инструкция [2] в нейна “по-нова версия” [3] без предварителен анализ на събираните десетилетия нивелачни данни, води до получаване на статистически значително по-лоши крайни резултати при оценката на точността на една първокласна геометрична нивелация.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бурилков Т., Р. Вучкова, Изравнение на новата нивелачна мрежа I клас на НР България, Геодезия, картография и земеустройство, 1986, 4, 7-9
2. Господинов Сл., Беляшки, Т., Е. Пенева, (2014), Анализ на държавната нивелачна мрежа на Република България, Доклад на работна група по задача 3. Създаване на програма и усъвършенстване на държавните геодезически мрежи (3.2. Държавна нивелачна мрежа) към Съвета по геодезия, картография и кадастър, АГКК, София.
3. Инструкция за нивелация I и II клас, София, ГУГК, 1980
4. Инструкция № RD-02-20-1 от 15 януари 2021 г. за създаване и поддържане на държавната нивелачна мрежа. В сила от 05.02.2021 г., Издадена от министъра на регионалното развитие и благоустройството, Обн. ДВ бр.10 от 5 февруари 2021 г.
5. НИГиФ, Сборник трудове на НИГиФ, 1984, № 5
6. Пенева Е., Височини и височинни системи, София, Военно-географска служба, 2017, ISBN 978-954-91225-0-3
7. Цветков В., Изравнение на високоточни нивелачни мрежи, Монография, София, 2024, ISBN 978-619-92816-0-4, <https://uacg.bg/?p=178&l=1&id=1473&f=5&dp=54> (Accessed 26.09.2024).
8. Cvetkov V., Two adjustments of the second levelling of Finland by using nonconventional weights, Journal of Geodetic Science, 2023, vol. 13, no. 1, <https://doi.org/10.1515/jogs-2022-0148> (Accessed 26.09.2024)

9. Cvetkov V., On initial data in adjustments of the geometric levelling networks (on the mean of paired observations), Journal of Geodetic Science, 2024, vol. 14, no. 1, pp. 20220170, <https://doi.org/10.1515/jogs-2022-0170> (Accessed 26.09.2024).
10. Cvetkov, V., Geometric Levelling Data and Some Systematic Faults in Their Treatment, Inżynieria Mineralna — Journal of the Polish Mineral Engineering Society, 2024, 1(1), 293–300. <https://doi.org/10.29227/IM-2024-01-32> (Accessed 26.09.2024).

АДРЕС НА АВТОРА

Гл. ас. д-р инж. Васил Цветков
Университет по архитектура, строителство и геодезия
София 1164, бул. Христо Смирненски № 1
+359 898 234 682
tzvetkov_vasil@abv.bg.

XXXIV INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON
MODERN TECHNOLOGIES, EDUCATION AND PROFESSIONAL PRACTICE IN
GEODESY AND RELATED FIELDS
Sofia, 06 – 08 November 2024

**НЯКОИ АСПЕКТИ ОТ ИНФОРМАЦИОННИТЕ ТЕХНОЛОГИИ ДНЕС И ТЯХНОТО
ПРИЛОЖЕНИЕ В ГЕОДЕЗИЯТА**

Д-р инж. Гинчо Костов, „Гео Земя“ ЕОД

**SOME ASPECTS OF THE INFORMATION TECHNOLOGIES NOWADAYS AND THEIR
APPLICATION IN GEODESY**

Dr. Eng. Gintcho Kostov, “Geo Zemla” Ltd.

SUMMARY

Geodetic practice nowadays requires and is not limited to: surveying equipment, contemporary hardware and software, Internet and last but not least backup. This list is under constant change/update due to the improvements in the hardware, software and services. Today the geodesist is supposed to be familiar with the possibilities of the IT in the profession in order to be competitive, finish the task in a reasonable time and at the end to create the required backup of the data. This paper focuses the attention on the current possibilities and the details in the IT in geodesy. Practical examples for storage, sharing and backup of the geodetic digital production are given. Analysis of the advantages and disadvantages of the applied IT in geodesy is done based on its specific technical requirements. In the study are given the necessary graphical examples to show the details of the everyday digital geodetic activity. Conclusions, recommendations and proposals are also given.

Keywords: geodesy, information technologies, Internet, backup

РЕЗЮМЕ

Геодезическата практика днес изисква и не е ограничена до използването на инструменти, актуален софтуер, хардуер, Интернет и не на последно място създаване на резервно копие на информацията. Този списък подлежи на непрекъсната актуализация предвид подобренията в хардуера, софтуера и използваните услуги. Сега геодезиста е изправен пред задачата да бъде запознат (в детайли) с възможностите на ИТ приложими в работата му. Целта е геодезиста да бъде конкурентно способен, да завърши задачата за кратко време и накрая да създаде резервно копие на информацията (на резултата от работата). Този материал е фокусиран върху днешните възможности и някои детайли от ИТ, използвани при геодезическите дейности. Дадени са практически примери за съхранение, споделяне и backup на цифровата информация. Извършен е анализ на предимствата и недостатъците на приложението на съвременните ИТ в геодезията на база на специфичните технически изисквания. В изследването са представени необходимите графически примери, които да илюстрират детайлите при ежедневната цифрова геодезическа дейност. Заключение, препоръки и предложения са дадени в статията.

Ключови думи: геодезия, информационни технологии, Интернет, резервно копие.

1. INTRODUCTION

Nowadays IT are involved in (almost) every activity of the human life, including the geodetic profession. Depending on the specific task in geodesy the percentage of the usage of IT may vary.

The implementation of the IT in geodesy is not only used directly for the completion of the task, but it simplifies the way we share the information with other colleagues and finally keep the data safe – create a backup. The ways how the IT could be implemented nowadays in geodesy was described in a number of papers [7], [2], [5] and others.

The possible usage of the modern technologies in geodesy was described in several papers. e.g.; [9], [10]. Papers or topics, dealing with Nextcloud, geodesy and IT could not be found.

In general, today's geodetic activities consist of: field measurements (using the relevant equipment), transfer of the data (results) from the internal memory/flash card to the cloud via Internet and last but not least their fast and safe management in the server.

The aim of this paper is to show one specific application of the IT in geodesy, which was applied for storage, management, sharing and backup of data – in our specific case geodetic measurements and their results. Here, Nextcloud was involved, as “Open source content collaboration platform”.

The reasons to use this platform were not limited to:

- convenient to use;
- open source;
- self hosted;
- regular updates available;
- beta and stable versions;
- secure;
- others.

This paper studies in details the technical implementation of the following key parts of the geodetic activities:

- check the availability of Internet at the area of performing of GNSS measurements;
- control of the work of the controller (under OS Android)
- data transfer in the cloud;
- data processing and backup;
- sharing the results with others, when required.

2. CONTEMPORARY GEODETIC INSTRUMENTS – REQUIREMENTS AND RELEVANT DATA MANAGEMENT

Depending on the object to be measured, the geodesist must decide what type of equipment and technology, or several of them to choose from for performing the field work. The instrument/s/ could be e.g. GNSS rover, 3D terrestrial laser scanner, drone, total station, etc. One of the common points of the various geodetic instruments is the data storage and its relevant management. Regardless of the way, the instrument collects and stores data. A key moment of the geodetic work is its export (in the cloud) for further processing, analysis and backup.

Here will be given some of the requirements for the GNSS system and 3D terrestrial laser scanner. Similar examples could be given for the other surveying instruments.

a) **GNSS rover**

- Internet is required;
- ensured in advance its connectivity with Internet at the region of measurements;
- in case of lack of cell phone coverage – possible access to satellite Internet.

b) **3D terrestrial laser scanner:**

- spherical/flat targets are required for (fast) station combination and georeferencing;
- choosing of appropriate places for the targets (height, distance, etc.);
- mutual geometry of the targets and visibility scanner-targets.

Other possible examples for application of another surveying equipment, e.g. drone could be found at [8], [12] and others.

Both mentioned in points a) and b) geodetic instruments create a number of files and several folders, containing the measured data. Regardless of the type of data storage (internal memory or flash card) it must be transferred to the cloud for storage, backup and further processing in the relevant laptop.

It should be noted that the raw data from the scanner might reach GBs and the preferable backup file type is high compression *.zip. Done in this way the data management is faster and convenient using high speed optical/fiber Internet [6].

3. POSSIBILITIES OF IT NOWADAYS – APPLICATION FOR GEODETIC PURPOSES

IT today offers a number of possibilities, which in our case give a significant improvement in the work of the geodesist. The IT and its possible usage in this study includes and is not limited to:

- Internet both mobile and optical;
- VPS;
- Nextcloud both stable and beta releases;
- smartphones;
- laptops;
- storage of (geodetic) information, see fig. 1;
- backup on the server in *.zip – possible directly in the platform, using Zipper app;
- sharing of information via link, see fig. 2;
- maintenance of the software and OS on the server, laptop and phone.



Fig. 1. The online storage and its various possibilities

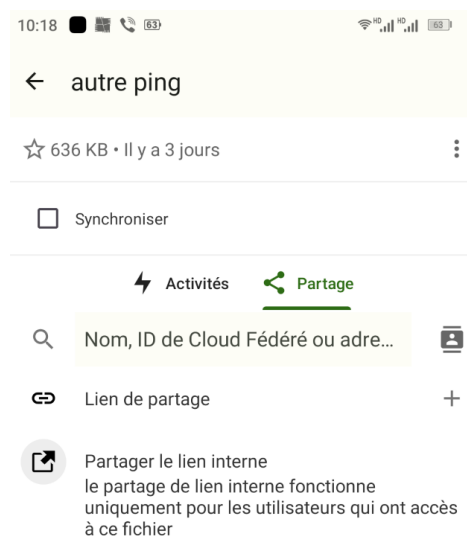


Fig. 2. Sharing options for a file/folder

Internet, which nowadays is available in e.g.: 5G, optical, fiber, satellite, etc. is necessary for a number of activities, including professional areas, in this case geodesy.

In this study Internet was applied in several main directions:

- a) for performing of GNSS measurements in RTK mode, using (almost) all available satellite systems today;
- b) for data transfer of the results from the measurements to the server;
- c) for storage and backup of all geodetic information in the cloud, running on VPS;
- d) sharing of the necessary information wherever needed.

Nextcloud, as mentioned earlier is an open source platform, which provides user with a number of possibilities, security and freedom to act. In our case it was running in the GNSS controller and served as storage, where all the information was transferred in.

It should be noted that this platform was used both in beta and stable releases (on the servers and phones) so that the latest improvements could be implemented in the everyday geodetic practice. On example is given in fig. 3, where it could be seen complete information for the raw data from GNSS measurements, e.g.: object name, size, last modification and various other options, hidden in the three dots. In this case “sharing” option had priority, denoted as person and “+” sign.

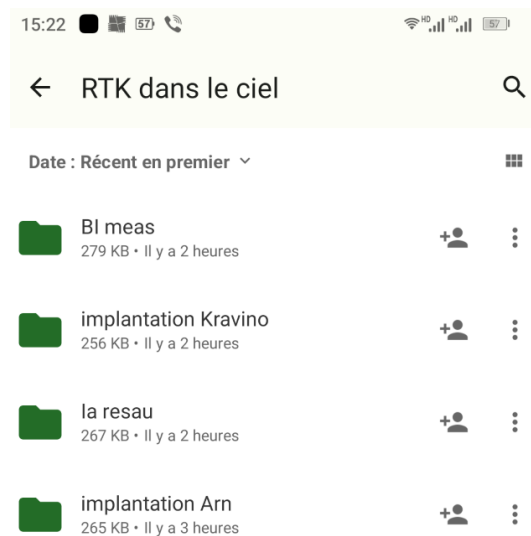


Fig. 3. Data from the measurements, transferred from controller, visible in the phone/s/

Another contemporary device, used (not only) in the field was the smartphone with installed the relevant releases (beta and stable) of Nextcloud. In this way the geodesist can use and manage all the information he needs at the moment – stake-out graphics, coordinates, documents, etc. – directly from the cloud.

The final product, e.g. graphical part of the geodetic activities could be easily created after processing of the data (located in a safe, private cloud) on a (gamer) laptop wherever it is convenient – both in the field, in the office or elsewhere.

Last, but not least all these conveniences require maintenance. This includes and is not limited to:

- installation of the latest beta/stable versions of Nextcloud on server, laptop and phone;
- maintenance of the VPS;
- change, if necessary, of the hardware with up to date one.
- installation of the latest security updates is a major task, which is by default and here was mentioned for information.

4. TECHNICAL REQUIREMENTS FOR THE APPLICATION OF IT IN GEODESY IN THIS SPECIFIC CASE

In order to implement everything, described in the previous chapter, the following was required and not limited to:

- financial resources;
- reliable, having good reputation/reviews hosting provider;
- own hardware;
- technical skills to setup and maintain: Linux, VPS, server's control panel and Nextcloud;
- knowledge in various areas, e.g. DNS records, PHP settings, root administration in Linux, etc.;
- the relevant software for remote access the server via SSH.

Every hosting service nowadays varies in the means of e.g.: quality, reliability, price, flexibility, datacenter position, support and others. In this way the geodesist is supposed to choose the most appropriate hosting provider based on his specific technical requirements. The balance price/parameters should be carefully considered in advance.

The hardware, including laptop/s/, phone/s/, GNSS rover, etc., which serves the geodesist is the next important topic to be taken into account. Latest models are preferable from the following points of view: implemented current innovations, speed and others.

In order to keep the server/s/ running smoothly, it is supposed that the geodesist is familiar with the relevant technical knowledge for work on Linux, e.g. its distribution Ubuntu, as mentioned above.

Some examples of almost every day's maintenance are as follows:

- sudo apt update;
- sudo apt upgrade, and others.

Here, the first general part of the activity was intentionally skipped. It included the installation of: the control panel of the VPS, Nextcloud, the dependencies and their respective configuration. PHP parameters also required user intervention. Since it falls beyond of the scope of this study, the activity was not described in details here.

Summarizing, after the completion of setup and customization of both VPS and cloud storage, their usage for everyday geodetic activities could begin.

5. SOME OF THE ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF IT, APPLIED FOR GEODETIC PURPOSES

Each one of the mentioned above technologies, abbreviated as: IT, GNSS and LIDAR has its own advantages and disadvantages. In case they are combined in one whole, as done in our specific case, this significantly improves the productivity and the safety of the information from the geodetic production.

Here will be given the advantages and disadvantages of the application of IT today, for geodetic purposes:

a) **advantages**

- reliability;
- fast and convenient data access and management;
- the hosting provider can be chosen between a number of competitors;
- highly secure;
- applicable for (almost) all contemporary surveying instruments;
- no need to store data on paper;
- one man crew;
- possibility to set private DNS servers;
- environmental-friendly;
- user-friendly;
- open source software;
- installed on your own server.

b) **disadvantages:**

- requires some investment for hardware and monthly/yearly costs of the involved services, [11].
- requires specialized knowledge in e.g.: Linux, DNS, PHP and others.
- some software could be incompatible/unsupported with other in the VPS, [1]. Checks are required, see fig. 4;

Supported operating systems

- Debian 10, 11 or 12
- Ubuntu 20.04 or 22.04

Fig. 4 Hestia control panel - supported OS at the moment of writing of the paper

- requires time for maintenance/update/upgrade via SSH;
- requires admin attention when update is available via Web, see fig. 5.



Fig. 5. Available update and the relevant notes for it

Regardless of the mentioned disadvantages, the application of nowadays' possibilities of IT are a significant step ahead in the everyday work of the geodesist.

6. RESULTS FROM THE PING TESTS. ANALYSIS

An important topic to be discussed and analyzed is the speed (elapsed time) to access the server. In our case this is how fast the geodesist could access the necessary data from the cloud.

In this study the mobile app Ping was used, available for free in Play store. More information for ping command could be found at: [4] and [3]. Here, three servers were tested, located in Sofia, hosted by three different providers. In total four domains were studied for the elapsed time for access.

On fig. 6 are shown the graphical and numerical results of the speed test for domain N1. The maximal ping packet was N3 having time of 58.9 ms, while all other packets had almost with one and the same value – lower than 20 ms. If packet N3 was thrown away, here we could have a low overall ping value - less than 17.5 ms.

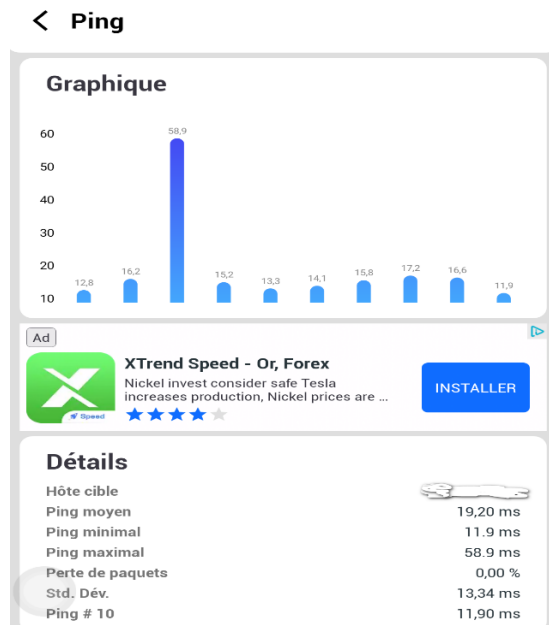


Fig. 6. Execution of Ping on domain N1

Fig. 7 contains information for the performance of domain N2. In this case two packets with extreme values were observed – the slowest of 22.8 ms and the fastest of 7.5 ms. These packets differ from all other values, which were less than 17 ms. The average ping value was 15.38 ms.

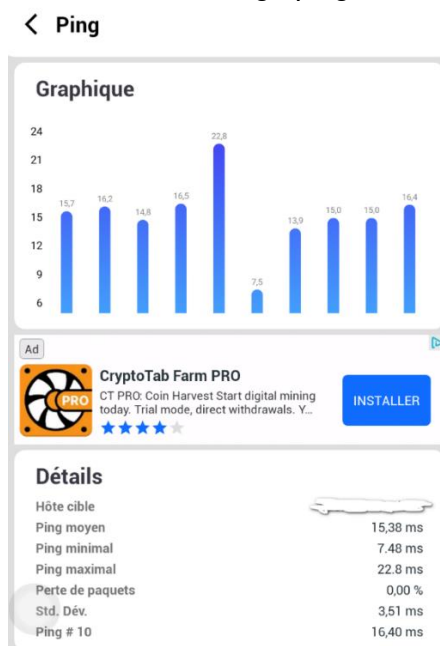


Fig. 7. Execution of Ping on domain N2

On fig. 8 it could be seen the speed information for domain N3. For this test the values of the packets varied. It was observed only one small ping value of 6.31 ms. The others speeds were from 11.8 ms up to 18.4 ms. None of the packets was above 19 ms.

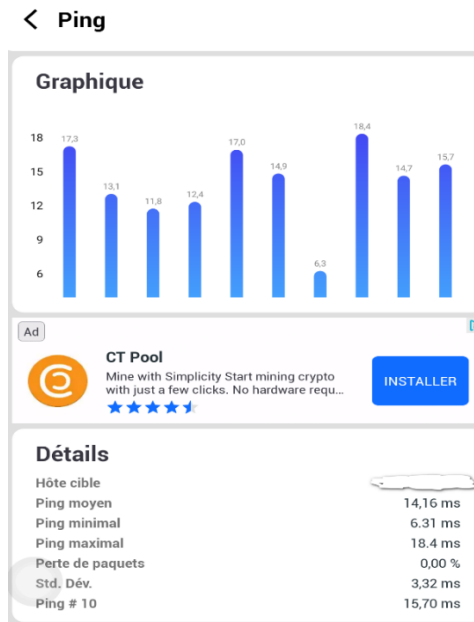


Fig. 8. Execution of Ping on domain N3

Fig. 9 contains data for the performed test of domain N4. The difference between this example and domains NN 2 and 3 was that here were observed two very low ping values - less than 6.5 ms. One high value for the ping was recorded – for packet N4 with speed value of 22.7 ms. In this example, the average ping had value of 14.22 ms.

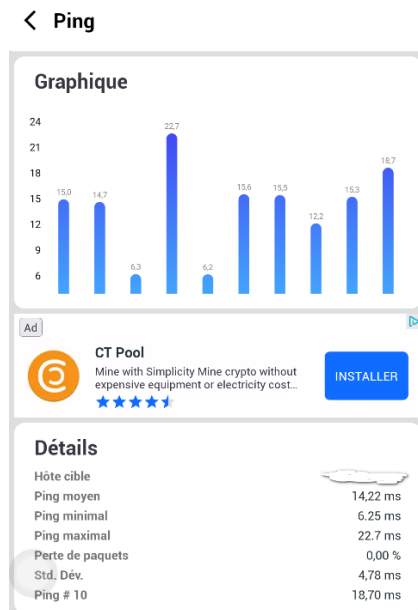


Fig. 9. Execution of Ping on domain N4

The summarized results from the four ping tests are given in table 1. It could be seen the variations of the average values: 19.20 ms, 15.38 ms, 14.22 ms and 14.16 ms. Yet, even taking into account the high ping values for some of the sent/received packets the maximum average ping value was less than 19.5 ms.

Table 1. Results from the ping tests of the four hosts

Host /ping [ms]	A	B	C	D
average	19.20	14.16	15.38	14.22
min	11.90	6.31	7.48	6.25
max	58.90	18.40	22.80	22.70

The calculated average value from the execution of ping was less than 20 ms, in all cases, see table 1. According to [13] this is “good” ping speed. The results show, that the chosen parameters of the VPS were good enough to satisfy the requirements of the geodesists and even high needs for speed of the gamers.

For this specific case the servers seemed to be fast enough and suitable for contemporary (everyday) geodetic activities.

7. CONCLUSION. RECOMMENDATIONS. FUTURE WORK.

This paper was focused on the specific usage of nowadays IT in the area of geodesy. Today, the application of IT simplified the work of the geodesist in the means of e.g.: fast data transfer, storage, backup and share of the measurements and their results, noted in chapter 3.

The described implementation of IT in geodesy includes and is not limited to: GNSS rover, LIDAR instrument, etc. In general, the activities in geodesy and IT today require a wide range of knowledge in various areas, mentioned in chapter 5.

Both the advantages and the disadvantages of IT in this specific case were discussed in details in chapter 5. The listed disadvantages did not worsen in any way the geodetic activities, in contrary, the workflow and reliability were improved.

On one hand the described way of geodetic work required: money, knowledge and time for maintenance. On the other hand, it led ahead to significant improvements like: one man crew, paperless work and possibility to process and share the geodetic information from (almost) anywhere to everywhere. It is supposed, that Internet is available by default. The elimination of paper resulted to:

- green Nature and its preservation;
- reduced crew;
- less money spent (for workforce, paper, etc.).

Connectivity tests, done in chapter 6 and summarized in table 1, proved the excellent speed of the four different domains hosted at three hosting providers. The results could be noted as “good” since the bounds of the good ping for gaming could vary in between 20-50 ms.

The studied workflow, available at reasonable price/s/ nowadays raised the standard of the geodetic work.

Based on: the speed tests, the possibilities of the IT, the contemporary geodetic instruments, it could be strongly recommended the application of today’s IT in the geodetic practice in a smart way.

Future work. The necessary work should be done for improving of the mobile phone coverage in some areas in the country. In this way the need for satellite Internet might not be required.

REFERENCES

Websites

1. hestiacp.com/docs/introduction/getting-started.html
2. nexusurveying.com/blog/significant-impact-of-modern-technology-on-land-surveying
3. okta.com/fr/identity-101/ping-trace
4. www.cisco.com/c/fr_ca/support/docs/ios-nx-os-software/ios-software-releases-121-mainline/12778-ping-traceroute.html#toc-hId-588620750
5. www.constructionbriefing.com/news/what-is-the-future-of-surveying-/8035511.article
6. www.lenovo.com/us/en/glossary/what-is-zip
7. www.metaldetector.com/blogs/new_blog/modern-land-surveying-technology
8. www.propelleraero.com/blog/everything-you-need-to-start-drone-surveying-2
9. www.researchgate.net/publication/322815262_Modern_Geodetic_Technologies_As_a_Basis_of_the_Design_and_Planning
10. www.researchgate.net/publication/340740831_Geodesy_and_modern_technologies

11. www.scalahosting.com/cloud-servers.html
12. www.yellowscan.com/knowledge/drones-for-surveying
13. www.virginmedia.com/blog/gaming/what-is-a-good-ping

SOFTWARE

Desktop software

Nextcloud

Play store apps

DNS checker

Nextcloud

Nextcloud Dev

Server software

Hestia control panel

Nextcloud Beta

Nextcloud Stable

ADDRESS OF THE AUTHOR

Dr.-Eng. Gintcho Kostov

“GEO ZEMIA” Ltd.

Sofia, Bulgaria

41 “Solun” str. ap.9

+359 886 44 55 40

Email: xyz (arobase) 44445555 (at) xyz

Internet www.geodesy.top.

ПРИЛОЖИМОСТ НА ДИСТАНЦИОННИТЕ МЕТОДИ ЗА НАБЛЮДЕНИЕ НА ЗЕМЕДЕЛСКИТЕ СТОПАНСТВА

Д-р инж. Кирил Стоянов, СГЗБ

APPLICABILITY OF REMOTE FARMS MONITORING METHODS

Dr. Eng. Kiril Stoyanov, USLMB

SUMMARY

Remote sensing technologies have become increasingly important in agricultural monitoring, offering farmers and agricultural professionals the ability to gather critical data on crop health, soil conditions, and environmental variables. This paper explores the applicability of remote sensing methods, including satellite imagery, UAV-based data collection, and multispectral imaging in monitoring agricultural holdings. The focus is on how these technologies, when integrated with Geographic Information Systems (GIS) and data processing protocols, can enhance decision-making for small and medium-sized farms. Taken as an example case is the finalized in 2024 project "Introduction of remote methods for planning activities in agriculture". The activities subject of the project presented in the article is related to using data to develop recommendations for management and optimisation of agricultural tasks; efficient, inexpensive and centralized storage, computing and communication methods to support farm management; methods of collecting information about the functioning of equipment and farm resources and making management decisions; algorithms for performing tasks with efficiency and minimal human effort, and accumulating knowledge about technology and machine learning; developing methods of real-time communication between the farm's physical resources, workers, managers, and computing.

Keywords: Remote sensing, UAV, Vegetation indices, Precision agriculture, GIS.

РЕЗЮМЕ

Технологиите за дистанционно наблюдение стават все по-важни в селскостопанския мониторинг, като предлагат на стопаните и селскостопанските специалисти възможността да събират критични данни за състоянието на земеделските култури, почвените условия и факторите на околната среда. Тази статия изследва приложимостта на методите за дистанционно наблюдение, включително спътникови изображения, събиране на данни, базирано на БЛС, и мултиспектрални изображения, при наблюдение на земеделски стопанства. Фокусът е върху това как тези технологии, когато са интегрирани с географски информационни системи (ГИС) и протоколи за обработка на данни, могат да подобрят вземането на решения за малки и средни стопанства. За пример е взет приключилият през 2024 г. проект „Въвеждане на дистанционни методи за планиране на дейности в земеделието“. Дейностите, предмет на проекта, представени в статията, са свързани с използване на данни за разработване на препоръки за управление и оптимизиране на земеделски задачи; ефективни, евтини и централизирани методи за съхранение, изчисление и комуникация в подкрепа на управлението на фермата; методи за събиране на информация за функционирането на оборудването и

ресурсите на стопанството и вземане на управленски решения; алгоритми за изпълнение на задачи с ефективност и минимални човешки усилия и натрупване на знания за технологиите и машинното обучение; разработване на методи за комуникация в реално време между физическите ресурси на фермата, работниците, мениджърите и компютрите.

Ключови думи: дистанционни изследвания, БЛС, вегетационни индекси, прецизно земеделие, ГИС.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Земеделските стопанства са подложени на нарастващ натиск да оптимизират производството, като същевременно поддържат устойчивост. Технологичният напредък в дистанционното наблюдение, съчетан с географски информационни системи (ГИС), предоставя оптимално решение за наблюдение на културите, анализиране на състоянието на почвата и вземане на информирани решения за управление на земеделските стопанства. Методите за дистанционно наблюдение както базирани на спътникови системи, така и на безпилотни летателни средства (БЛС), предлагат на земеделските стопани възможността да наблюдават големи площи, да събират данни в реално време и да анализират условията с по-висока точност от традиционните методи. Целта на тази статия е да проучи приложимостта и предимствата на тези методи в практическото управление на стопанства, особено за прилагането им в малки и средни земеделски стопанства.

2. ТЕХНОЛОГИИ ЗА ДИСТАНЦИОННО ИЗСЛЕДВАНЕ В СЕЛСКОТО СТОПАНСТВО

2.1. Дистанционно изследване с използване на спътникови изображения

Спътниковото дистанционно изследване е широко използван метод за наблюдение на големи земеделски площи. Наличието на безплатни данни от платформи като Sentinel-2 и Landsat 8 прави спътниковите изображения достъпни за дребните земеделски стопани, въпреки че търговските данни с по-висока разделителна способност от доставчици като Planet и Maxar предлагат по-големи детайли за по-висока цена.

Спътниковите изображения предоставят информация за:

- Състоянието на растенията чрез индекси като нормализиран диференциален вегетационен индекс (NDVI);
- Съдържанието на влага в почвата и нейното въздействие върху растежа на културите;
- Класификация на типа на земното покритие за наблюдение на вида култури и промените в използването на земята.

Научната литература подкрепя използването на NDVI и други вегетационни индекси, получени от спътникови данни, като надеждна основа за мониторинг на здравословното състояние на културите и прогнозиране на добива. Например Уанг, Рич, Прайс, Кетъл [2] демонстрират, че NDVI корелира силно с биомасата и добива на царевица и пшеница (използват термина NPP или чиста първична продуктивност), което предполага, че сателитното наблюдение може да се използва за оптимизиране на планирането на реколтата.

2.2. Базирано на БЛС дистанционно изследване

Безпилотните летателни средства (БЛС) или дроне, оборудвани с RGB камери с висока разделителна способност или мултиспектрални сензори, предоставят гъвкаво решение за заснемане на подробни данни за по-малки или специфични участъци от земеделското стопанство. БЛС като WingtraOne GEN II с камерите Sony RX1RII и MicaSense RedEdge-P предлагат съответно RGB изображения с висока разделителна способност и мултиспектрални данни, което позволява подробни оценки на състоянието на културите и приложения за прецизно земеделие.



Фиг. 1. БЛС WingtraOne и DJI Phantom 4 RTK

БЛС предлагат няколко предимства:

- Висока пространствена разделителна способност: БЛС могат да заснемат изображения с точност до един сантиметър, значително надвишавайки разделителната способност, налична от спътникови платформи;
- Гъвкавост: БЛС могат да бъдат разгърнати при поискване, което позволява на стопаните да събират данни, когато е необходимо, като например след буря или по време на ключови фази на растеж;
- 3D картографиране и моделиране на терена: БЛС позволяват създаване на цифров модел на терена Digital Terrain Model (DTM) и цифров модел на повърхността Digital Surface Model (DSM) за оценка на водния отток, нуждите от напояване и планиране на земеползването.

Проучвания, като това на Барбедро [1] подчертават възможностите при наличие на добра разделителна способност и гъвкавостта при използване на БЛС за откриване на ранни признаци на болести, недостиг на хранителни вещества и нашествия от вредители. Тези технологии позволяват бърза намеса, преди да настъпи значителна загуба на реколта, подобрявайки общата производителност на фермата.

2.3. Интегриране на данни от дистанционно наблюдение с Географски информационни системи (ГИС)

Интегрирането на данни от дистанционно наблюдение с ГИС платформи позволява безпроблемното комбиниране на различни източници на данни – сателитни изображения, данни от БЛС и наземни сензорни измервания – в централизирана система. Тази интеграция осигурява следните предимства:

- Пространствен анализ: ГИС дава възможност за картографиране на състоянието на културите във времето и пространството, като проследява тенденциите и пространствените модели в големите стопанства;
- Прецизно земеделие: Данните от дистанционното наблюдение могат да бъдат съчетани с данни за почвата, данни за добиви от предходни сезони и информация за климата, за да се оптимизира прилагането на торове, графика за напояване и управлението на борбата с вредителите;
- Автоматизиране на работните потоци: ГИС платформите с отворен код, като QGIS, комбинирани с инструменти като Google Earth Engine, позволяват автоматизирани работни потоци, при които сателитните данни се обработват редовно и се генерират предупреждения въз основа на специфични прагове (напр. NDVI пада под критично ниво).

Платформите с отворен код позволяват на стопаните с ограничени финансови ресурси да имат достъп до ГИС инструменти, което им позволява да вземат решения, базирани на данни, без значителни финансови инвестиции.

3. ПРАКТИЧЕСКИ ПРИЛОЖЕНИЯ НА ДАННИ ОТ ДИСТАНЦИОННИ И БЕЗПИЛОТНИ СИСТЕМИ ЗА МАЛКИ И СРЕДНИ ЗЕМЕДЕЛСКИ СТОПАНСТВА

3.1. Анализ на разходите и ползите

Докато спътниковите данни от платформи като Sentinel-2 са достъпни безплатно, цената на комерсиалните изображения с висока разделителна способност или БЛС оборудване може

да бъде непосилна за по-малките фермери. БЛС системите, като WingtraOne GEN II, изискват значителна предварителна инвестиция, въпреки че способността им да предоставят подробни данни и данни при поискване често води до дългосрочни спестявания чрез намаляване на входните разходи и подобряване на добивите чрез техники за прецизно земеделие. В своята статия Жанг и Ковач [3] дискутират рентабилността и потенциални ползи от БЛС в прецизното земеделие, включително в мониторинга на добивите и оценка на здравословното състояние на културите. В това и други проучвания се разглеждат разходите за използване на БЛС, като опитът показва, че разходите се намаляват с увеличаване на наблюдаваните площи.

3.2. Достъп и обработка на данни

Достъпът до спътниковите данни вече е по-лесен от всякога чрез платформи, като Google Earth Engine, които позволяват на потребителите да обработват широкомащабни данни от дистанционно наблюдение, без да се нуждаят от мощни изчислителни ресурси. Предизвикателството се крие в обработката на данни от БЛС, което изисква специализиран софтуер (напр. Pix4D или Agisoft Metashape) за фотограметрия и мултиспектрална обработка на изображения.

Инструменти с отворен код като Orfeo ToolBox и SNAP (платформата за приложения Sentinel на ESA) предлагат алтернативи на частния софтуер, позволявайки на потребителите да обработват спътникови и изображения от БЛС безплатно, въпреки че често изискват повече технически познания.

3.3 Примери за практическо приложение на технологиите за дистанционни изследвания в селското стопанство

Няколко случая от научната литература демонстрират практическото приложение на технологиите за дистанционно изследване в малки и средни земеделски стопанства:

- **Матезе и ди Дженоаро** [4] разглеждат възможностите на самолетното заснемане или използването на БЛС с различни видове ad-hoc създадени сензори за съответните изследвания, специално в областта на лозарството. Обръщат внимание и на използването на наземни сензори, включително такива, които да проследяват почвени процеси. Комплексът от изследвани методи цели по-качествено и автоматизирано управление на процесите в лозарството, включително прецизно управление на наземните машини;
- Учените Лоубел, Тау, Сайферт, Енгел и Литъл [5] разглеждат метод наречен Scalable Satellite-Based Crop Yield Mapper (SCYM) – мащабируем сателитно базиран картограф на добивите на културите, използва симулации на модели на културите, за да обучи статистически модели за различни комбинации от възможни дати за получаване на изображения и те след това се прилагат към Landsat и данните за времето в решетка в рамките на платформата Google Earth Engine, където Landsat е използван така, че да намери „най-добрите“ дати на наблюдения, разглеждайки пиксел по пиксел. SCYM успешно изчисляват значителна част от вариациите на добива на царевица през всички изследвани години, в диапазон от 14 – 58% и средно 35% за конкретен изследван регион и култура. Подобни резултати са наблюдавани за соята, като са изчислени средно 32% във вариациите на добива.

Тези проучвания подчертават приложимостта на технологиите за дистанционно наблюдение за оптимизиране на практиките за управление на земеделски стопанства, дори за дребни стопани.

4. ПРИЛАГАНЕ НА ДИСТАНЦИОННИ МЕТОДИ В ПРОЕКТ "ВЪВЕЖДАНЕ НА ДИСТАНЦИОННИ МЕТОДИ ЗА ПЛАНИРАНЕ НА ДЕЙНОСТИТЕ В ЗЕМЕДЕЛИЕТО"

По време на изпълнението на проекта бяха проведени серия от полеви и дистанционни изследвания на факторите на околната среда – води, климат, почви, отглеждани култури, чрез

достъпни методи — въздушни (с БЛС) и спътникови измервания, почвени анализи чрез традиционни методи, сензорни климатични и почвени измервания, някои от тях интегрирани в ГИС, софтуерни продукти за анализ и машинна обработка. След анализите бяха създадени стратегия и методика за масово прилагане на ценово достъпни предложения за дребните и средни земеделци, комбинация от методи за дистанционен контрол върху стопанствата, които да намалят нуждата от човешка намеса. Обектите на изследвания са разположени в обл. Стара Загора, общ. Николаево, с. Едрево и с. Паничерево.

4.1. Почвени пробовземания по традиционни методи

Пробовземанията са извършени от научен екип от Институт по почвознание, агротехнологии и защита на растенията (ИПАЗР) "Н. Пушкиров". Почвените проби са обработени в лабораторията на института, като са използвани следните анализи и методики:

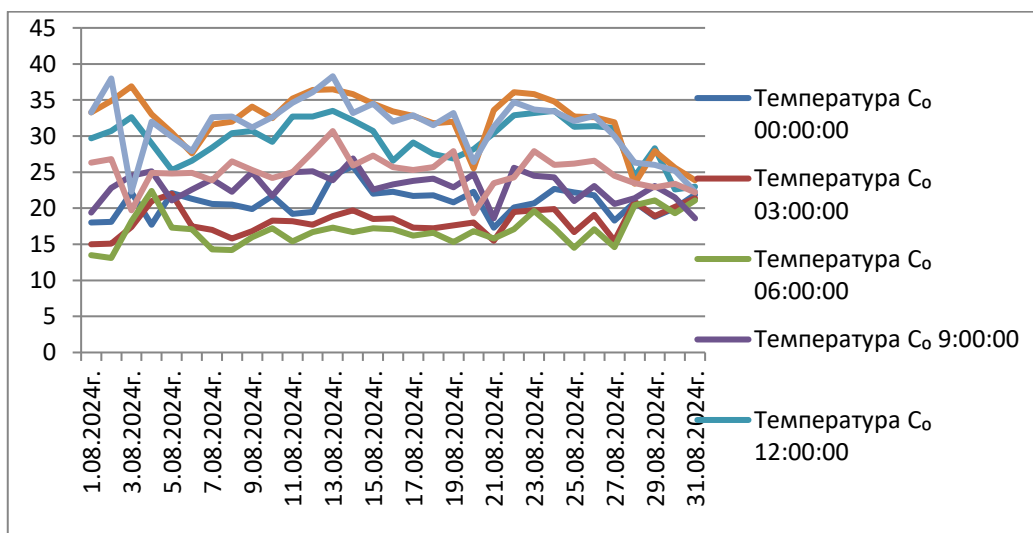
- Физико-химичен анализ на почвите е извършен по утвърдена методика на Ст. Ганев и А. Арсова [6]. Изследвани са следните характеристики: pH/H₂O; Mequ/100gra (T_{8.2}, T_{CA}, T_A, H_{8.2}, Обм. Al, Обм. Ca, Обм. Mg; B% от T_{8.2}(T_{CA}, T_A, H_{8.2}, Обм. Al, Обм. Ca, Обм. Mg;
- Агрохимичен анализ на почвени проби от землищата на селата Едрево и Паничерево, обл. Стара Загора. Изследвани са следните параметри: pH (H₂O/KCL); Σ N-NH₄+NO₃(mg/kg); P₂O₅(mg/100g); K₂O (mg/100g); Хумус (%).

На база извършените по-рано анализи на почвени проби екипът на ИПАЗР направи относителна оценка (бонитировка) на земеделските земи в границите на изследваните имоти от землищата на селата Едрево и Паничерево, обл. Стара Загора. Изготвен е доклад, представящ същността на бонитетната оценка, методиката, по която се извършва оценката, както и основните етапи на оценката. Включени са и извлечения от самата бонитетна оценка, както и крайната бонитетна класификация (категоризация и групиране) на оценяваните земи.

Посочени и описани са всички почвени характеристики и климатичните корекционни коефициенти, имащи отношение към бонитетната оценка. Съставени са таблици за 5 от общо 7 почвени различия, определена е категорията на земеделската земя и са направени съответните заключения за пригодността на отделните почвени различия за отглеждането на 16 основни земеделски култури.

4.2. Изследване на агроклиматични условия

По време на проекта са събирани ежедневни данни за метеорологични явления чрез достъпни интернет източници. Инсталирана е мобилна метеорологична станция, която отчита температура, влажност, сила на вятъра и т.н. Данните от различните източници са внасяни в електронни таблици. Изготвени са подробни сравнителни анализи между интернет ресурса и метеостанцията на терен, за целия период на проекта. Екипите по проекта са запознавани освен с тези данни, така и със съдържанието на ежемесечните метеорологични бюлетени на Национален институт по метеорология и хидрология (НИМХ). Извършена е работа по усъвършенстването на таблици и графики за анализ на климатичната информация, с цел намиране на оптимални методи за дългосрочното архивиране на данните. Добавени са и данни, генерирани от ресурси на National Aeronautics and Space Administration (NASA). Извършена е работа по установяване на зависимости между дистанционни и наземни данни. Изготвени са сравнителни таблици и графики на климатичните показатели, като резултат от проекта.



Фиг. 2. Графика температури при пилотния обект за мес. август 2024 г.

4.3. Използване на БЛС и спътникови данни

4.3.1. Използване на БЛС

За заснеманията е направена външна поръчка, поради липса на средства по проекта за тази дейност. Използвани са БЛС DJI Phantom 4 RTK и БЛС WingtraOne GENII (като основно), като се използва камера със сензор – 1" CMOS и ефективна разделителна способност 20 мегапиксела; камера Sony RX1RII, с разрешителна способност 42 мегапиксела; Мултиспектралната камера е MicaSenseRedEdge-P — Син (475 nm center, 32 nm bandwidth), — Зелен (560 nm center, 27 nm bandwidth), — Червен (668 nm center, 14 nm bandwidth), — Червен граничен (717 nm center, 12 nm bandwidth) — близко до инфрачервен (842 nm, center, 57 nm bandwidth) — панхроматичен, с висока резолюция сензор RGB за създаване на изображения и RGB изход.

По отношение на управление на БЛС бяха използвани следните продукти:

- DJI Assistant 2 ForPhantom 2.0.10 – за компютър;
- DJI Flight Simulator Launcher - за компютър;
- DJI Pilot – за смартфон;
- DJI GO 4 — за смартфон.

За обработката на изображенията се използват следните софтуерни продукти:

- DJI Terra v.3.1.4;
- Pix4D Fields;
- Pix4D Mapper

Обработката на изображенията се извърши чрез описаните софтуерни продукти, с работна станция от ново поколение. Въпреки това, бе установено, че сегашните хардуерни продукти не отговарят на количеството информация, което се произвежда от камерите на БЛС и я обработват бавно. Бяха проведени срещи с управлението на българския суперкомпютър за бъдещо сътрудничество по обработка на изображения.

Обработените данни бяха предоставени на научния екип под формата на pdf файлове за съответните етапи. Липсата на финансиране по проекта за провеждане на облитанията създаде пречки пред организацията на тези процеси, но те бяха преодоляни от проектния екип.

4.3.2. Използване на спътникови данни, чрез платформа EOSDA LandViewer Overview

EOSDA LandViewer е облачна платформа, предназначена за лесен достъп и анализ на спътникови изображения. Разработена от EOS Data Analytics (EOSDA), платформата е лесна за употреба и предлага широк набор от функционалности за преглед, обработка и анализ на спътникови данни без необходимост от напреднали технически умения или хардуер. EOSDA LandViewer предоставя цялостна и лесна за употреба платформа за използване на спътникови

данни в селското стопанство. С широка гама от селскостопански индекси, като NDVI, EVI, SAVI и други, фермерите могат да получат достъп до практическа информация за състоянието на културите, почвените условия и наличието на вода. Интеграцията на платформата с мултиспектрални данни и нейната способност да борави както с данни в реално време, така и с исторически данни, я правят ценен инструмент за прецизно земеделие и практики за устойчиво земеделие.

Основни характеристики на EOSDA LandViewer:

Достъп до набори от множество спътникови данни — Предоставя изображения от различни спътници, включително Sentinel-2, Landsat 8, MODIS и PlanetScope. Това го прави полезен за наблюдение на различни мащаби на земното покритие, от глобални тенденции до подробни местни оценки.

Данни в реално време и исторически данни — Позволява на потребителите достъп както до данни в почти реално време, така и до разновременни изображения, което позволява дългосрочно наблюдение на промените в използването на земята, състоянието на културите, водните ресурси и др.

Инструменти за обработка на данни — Потребителите могат да прилагат вградени алгоритми за обработка на изображения, като комбинации от ленти (напр. естествени цветове, условни цветове) и растерни анализи, за да извлекат представа от данните. Платформата предоставя адаптивни индекси и поддържа мултиспектрален и хиперспектрален анализ.

Визуализация и изтегляне — След като спътниковите данни бъдат обработени, потребителите могат да визуализират резултатите, да създават персонализирани отчети и да изтеглят данни в различни формати (напр. GeoTIFF, PNG, JPEG) за допълнителен анализ или представяне.

Селскостопански индекси в EOSDA LandViewer:

EOSDA LandViewer включва няколко важни селскостопански индекса, извлечени от спътникови изображения. Тези индекси помагат на фермери, изследователи и агрономи да наблюдават условията на културите, да оценяват състоянието на растителността и да вземат решения в селското стопанство, базирани на данни. По-долу са някои от ключовите селскостопански индекси, налични на платформата:

Нормализиран диференциален вегетационния индекс (**NDVI**) — Един от най-често използваните индекси в селското стопанство, NDVI измерва разликата между близката инфрачервена (която растителността силно отразява) и червената светлина (която растителността поглъща). Той дава добра индикация за наличието на биомаса и състоянието на растителността.



Фиг. 3. Използване на NDVI в пилотния обект

- Случай на използване: NDVI обикновено се използва за наблюдение на състоянието на растенията, оценка на жизнеността на културите, откриване на стрес от суша и проследяване на етапите на растеж на културите;
- Източник на данни: Наличен от сателити като Sentinel-2 и Landsat 8.

Подобрен вегетационен индекс (EVI)

- Описание: EVI е подобрена версия на NDVI, която коригира някои от атмосферните условия и фоновия шум на склопа. Той е особено ефективен в райони с гъста растителност и може да различи здрави и стресирани растения.

- Случай на използване: EVI се използва за наблюдение на гъста растителност, оценка на състоянието на залесените площи и оптимизиране на земеделските практики при култури с висока биомаса.

Нормализиран воден индекс на разликата (NDWI)

- Описание: NDWI се използва за наблюдение на съдържанието на вода в растителността или влажността на почвата. Той е полезен за проследяване на водния стрес на културите, нуждите от напояване и условията на суша.

- Случай на използване: Земеделските стопани могат да използват NDWI, за да оценят ефективността на напояването, да открият ранен стрес от засушаване и да наблюдават наличието на вода.

- Алтернатива: Има и mNDWI (модифициран NDWI), използван за установяване на открити водни източници.

Коригиран спрямо почвата вегетационен индекс (SAVI)

- Описание: SAVI е растителен индекс, подобен на NDVI, но включва коефициент за корекция на яркостта на почвата, което го прави подходящ за райони с рядка растителност и висока видимост на почвата.

- Случай на използване: Полезен при наблюдение на културите в ранния сезон, особено в сухи и полусухи региони, където се вижда гола почва.

Нормализирано съотношение на изгаряне (NBR)

- Описание: NBR се използва за наблюдение на тежестта на изгаряне в растителността след пожари. Изчислява се от близки инфрачервени и късовълнови инфрачервени ленти, предоставяйки представа за степента на загуба на растителност.

- Случай на използване: Въпреки че се използва предимно за оценки след пожар в селското стопанство, той може да бъде адаптиран и за откриване на стрес в културите поради топлина или щети от пожар.

Индекс на листната площ (LAI)

- Описание: LAI количествено определя количеството листен материал в дадена област, предоставяйки оценка на гъстотата на короната на културата.

- Случай на използване: LAI се използва за оценка на растежа на културите и прогнозиране на потенциала за добив, което го прави важен за оптимизиране на използването на входящи ресурси (напр. вода и торове).

- Източник на данни: Изисква мултиспектрални или хиперспектрални данни за точно измерване.

Индекс на хлорофила (CIзелен и CIRedEdge)

- Описание: Този индекс измерва съдържанието на хлорофил в растенията, което е важен индикатор за здравословното състояние на културите, фотосинтетичната активност и състоянието на хранителните вещества.

- Случай на използване: CI често се използва за прецизно земеделие за наблюдение на дефицита на хранителни вещества и насочване на прилагането на торове.

Приложения в селското стопанство

Селскостопанските индекси, налични в EOSDA LandViewer, предлагат широка гама от приложения в управлението на ферми:

- Мониторинг на състоянието на културите: Използвайки индекси като NDVI и EVI, фермерите могат да наблюдават състоянието на културите във времето, да откриват стреса рано и да коригират интервенции като торене или напояване;
- Прецизно земеделие: Интегрирането на множество индекси позволява по-ефективно използване на ресурсите (напр. вода, торове) чрез насочване към специфични области на фермата, които изискват внимание;
- Откриване на суша и воден стрес: Индекси като NDWI и SAVI помагат при наблюдение на почвената влага и условията на суша, което позволява навременни корекции на напояването;
- Оценка на добива: Комбинирането на индекси във времето дава възможност за прогнозиране на потенциала за добив на културите, позволявайки по-добро планиране и пазарни решения.

5. ИЗВОДИ, ПРЕПОРЪКИ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Като резултат от направените изследвания се дават следните препоръки за работа с дистанционни измервания в земеделските стопанства:

Да се използват протоколи за обработка на данни за дистанционно наблюдение: Ефективно обработване на спътникови изображения, данни от БЛС и сензорни измервания. Планиране на полети, организация на работа, обработка на данни и съображения за разходите за генериране на опростени визуални формати (напр. JPG, PNG, PDF) и индекси за селскостопанска употреба.

Да се въведе ГИС-базирана интеграция на данни: Протоколи за комбиниране на данни от различни източници, като спътникови изображения, измервания от БЛС и наземни сензори, в Географски информационни системи (ГИС), за да се създаде цялостен, интегриран поглед върху условията в стопанството.

Да се въведат унифицирани дневници на стопаните при извършване на земеделски операции: Унифицираните дневници свързват традиционните земеделски практики със съвременните методи за запис на данни, за да подобри вземането на решения.

Да се събират и обработват данни от климатични наблюдения: Предлагат се практически и модерни подходи за събиране и анализиране на климатични данни, включително и за създаване на метеорологични модели и влажност на почвата, и прилагане на тези наблюдения за оптимизиране на управлението на културите.

Да се изготви анализ на разходите и ползите от технологиите за дистанционно наблюдение: Този анализ помага на земеделските стопани и професионалистите в областта да оценят инвестицията спрямо потенциалните печалби в реалното производство.

Да се разработи удобна за потребителя ИКТ платформа: Подчертава се значението на удобния за потребителя дизайн, достъпността на данните и интегрираните инструменти за вземане на решения от земеделските стопани.

Да се направи план за достъп до спътникови данни: Необходим е текущ преглед на наличието на спътникови данни както безплатни, така и търговски, и как стопаните могат да използват този ресурс за наблюдение на фермите, вземане на решения и оптимизиране на разходите.

Да се прилагат протоколи за наблюдения в земеделски стопанства с технологии за БЛС: Подробни протоколи за използване на усъвършенствани технологии за БЛС, като дрон WingtraOne GEN II, оборудван с RGB и мултиспектрални камери с висока разделителна способност за наблюдение на стопанства и събиране на данни. Това включва режими на работа, работни процеси за обработка на данни и изчисляване на вегетационни индекси като NDVI и NDRE за прецизно земеделие.

Технологиите за дистанционно изследване на земеделските стопанства имат безспорни предимства. Независимо дали чрез свободно достъпни спътникови данни или базирани на БЛС изображения с висока разделителна способност, тези методи предлагат ценна представа за състоянието на културите, почвените условия и факторите на околната среда, които са от решаващо значение за модерното, основано на данни, управление на земеделските стопанства. Въпреки че разходите остават предизвикателство за по-малките стопани, нарастващата наличност на инструменти и платформи с отворен код прави възможно дори производителите с ограничени ресурси да се възползват от тези напреднали технологии. Бъдещето на селскостопанския мониторинг е в непрекъснатото развитие и интегрирането на дистанционното изследване с други източници на данни за стопанствата, което позволява прецизно земеделие и устойчиви практики в различни по мащаб производства.

6. ЛИТЕРАТУРА

1. Barbedo, J.G.A.(2019) A review on the use of unmanned aerial vehicles and imaging sensors for monitoring and assessing plant stresses. *Drones* 2019, 3, 40
2. Wang J., Rich P., Price K., Kettle W.(2005) Relation between NDVI, Grassland production, and Crop Yield in Central Great Plains
3. Zhang, C., & Kovacs, J.M. (2012). The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: A review. *Precision Agriculture*, 13(6), 693-712
4. Matese, A., Di Gennaro, (2015) Technology in precision viticulture: A state of the art review, *International Journal of Wine Research* 7 (1), 38, 69-80.
5. Lobell, D.B., Thau, D., Seifert, C., Engle, E., & Little, B. (2015). *A scalable satellite-based crop yield mapper*. *Remote Sensing of Environment*, 164, 324-333.
6. Ганев, С., А. Арсова. 1980. Методи за определяне на силно киселинния и слабо киселинния катионен обмен в почвата. *Почвознание и агрохимия*, год. V, № 3, 22-33

Полезни връзки:

<https://earthengine.google.com/>

<https://www.pix4d.com/>

<https://www.agisoft.com/>

<https://www.orfeo-toolbox.org/>

<https://earth.esa.int/eogateway/tools/snap>

<https://eos.com/products/landviewer/>

АДРЕС НА АВТОРА

Д-р инж. Кирил Стоянов

Съюз на геодезистите и земеустроителите в България

e-mail: kirilstoianov_maf@yahoo.com

КОСМИЧЕСКА СЕИЗМОЛОГИЯ

Проф. д-р инж. Бойко Рангелов, МГУ

SPACE SEISMOLOGY

Prof. Dr. Eng. Boiko Rangelov, MGU

SUMMARY

Space seismology is a new emerging discipline in space science. It studies the seismic events on extraterrestrial bodies. The typology of the different seismic events observed on the Earth, The Moon, and Mars, is presented. Despite the origin of seismic events on the terrestrial bodies being expected to be similar, the missions to the Moon and Mars equipped by seismological equipment, show significant differences in the space-time distribution of the seismicity, as well as the sources of the Moonquakes and Marsquakes. The conclusion is that we have rather limited knowledge about the seismic processes on the other terrestrial objects, than on the Earth.

Keywords: Space seismology, Earthquakes, Moonquakes, Marsquakes.

РЕЗЮМЕ

Космическата сеизмология е нововъзникваща дисциплина в космическата наука. Изучава сеизмичните събития върху извънземни тела. Представена е типологията на различните сеизмични събития, наблюдавани на Земята, Луната и Марс. Въпреки че произходът на сеизмичните събития върху земеподобните тела се очаква да бъде подобен, мисиите до Луната и Марс, оборудвани със сеизмологично оборудване, показват значителни разлики в пространствено-времето разпределение на сеизмичността, както и източниците на лунните земетресения и марсотресенията. Изводът е, че имаме доста ограничени познания за сеизмичните процеси върху другите земеподобни обекти, отколкото за Земята.

Ключови думи: космическа сеизмология, земетресения, лунотресения, марсотресения.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Сеизмичните събития се характеризират с внезапно разрушаване на средата, изграждаща земеподобните космически тела (в частност на Земята, Луната и Марс).

Земетресенията, лунотресенията и марсотресенията са ясен израз на освобождаването на напрежения в обвивките на твърдите космически тела [1]. Благодарение на това свойство, тези сеизмични събития, генерират сеизмични вълни, които са най-важният източник на информация за вътрешната структура на планетите и техните спътници (ако са твърди тела) и съответната динамика на тяхната геологична еволюция.

Всички проучвателни мисии до Луната и Марс включват сеизмични изследвания. Те са успешни и предоставените данни показват очаквани прилики и изненадващи разлики на

регистрираните сеизмични събития [1]. Сравненията на тези прилики и разлики са важни и могат да помогнат за разбирането на сеизмичните процеси при космическите изследвания на земеподобните тела.

Основната цел на настоящето изследване е установяването на подобия и различия, включително в типологията; приликите и разликите на земетресенията, лунотресенията и марсотресенията.

Сеизмичните вълни биват обемни (Р-първични и S-вторични) и повърхностни вълни (на Raleigh и Love – наречени на техните откриватели). Тези различни видове вълни се регистрират от сеизмографи с различна пропускаща честотна лента (широколентови, краткопериодични, акселерометри и др.) върху сеизмограмата и влизат също в опашката на сеизмограмата наречена „кода“. Регистрацията на всички видове сеизмични вълни с последващата обработка и интерпретация са основният източник за вътрешния строеж на космическите тела и тяхната геодинамична еволюция.

2. СЕИЗМИЧНИ СЪБИТИЯ НА ЗЕМЯТА (ЗЕМЕТРЕСЕНИЯ)

Земетресенията биват:

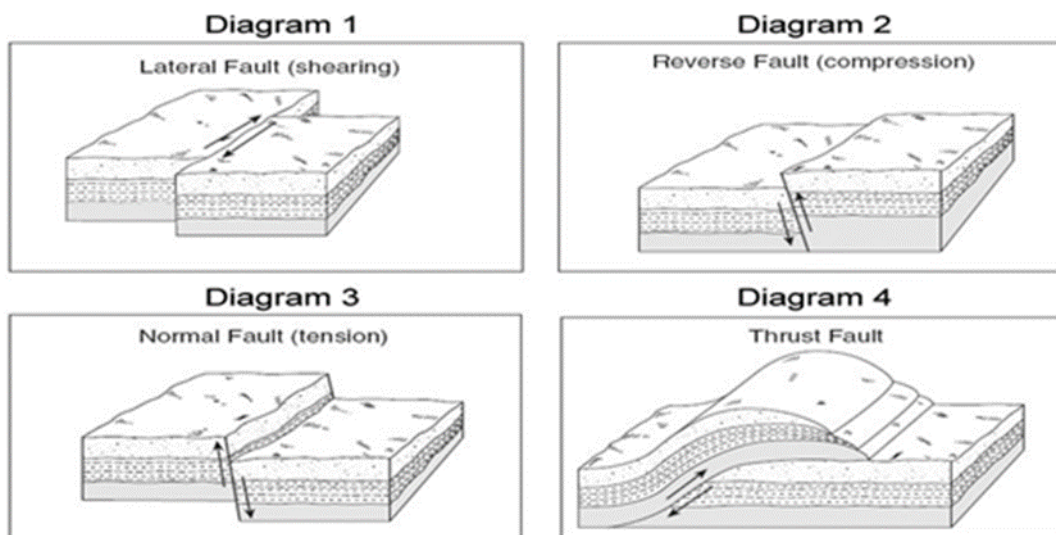
- Тектонски земетресения – дължащи се на тектоничните сили при различен геодинамичен режим: разширение (в рифтовите зони) – образуват нормални разломи; компресия (зони на субдукция) – предизвикват т.н. възседни разломявания; хоризонтални взаимодействия между тектонски плочи (трансформни разломи) – генерират хоризонтални размествания в големи размери; хоризонтално приплъзване на огромни скални слоеве – произвежда листрични разломи. Възможни са и всички комбинации от гореописаните, свързани с освобождаването на натрупаните тектонски напрежения – фиг.1 [2]. Тектонските земетресения генерират над 90% от всички сеизмични събития на Земята.

Вулканични земетресения – рояци от земетресения, генерирани от движения на магмата в магмената камера на активните вулкани. Съставляват около 5%.

- Обрушителни земетресения – поради огромни срутвания в пещери и мини. По-малко от 1%.

- Земетресенията на приливите и отливите – поради приливите и отливите на Земята, генерирани от гравитационните ефекти Слънце-Луна, върху твърдата земя. Обикновено са слаби и се проявяват с различна активизация.

- Метеоритни удари – (Ударни кратери - астроблеми) - предимно запазени древни кратери. Над 200 големи астроблеми са открити на повърхността на Земята.



Фиг. 2. Движения на тектонските земекорни блокове по различни видове разломи, предизвикващи земетресения

- Предизвикани земетресения – поради човешка дейност – пълнене на язовири, взривове (включително ядрени експлозии), извличане или изпомпване на течности, разрушаване на скали, хидравличен фрактинг и др.) – 3-4%.

Земетресенията условно се разделят по дълбочина в зависимост от възникването им на „плитки“ (дълбочини между 0 и 33 km – в земната кора), „междинни“ (дълбочини между 33 и 300 km) и „дълбоки“ (между 300 и 760 km) в земната мантия. Силата на земетресенията обикновено се измерва по магнитудната скала на Рихтер.

3. СЕИЗМИЧНИ СЪБИТИЯ НА ЛУНАТА (ЛУНОТРЕСЕНИЯ)

По време на мисиите „Аполо“ и сеизмичните регистрации на Луната са получени изненадващи резултати за лунотресенията [1]. Според дълбочината на възникване те са разделени на „дълбоки“ и „плитки“ лунотресения и според произхода си биват:

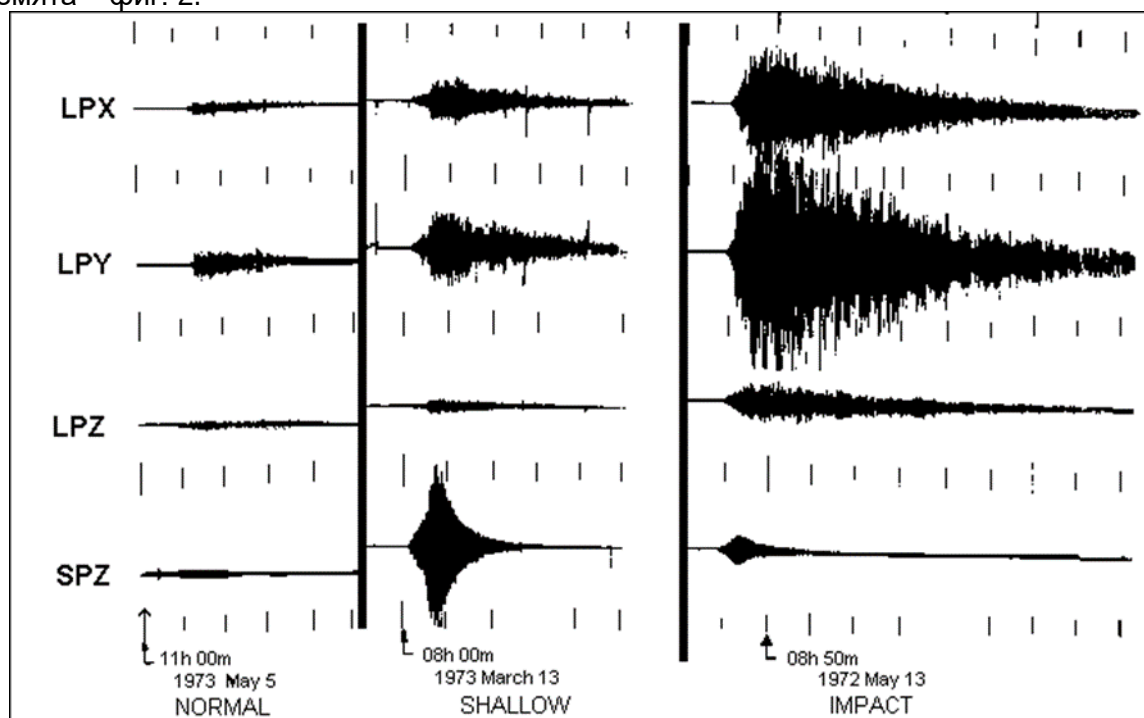
- Естествени лунотресения - дълбоки и плитки. Смята се, че дълбоките лунни земетресения (~700 km под повърхността) вероятно имат приливен произход. Плитки лунни трусове (50–220 km под повърхността), някои от тях на дълбочина до 30 km. Плитките лунни трусове са настъпили в интервала на дълбочина 30-200 km – в горната част на мантията, но не и в кората на Луната. Произходът не е много ясен (учените предполагат, че се дължат на свиването на Луната по време на охлаждането на вътрешността на спътника). Съществува относително сходство с вътреплочовите земетресения и тяхното възникване. Спадът на напрежението е огромен – най-вероятно поради разрушаването на скалното вещество в дълбоката вътрешност на Луната. Няма връзка между приливите и плитките лунни трусове.

- Термични лунотресения (хладната лунна кора се разширява, когато слънчевата светлина се върне след двуседмичната лунна нощ). Важна е термичната зависимост за термичните лунни трусове, дължащи се на изгрева и залеза. Температурните промени на повърхността са от порядъка на $+120^{\circ}\text{C}$ до -130°C . Сеизмичните събития, дължащи се на ефекта на нагряване-охлаждане, стават на много малки дълбочини, имат ниски магнитуди и нисък очакван интензитет. Излъчват сравнително краткотраен сеизмичен сигнал.

- Вибрации при удар на метеорит (генерирани от ударите на метеоритите върху повърхността на Луната). Регистрирани са 11 удара на метеорити над 1 тон [3].

- Изкуствено генерирани сеизмични събития чрез взривове и човешки удари. Извършени са общо 9 активни изкуствени сътресения (удари от лунен модул, взривове или човешки удари). Изкуствено генерирани сеизмични вълни са направени в два специално проектирани активни експеримента на мисията „Аполо 17“. Единият от тях използва линейно разположение на 3 широколентови сеизмометъра на разстояния 45,7 m. Другият покрива зона с триъгълна форма от 4 геофона (скоростомери) с разстояния от 50-60 m между тях [4].

Важно е да се отбележи, че сеизмичните сигнали затихват в пъти по-бавно, отколкото в Земята – фиг. 2.



Фиг. 2. Лунотресения с различен произход – термични (вляво), плитки (в средата) и ударни (вдясно)

Това означава, че качественият фактор на лунната среда, характеризиращ затихването на вълните, е по-висок от този на Земята. Имайки предвид факта, че повърхностният минерален състав е доминиран от анортозит (богат на калций алумосиликат), това означава, че Луната звучи като гигантска стъклена сфера, резонираща на сеизмичните вълни много по-интензивно, отколкото това става на Земята. Ето защо сеизмичните вълни затихват по-малко, отколкото на Земята, а „кода“ вълните са много по-продължителни на сеизмограмите на лунотресенията. Силата на лунните трусове обикновено се измерва по скалата на Рихтер, калибрирана спрямо земните условия. Наблюдаваните лунни трусове са били предимно под 3 по скалата на Рихтер; най-силните регистрирани сеизмични събития на Луната са с магнитуд между 5 и 5,7 (M_{max}).

Плитките лунни трусове са регистрирани с магнитуд до 5,5. Между 1972 и 1977 г. са наблюдавани общо 28 плиткни лунотресения – по-малко от всички останали.

Дълбоките лунотресения обикновено стават в рамките на изолирани петна с километричен размер, понякога наричани гнезда или клъстери. Мощностният спектър на вибрациите им е в честотната област 0.5-8 Hz. Високият скок при освобождаване на напреженията е типичен за всички видове лунотресения.

4. СЕИЗМИЧНИ СЪБИТИЯ НА МАРС (МАРСОТРЕСЕНИЯ)

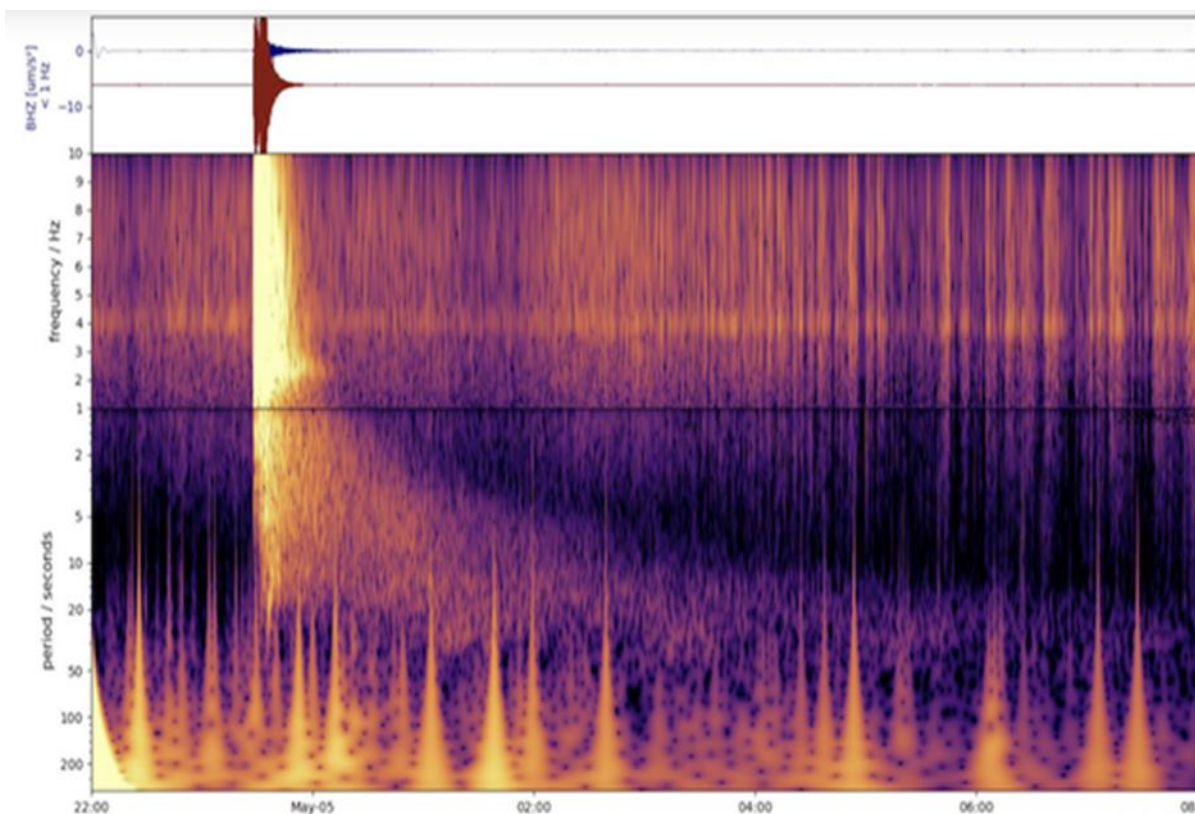
Марсотресенията са регистрирани основно от мисията на НАСА „InSight“. Има данни за над няколко стотици трусове, някои от тях с максимални магнитуди около 4 - 4,7. Регистрирани са общо над 1 500 трусове. За сравнително краткия период на мисията „InSight“ този брой сеизмични събития показват, че Марс е умерено сеизмично активна планета – много по-активна от Луната (с изключение на дълбоките лунни трусове), но по-малко активна от Земята. Като цяло честотната област на регистрираните сеизмични вълни е между 0,4 - 1,0 Hz и 0,2 - 0,4 Hz. Това означава доминиране на относително ниски честоти и бързо затихване на високочестотните сеизмичните сигнали. До днес е регистрирана само сеизмичност генерирана в кората на Марс. Тези сеизмични събития бяха използвани като цяло, за да се докаже, че дълбоката вътрешност на Марс показва много подобна на земната марсодинамика – разтопено ядро, твърда мантия, активна кора с много бивши и активни вулкани.

Сеизмичните събития с висока честота обикновено са свързани с екстензионната марсодинамика и са по-плитки. Нискочестотните трусове най-често са свързани с компресионен режим. При всички земетресения се смята, че механизмът на генериране се дължи на охлаждащия ефект на планетата, който все още е в процес на развитие, а марсотресенията се привързват към видими разломи и разломни структури, регистрирани на повърхността на Марс.

Най-силното регистрирано до момента марсотресение е с магнитуд 4,7 по Рихтер и предизвиква вибрации, отекващи през планетата в продължение на поне шест часа. То е записано от спускаемия апарат „InSight“ на НАСА на 4 май 2022 г. – фиг. 3. Това сеизмично събитие се счита за много силно за условията на Марс.

Натрупванията на напрежения се разглеждат като резултат от милиарди години планетарна еволюция, включително охлаждането и свиването на различни части на планетата с различна скорост. Все още не е напълно ясно, защо някои части на планетата изглежда имат по-висока концентрация на напрежения от други. Един ден тази информация може да послужи за да се разбере къде би било по-безопасно за хората да живеят на Марс и кои райони биха искали да избягват!

Два огромни удара от метеорити са регистрирани от сеизмометъра „InSight“ [8], доказвайки разпространението на повърхностните сеизмични вълни, които са за първи път документирани на друга планета [8]. Силата на марсотресенията обикновено се измерва по скалата на Рихтер, калибрирана спрямо земните условия.



Фиг. 3. Запис на марсотресението от 4 май 2022 г. (M4.7) с амплитудно-честотен спектър [7]

5. СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ НА СЕИЗМИЧНИТЕ СЪБИТИЯ

За използване на описаната по-горе типология е направена таблица с основните параметри на наблюдаваните и регистрирани сеизмични събития – Табл. 1.

Таблицата представя основните сеизмологични параметри, фокусирани върху генезиса на сеизмичните събития, тяхната дълбочина на реализация, магнитуда и процента на сеизмичните регистрации на Земята, Луната и Марс.

Съвременните регистрации на лунотресения и марсотресения показват много прилики и още повече разлики. Като цяло всички сеизмични събития на Земята, Луната и Марс се дължат на освобождаването на натрупаните напрежения в твърдите обвивки на Земята и другите два извънземни обекта. Във всички случаи, сеизмичните вълни се разпространяват през субстрата на планетите и Луната и са основен източник на информация за дълбоката вътрешност на изследваните тела.

Концентричната структура на Земята, Луната и Марс, установена от разпространението на сеизмичните вълни и потвърдените различни обвивки на изследваните тела, разкриват структурата и заедно с другите естествени физически полета (като магнитни, гравитационни, радиоактивни и топлинни), дават възможност за сравняване и изследване на формата на вътрешния строеж и по-подробно изучаване на динамиката в дълбочината структура на телата – фиг. 4.

Таблица 1. Типология на сеизмичните събития от всички видове и техните основни сеизмологични свойства.

Основни параметри / Тип сеизмични събития	Източник	Дълбочина [km]		Магнитуд (Mmax), Рихтер	~ % от регистрациите
Земетресения:					

тектонски	Тектонични сили	0 – 780		-1 до 9,6	95–96
вулканични	Вулканична активност	0 – 3-5		1 до 5-6	2–3
срутищни	Пещери, рудници	0–1		1 до 4-5	0.3
приливни	Слънце-Луна гравитация	0–10		0 до 3-4	0,2
метеоритни	Удар	0–0,5		3 до 5	0,1
индуцирани	Човешки фактор	0–1-3		0 до 6	0,5
Луннотресения:					
термични	Смяна ден-нощ	0–0,1-0,2		1,0–3,0	0,1
приливни (много ясно съвпадение)	Слънце-Земна гравитация	Дълбоки (240–700)		5,0–5,7	90
метеоритни	Удар	0–1		1,0–5,0	7
индуцирани	Човешки фактор	0–0,01		5,0–5,2	~0,1
охлаждане	Контракция	Плитки (30–220)		5,0–5,5	2–3
Марсотресения:					
тектонски (разширение)	Освобождаване от напрежение	Кора (10–20)		1–4,7 (най-силното)	50–70
охлаждане (компресия)	Освобождаване от напрежение	Кора (20–40)		2,0–4,0	30–50
метеоритни (много редки)	Удар	0–0,5		0–5,0	(за сега) ~0.1

6. ВМЕСТО ЗАКЛЮЧЕНИЕ (ОСОБЕНОСТИ В СЕИЗМИЧНАТА АКТИВНОСТ НА ЗЕМЯТА, МАРС И ЛУНАТА)

Много интересни и неочакваните резултати се проявяват в сеизмичността на изследваните извънземни тела (Луна и Марс) при сравнение със сеизмичността на Земята. Като непосредствено свойство на геодинамиката, сеизмичността е най-съвременната част от геодинамиката и нейна най-активна съставка. Структурата и еволюцията на Земята предопределят високата сеизмична активност на нашата планета.

Тектоничната парадигма на плочите е мощен инструмент за изследване на съвременната геодинамика. Луната и лунните трусове са различни в много аспекти. Високата сеизмичност, дължаща се на промяната на нагряването ден-нощ и охлаждането на лунната кора, е основният източник на повърхностна сеизмична активност на спътника на Земята. Приливните ефекти от влиянието Слънце-Земя върху Луната са друга изненада за науката. Съвпадението във времето и фазите на гравитационните взаимодействия е друг мощен източник на сеизмичност на Луната и се случва в по-големите дълбочини. Плитките (50 – 240 km) земетресения, дори много малко на брой, все още са енигма и все още нямат ясно обяснение. Друго, много странно, свойство са дълготрайните вибрации след всяко луннотресение. Те са 5-10-20 пъти по-продължителни от земните. Вероятно това се дължи на химическия състав на лунната кора (с по-голямо съдържание на анортозит), но това, все още, не е потвърдено изрично.

По отношение на Марс и марсотресенията, те също имат изненадващи елементи [5, 6]. Дори ясно свързани със структурите на разломите (екстензионни и компресионни),

марсотресенията демонстрират също дълготрайни „кода“ вълни и при сравнително малко сеизмично събитие (M4,7 от гледна точка на Земята) реверберацията на Марс за около 6 часа след земетресението е друг много изненадващ факт. Това показва, че подобни събития могат да бъдат отчитани като силни за околната среда на Марс. Липсата на доказателства за приливния ефект върху Марс е друга енигма. Като по-малко тяло от Земята, приливите и отливите, генерирани от Слънцето и Земята, се очаква да генерират приливи и отливи на Марс, но досега такава корелация не се наблюдават. Екстензионните и компресионните трусове също предполагат по-активна вътрешна динамика на Марс (вероятно подобна на геодинамиката на Земята). Това все още не е потвърдено и трусовете се считат за явления, свързани с разломи.

В заключение и накратко – изненадите са неочаквани и бъдещите сеизмологични изследвания могат да донесат нови и интересни резултати по отношение на сеизмичността на извънземните тела.

7. ЛИТЕРАТУРА

1. Jacob, A. et al., Seismic sources of InSight marsquakes and seismotectonic context of Elysium Planitia, Mars., Tectonophysics 837 229434, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2022.229434>
2. Knapmeyer, M. et al. Working models for spatial distribution and level of Mars' seismicity. J. OF GEOPHYS. RES., VOL. 111, E11006, 2006. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2006JE002708>
3. Nunn, C., et al. Lunar Seismology: A Data and Instrumentation Review, Space Sci Rev, 216:89, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11214-020-00709-3>
4. Kawamura, T. et al. Evaluation of Observation Bias of Apollo Seismic Observation Network. 45th Lunar and Planetary Science Conference, 2014. file:///C:/Users/pc/Downloads/lpsc2014-kawamuraetal.pdf
5. Wiczeorek, M. The Interior Structure of the Moon: What Does Geophysics Have to Say?., 2009. DOI: 10.2113/gselements.5.1.35.
6. <https://www.thoughtco.com/fault-types-with-diagrams-3879102>
7. <https://mashable.com/article/mars-marsquake-earthquake-biggest>
8. <https://www.ox.ac.uk/news/2022-10-28-two-major-meteorite-impacts-reveal-new-insights-about-surface-mars>
9. <https://www.planetary.org/space-images/interior-structures-of-earth-mars-moon>.

АДРЕС НА АВТОРА

Проф. д-р инж. Бойко Рангелов
МГУ „Св. Иван Рилски“. София 1700.
Ул. „Проф. Б. Каменов“ 1,
e-mail: branguelov@gmail.com

2. ДОКЛАДИ И ДИСКУСИИ (II) – ГЕОДЕЗИЯ, ОБРАЗОВАНИЕ

12. XXXIV МЕЖДУНАРОДЕН СИМПОЗИУМ
СЪВРЕМЕННИТЕ ТЕХНОЛОГИИ, ОБРАЗОВАНИЕТО И ПРОФЕСИОНАЛНАТА ПРАКТИКА В
ГЕОДЕЗИЯТА И СВЪРЗАНИТЕ С НЕЯ ОБЛАСТИ
София, 06 – 08 ноември 2024 г.

XXXIV INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON
MODERN TECHNOLOGIES, EDUCATION AND PROFESSIONAL PRACTICE IN
GEODESY AND RELATED FIELDS
Sofia, 06 – 08 November 2024

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЕН АНАЛИЗ И СРАВНЕНИЕ НА ИЗЧИСЛЕНИ ВИСОЧИНИ НА ОБЕКТИ ОТ ИЗМЕРВАНИЯ С ТОТАЛНА СТАНЦИЯ И ЛАЗЕРЕН ДАЛЕКОМЕР SW- 600A

Доц. д-р инж. Борислав Александров, ас. инж. Радослав Николов, УАСГ

EXPERIMENTAL ANALYSIS AND COMPARISON OF CALCULATED HEIGHTS OF OBJECTS FROM MEASUREMENTS WITH A TOTAL STATION AND A LASER RANGER SW-600A

Assoc. Prof. Dr. Eng. Borislav Aleksandrov, Asst. Eng. Radoslav Nikolov, UACEG

SUMMARY

This article examines the applicability of laser rangefinders in measuring waterfall heights as the accumulated, experimental data is compared to that performed with a surveying instrument, with higher accuracy. The results show the advantages and disadvantages of the new technology, while at the same time defining rules for measuring with a laser range finder, where the accuracy of the final result is comparable to controlled ones for this specific type of measurements.

Keywords: Laser Rangefinders, Total Station, Waterfalls, Determination of height of a tall object

РЕЗЮМЕ

Публикацията разглежда приложимостта на лазерните далекоми при измерване височини на водопади като натрупаните, експериментални данни се сравняват с такива, извършени с геодезически инструмент, с по-висока точност от изследвания. Резултатите показват предимствата и недостатъците на новата технология като едновременно се дефинират и правила за измерване с лазерен далекоммер, при които точността на крайния резултат е съпоставима с допустимата за конкретния тип измервания.

Ключови думи: лазерен далекоммер, тотална станция, водопади, измерване на височини.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Определянето височините на различни обекти е често срещана дейност в геодезическата практика. Най-разпространени са случаите на разнообразни строителни конструкции и съоръжения, като: комини, антени, ретранслаторни кули, водонапорни съоръжения, кранове и

други, чиято височина може да бъде определена както от конструктивни чертежи, така и от преки измервания. Съществуват и такива обекти обаче, които могат да бъдат определени по височина единствено чрез геодезически измервания: скални отвеси, стени или както е в конкретния случай – водопади. В общия случай тези природни дадености не са с правилна форма и строго отвесни, което прави тяхното измерване сложно, а често и особено опасно. Използването на въжета или мерни ленти за непосредствено определяне на височините в случая не може да се приеме за достоверно поради големите отклонения от вертикалната линия от различни обструкции по стените или отклоняване на мерната линия. Това налага да се разчита на друг, достатъчно надежден метод за установяване на височините, и то с определена точност.

За проверка на тази цел се прибегва до геодезически измервания на съответния обект, като чрез определяне на ъгли и дължини и на базата на геометрични зависимости, се изчислява търсената височина. Избраните инструменти осигуряват съответната точност на крайния резултат, която предварително е установена за отделните обекти. При изследване структурата на водопадите като географски обект и феномен, начина на тяхното геоморфоложко образуване и съществуване, се установи, че изчисляването на височините им с точност по-прецизна от няколко дециметра освен, че не е необходима, е и несигурно определена тъй като пътят на водата не винаги е изцяло ясен и недвусмислен между скалите и алувиалните наслаги. От друга страна повечето водопади, напълно логично и обяснимо, са в силно пресечени планински терени, което технически затруднява конвенционалните геодезически измервания с най-точната техника, достъпа до обекта, както и сигурността на екипите. По този начин се обезсмисля инвестицията в скъпи и много рискови геодезически дейности, за да бъде постигната една неясна точност от няколко сантиметра при определяне височините на водопадите.

Тези разсъждения довеждат до идеята за използване на леснопреносима съвременна техника, която при подходящи методи и условия на работа би могла да осигури дециметрова точност за посочените обекти, без операторите да бъдат изложени на прекалено голям риск от злополуки, а също така и да пренасят тежката и скъпа геодезическа апаратура с часове по сложен терен. За целта е направено подробно изследване от сравнение на измервания с класическа тотална станция и лазерен далекомер за определяне височините на редица обекти, в различни условия и отдалечение.

1. ЛАЗЕРЕН ДАЛЕКОМЕР SNDWAY SW-600A

Лазерният далекомер е лесно преносим, не затруднява по никакъв начин екипите, надежден е като работа и издръжливост, а и е установено, че осигурява необходимата точност. В експеримента е използван модел SW-600A, предназначен за измерване на разстояния, вертикални ъгли и скорост. Приложението му не предполага използване за точни геодезически измервания, но за определени цели и точности, компактността на уреда и лесната му експлоатация е безспорно предимство (фиг. 1).



Фиг. 1. Лазерен далекомер SW-600A

Далекомерът използва за измерванията лазерен лъч в невидимия за човешкото око спектър, с клас II, дължина на вълната 905 nm и мощност под 1 mW. Изпратеният лазерен лъч се отразява от целта и се връща в оптическата система, като по този начин се определят разстоянието и ъгъла. Условията за измерване имат известни ограничения, свързани с качествата на отразяващата повърхност, като например огледални части или много ярка светлина. Влияние може да окажат също формата и цвета на обекта. Техническите характеристики на далекомера са представени в табл. 1.

Таблица 1. Технически параметри на далекомера SW-600A

Параметър	Стойност и мерна единица
Зрително поле	$6^{\circ} \pm 10\%$
Работен диапазон за дължини	5 – 600 m
Точност на измерените дължини	1 m + 0.2% D
Диапазон на измерваните ъгли	$\pm 90^{\circ}$
Точност на измерваните ъгли	$\pm 1^{\circ}$
Увеличение на зрителната тръба	6x
Диаметър на окуляра	15 mm
Изходяща зеница	23.7 mm
Диапазон на фокусиране	$\pm 5 D$
Покритие на лещите	Пълно (FMC)
Влагоустойчивост	IP 54
Работна температура	0 – 40 $^{\circ}$
Размери	104 x 76.5 x 41 mm
Тегло	197 g
Възможности на батерията (750 mAh)	30 000 измервания с пълен заряд
Живот на батерията	800 цикъла на заряд-разряд

2. ТОТАЛНА СТАНЦИЯ TOPCON GM 55



Фиг. 2. Тотална станция Topcon GM 55

Тоталната станция, използвана за сравнителните измервания е Topcon GM-55 (фиг. 2.). Инструментът е предназначен за направата на геодезически измервания с висока точност и прецизност. Този модел е с параметри, позволяващи използването му в по-голяма част от геодезическите работи, извършвани при строителството на сгради и съоръжения и създаването на цифрови модели за картографски и други нужди. Разполага с високоточен светлодалекомер, позволяващ определяне на разстояния до 4000m, с използване на специален, отражателен сигнал (призма) и до 500m, при измерване директно върху различни повърхности (безпризмен режим). По критерият точност той е напълно подходящ за определяне височините на водопади и за провеждане на текущото изследване.

Недостатъците при използването му за изследване на водопадите се коренят от една страна в принципите на работа с тотална станция, а от друга – в теглото и високата цена на уреда.

Инструментът предлага възможност за измерване както на разстояния, така и на хоризонтални посоки и вертикални ъгли. За тази цел освен тоталната станция се използват и отражателни призми (за по-прецизни измервания). При определяне височината на водопад обаче, поставянето на сигнал в характерните точки на обекта е изключително рисковано действие, свързано с труден и опасен достъп, най-често изискващ алпийски умения и екипировка. Решението на този проблем е използването на безпризмения режим на измерване, при който сигналът се отразява директно от повърхностите. При него се елиминира необходимостта от сигнализиране на наблюдаваните точки и измерването става значително по-безопасно. Това улеснение обаче, е свързано с появата на няколко проблема.

Най-същественият е предизвикан от принципът на измерване с лазерен светлодалекомер, при който е необходимо повърхностите да са с добра отражателна способност. Тоталната станция се справя с измервания при неблагоприятни условия като много тъмни, много светли или влажни повърхности. В конкретния случай става въпрос за измерване върху скали при постоянно течаща водна струя, което влошава значително отражателната способност на мястото и ограничава измерванията до около 200m. Решението се състои в намиране на близко, сухо място, от което отражението на сигнала да бъде възможно или избор на по-близки изходни точки.

Вторият съществен проблем при безпризменото измерване е растителността. Много често наблюдаваните точки са обрасли с трева и храсти. В тази ситуация лазерният лъч се отразява в първата повърхност до която достигне, като в случая това може да бъде листо, треви, мъхове, клонки. Решението е свързано с много прецизно насочване от страна на оператора или отново с измерване на близка точка, с по-добра видимост. В случай на затревен район, измерването може да се осъществи и върху тревите или мъховете, като това, разбира се, влошава прецизността. В тази връзка задължение на оператора е да определи първо правилно място на изходните точки, а след това и дали самото измерване е в допустимите стойности, зададени за крайния резултат (няколко дециметра), вземайки предвид растителността.

Освен описаните проблеми при провеждане на измерванията друг съществен недостатък е теглото на оборудването. Пълният комплект тежи около осем килограма. Добавен към останалата екипировка, преходът до мястото на измерване става значително по-труден. Освен това самите инструменти не са достатъчно удобни за пренасяне на средни и дълги пешеходни разстояния. Самото носене се прави по определен начин, за да не се наруши фината структура на уредите.

Както е описано в текста, точността на крайния резултат е дециметрова. В тази връзка може да се отбележи, че Торсон GM 55 осигурява висока точност, прецизност и надеждност на измерените височини и пространствени параметри. Не винаги обаче, е необходимо използването и при изпълнение на текущия проект.

За нуждите на проучването е използван инструментът, с който се провеждат и основните измервания на пространствени характеристики на водопади към момента. От представените данни в табл. 1 и табл. 2 ясно се вижда, че тоталната станция е много по-точна от описания лазерен далекомер което дава основание на екипа да счита получените резултати от сравнението между двата инструмента за достатъчно надеждни.

Важно е да се отбележи, че станцията, използвана в настоящото изследване като еталонен уред, преминава ежегодни тестове и проверки за точност и правилна работа. В тази връзка в Таблицы 3.1. и 3.2. са представени резултатите на част от последните му проверки, направени през 2024г.

Таблица 2. Техническите параметри на тотална станция Торсон GM 55.

Параметър	Стойност и мерна единица
Зрително поле	$1.5^{\circ} \pm 10\%$
Работен диапазон за дължини	0.50 – 4000m с отражателна призма; 0.50 – 500 m без отражателна призма
Точност на измерените дължини – с отражателна призма	$\pm 1.5 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$
Точност на измерените дължини – без отражателна призма	$\pm 2 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$
Точност на измерваните ъгли	5"

Увеличение на зрителната тръба	30x
Диаметър на окуляра	40 mm
Изходяща зеница	12.7 mm
Покритие на лещите	Пълно (FMC)
Влагоустойчивост	IP 66
Работна температура	-20 – +50° C
Размери	180 x 180 x 330 mm
Тегло	5 kg
Живот на батерията	14 часа работа

Таблица 3.1. Изследване на колимачната грешка на Topcon GM 55

Изследване на колимачна грешка			
№ на наблюдавана точка	Hr1, [°]	Hr2, [°]	c, [cc]
1	0,0058	200,0060	1
2	50,0024	250,0019	2
3	100,0044	300,0022	11
4	150,0050	350,0069	9
5	200,0006	400,0029	12
6	250,0033	50,0050	8
7	300,0028	100,0055	14
8	350,0011	150,0002	5

["] [°] [°C]

точност на инструмента 5 0,0013889 15

Таблица 3.2. Изследване на индексна грешка за Topcon GM 55

Изследване на индексна грешка			
№ на наблюдавана точка	Z1, [°]	Z2, [°]	i, [cc]
1	100,0958	299,9070	14
2	100,1910	299,8112	11
3	100,2418	299,7600	9
4	100,1188	299,8834	11
5	100,1422	299,8588	5
6	100,1160	299,8868	14
7	100,9801	299,0228	15
8	100,1886	299,8139	12

["] [°] [°C]

Ъглова точност на инструмента 5 0,0013889 15

3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЕН АНАЛИЗ ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПРИЛОЖИМОСТТА НА ИЗМЕРВАНИЯ ИЗВЪРШЕНИ С ЛАЗЕРЕН ДАЛЕКОМЕР, ПРИ ОПРЕДЕЛЯНЕ ВИСОЧИНИ НА ВОДОПАДИ

Експериментът включва поредица от измервания на наклонени разстояния и ъгли с цел определяне височини на недостъпни обекти, като е направено сравнение на изчислената крайна височина на обектите. При измерванията с тоталната станция е използван безрефлекторен режим за разстояния от 6 до около 160 метра.

При работа с далекомера е използван съгваем фотостатив за избягване дори и на малки трептения от ръцете, тъй като практиката показва, че при работа от свободна ръка е неточно определено насочването на нишковия кръст. При проведени измервания без статив са установени разлики с определените с тоталната станция височини от порядъка на 1 метър, при

отдалечение над 100 метра, което при този начин на работа не е голяма грешка. Когато се използва статива максималната разлика е от 0.47 метра при разстояние над 80 метра, което е в дециметровата точност и за определени цели може да бъде пренебрегнато.

За изчисление на височините е използвана формула (1) с наклонени разстояния и зенитни ъгли, отчетени до характерни, ясно видими точки, тъй като обектите не са строго вертикални в цялата си структура. Общата височина на обектите е определена като сума от отделните сегменти, със съответния знак, изчислени по формулата:

$$(1) \quad H = S_1 \cdot \cos Z_1 - S_2 \cdot \cos Z_2.$$

Не са сравнявани показанията на вертикалните ъгли и разстоянията поотделно, тъй като се търси сходимост между крайните височини на обектите, получени чрез изчисления на зенитните ъгли и наклонените разстояния при тоталната станция и директно изчислените стойности на далекомаера. При тоталната станция зенитните ъгли се измерват в гради, с точност от порядъка на 15^{cc}, а разстоянията – до няколко сантиметра в безрефлекторен режим на работа. При лазерния далекомер показанията за вертикалните ъгли са в градуси, до десета, а разстоянията – до дециметър, което показва не по-малко от един порядък занижена точност. Това предполага точността на изчислените височини да достига до дециметър, а сравнението на резултатите с тоталната станция да варира до половин метър.

Отделните експериментални измервания са подредени по нарастване на наклонените разстояния, като най-късите са 6.26 m, и достигат до 161.27 m. Зенитните ъгли варират от 86.9128^g до 141.8014^g. При съставяне на таблиците са използвани следните означения:

Z – измерен зенитен ъгъл;

S – измерено наклонено разстояние с тотална станция;

h_{TS} – превишения, определени с тотална станция;

S_{W-600A} – измерено наклонено разстояние с далекомер;

h_D – превишения, определени с далекомер

No	Z (g)	S (m)	h _{TS} (m)	S _{W-600A} (m)	h _D (m)
1	93.2030	6.265	0.67	6.4	0.5
2	111.1786	6.320	-1.10	6.4	- 1.2
Обща височина:			1.77		1.7

No	Z (g)	S (m)	h _{TS} (m)	S _{W-600A} (m)	h _D (m)
3	93.2954	25.108	2.64	24.8	2.7
4	141.8014	31.622	-19.3	31.1	- 19.5
Обща височина:			21.94		22.2

No	Z (g)	S (m)	h _{TS} (m)	S _{W-600A} (m)	h _D (m)
5	95.9170	33.94	2.18	34.1	2
6	101.5132	35.25	-0.84	35.5	-1.1
Обща височина:			3.02		3.1

No	Z (g)	S (m)	h _{TS} (m)	S _{W-600A} (m)	h _D (m)
7	94.5712	58.893	5.02	57.9	4.1
8	102.1070	51.463	-1.70	51.4	- 1.8
9	106.6748	51.169	-5.36	51.3	- 5.6
10	122.5550	55.034	-19.09	55.1	- 19.7
Обща височина:			31.17		31.2

No	Z (g)	S (m)	h _{TS} (m)	S _{W-600A} (m)	h _D (m)
11	99.3500	63.231	0.65	64.1	0.4
12	105.3828	54.045	-4.56	54.6	- 4.8
13	122.0118	56.668	-19.21	56.8	- 19.7
Обща височина:			24.42		24.9

No	Z (g)	S (m)	h _{TS} (m)	S _{W-600A} (m)	h _D (m)
14	99.2644	81.384	0.94	81.4	0.5
15	106.0238	81.791	-7.73	81.8	-7.7

Обща височина: 8.67 8.2

No	Z (g)	S (m)	h _{TS} (m)	S _{W-600A} (m)	h _D (m)
16	97.7726	90.947	3.18		
17	115.8792	77.135	-19.04		

Обща височина: 22.22 22.2

No	Z (g)	S (m)	h _{TS} (m)	S _{W-600A} (m)	h _D (m)
18	86.9128	161.272	32.92	161.6	32.2
19	95.8400	157.650	10.29	158.5	9.6

Обща височина: 22.63 22.6

При изчислените височини има една разлика от 0.7 метра за отдалечение 161.27 метра, което се отнася за същата визура, с максимална разлика в измереното разстояние. Грешката се определя като 1:230, а при по-късите разстояния тя варира до 1:30 – за най-късата визура от 6.26 метра. От всичките 17 измервания за изчисляване на височини, четири показваха разлики до 0.6 – 0.9 метра, а останалите 13 са под 0.5 метра, което осигурява надеждност на крайния резултат.

Гаранцията за използване на лазерния далекомер SW-600A при определяне височини на обекти изисква да се подложат на детайлно изследване всички потенциални източници на грешки или занижена точност при измерванията. Това включва определяне грешката от насочване на нишковия кръст на далекомера, покритието на нишката върху образа на обекта, както и сравнение на измервания на височини с използване на статив и при работа от ръка. Само при изяснени и доказани стойности на тези параметри може да се приемат за достоверни определените впоследствие височини на обекти.

С цел да се определи грешката в изчислените височини вследствие на грешката от насочване на нишковия кръст на далекомера SW-600A към съответния обект, е направено изследване на ред от насочвания към обекти с известни размери, отстоящи на различни дистанции. По този начин може да се изясни при съответното разстояние колко сантиметра от обекта покрива дебелината на нишката от зрителното поле на далекомера, което би оказало влияние на точността на определената впоследствие височина. Направени са контролни измервания към обекти на разстояние от 3.5 метра, до 601 метра, като е наблюдавано какво реално разстояние покрива нишката на нишковия кръст. Експериментът потвърждава изборът на дециметрова точност, като най-подходяща при определяне височините на водопади. Резултатите са показани в табл. 4:

Таблица 4. Покритие на нишковия кръст в съответствие с отдалечението

Номер	Разстояние до обекта (m)	Покритие на нишковия кръст (cm)
1	3.5	0.3
2	50	2
3	120	5
4	260	7
5	340	9
6	450	15
7	600	20

Като финална проверка, в изследването са включени и измервания на височините на няколко различни водопада, направени в реални условия, едновременно с тотална станция и лазерен далекомер. При този тест инструментите са подложени на действителните условия на измерване, включващи голяма отдалеченост на обектите (от 100m до 400m), мокра повърхност водеща до лоша отразителна способност, силна динамика на метеорологичните условия. В

табл. 5 са представени данни от измерванията и е направено сравнение на получените резултати за отделните водопади.

Таблица 5. Сравнение на височини от полски измервания на водопади

No	Име на водопад	Измерена височина с Тотална станция, [m]	Измерена височина с лазерен далекоммер, [m]	Разлика, [m]
1	Дяволско пръскало	202.5	202.1	0.4
2	Мечкулски водопад	51.3	51.6	0.3
3	Райско пръскало, видим участък	124.2	124.6	0.4
4	Карааланишки водопад	34.7	34.9	0.2
5	Боянски водопад	28.0	27.5	0.5
6	Овчаренски водопад, голям скок на основен водопад	34.0	34.4	0.4
7	Под камико	38.7	38.6	0.1
8	Бовска скакля 1	87.8	87.6	0.2
9	Скока (Тетевен)	16.8	16.6	0.2
10	Пръскалото (Тетевен)	50.7	50.2	0.5

Сравнението показва много висока близост, в рамките на търсената точност (дециметрова) на измерените с лазерен далекоммер височини до тези, определени с тотална станция. При този тест се откриха няколко предимства и недостатъка на двете технологии:

- Основно предимство на лазерните далекомери е тяхната лекота и бързина на работа. При провеждане на подобни измервания, достъпът до обектите, в повечето случаи, е силно затруднен. Обвързан с провеждане на дълги, пешеходни преходи, с продължителност от по няколко часа и преодоляване на големи разстояния и денivelация. В тези ситуации малките размери и лекият корпус на инструмента му дават категорично предимство пред тоталната станция. Постигнатата близост на крайния продукт (височина на обект) до измерените със станция височини потвърждават още веднъж, че за такъв тип измерване, това е по-удачният уред. Освен това, измервания с този тип инструменти, могат да се правят лесно и удобно от места с много сложен и дори екстреман достъп;
- Второто основно предимство на лазерните далекомери е обхватът при работа с безпризмен режим на измерване. Съществуват различни видове, като при някои могат да се определят разстояния от порядъка на над километър. Това е характеристика, която липсва при повечето тотални станции от средния клас и води до усложняване на работния процес, налагайки използването на фигурант с отражател.
- Въпреки казаното до тук, тоталната станция остава в пъти по-надеждна при измервания, благодарение на значително по-стабилният начин на насочване (използването на микрометрични винтове и много по-сигурното визиране в обекта на измерване). Това предимство осигурява сигурност при сложни за измерване обекти, включващи неясно изразени горна и долна точка, множество начупвания на водния пад или много широк водопад, с лоша отражателна повърхност.
- Работата с тотална станция осигурява още един важен аспект от измерването на водопади, а именно – възможността за създаване на надеждни и точни вертикални разрези на водното течение. Благодарение на своето устройство инструментът

позволява изключително лесно и бързо определяне на хоризонтални посоки, зенитни ъгли и разстояния, като основното предимство тук е наличието на хоризонталния кръг, който липсва при лазерните далекомири.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Направените изследвания за сравнение на изчислени височини на обекти от измервания с тотална станция и лазерен далекоммер SW-600A, дават основание да се счита, че той може да бъде използван достатъчно надеждно за разнообразни обекти с дециметрова точност. Това е възможно при условие, че се използва тринога или статив за визиране и отчитане към ясно видими неподвижни обекти. При сложни и силно разчупени обекти, с несложен достъп, все още се препоръчва използването на тотални станции, които да осигурят свързаността на измерванията и съответно достоверността на резултатите. Въпреки това ползата от лазерните далекомири е несъмнена, когато се търси баланс между техническата сложност и риск на измерванията и допустимата точност за определяне височината на обекти, независимо дали са природни дадености или технически.

АДРЕСИ НА АВТОРИТЕ:

1. Доц. д-р инж. Борислав Александров
alexandrov_b@abv.bg
2. Ас. инж. Радослав Николов
rnikolov.fgs@uacg.bg

Университет по архитектура, строителство и геодезия – София бул. „Хр. Смирненски“ 1,
Ректорат

**ПОДГОТВИТЕЛНИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИ РАБОТИ ПО СЪЗДАВАНЕ НА
ГЕОПРОСТРАНСТВЕНА БАЗА ДАННИ ЗА ВОДОПАДИ**

Виолина Атанасова, Гергана Петрова, дипломанти, УАСГ

**PREPARATION FOR GEODETIC WORKS FOR CREATING GEOSPATIAL DATABASE
FOR WATERFALLS**

Violina Atanasova, Gergana Petrova

SUMMARY

The waterfalls are one of the most attractive natural wonders that water has sculpted without human presence. This tourist attraction connects two different levels of a river stream, where the water falls from the higher to the lower along a rock slope or completely free. The great energy during the fall carves out the so-called an evolutionary cauldron that marks the lowest point of each waterfall. One of the most commonly reported parameters of a waterfall is its height - namely, a direct idea of the scale and magnitude of a waterfall. What gives this information is the result of serious technical preparation, both from a geodesic point of view, and because of the often difficult access to the characteristic points of the falls

The paper presents the basic moments in the preparation for their measurement, the preliminary studies, the access to the waterfalls, as well as the technical means for determining their heights. A method for processing and analyzing the obtained geospatial data is also described. In general, these natural features are irregular in shape and strictly vertical, which makes their measurement difficult, and in many cases very dangerous.

The use of ropes or measuring tapes for direct measurement of heights in this case cannot be accepted as reliable due to the large deviations from the vertical line from various obstructions on the walls or deviation of the measuring line. This necessitates the use of another, sufficiently reliable method for establishing the heights, with the desired accuracy for the purpose, namely – total stations and laser rangefinders.

Keywords: waterfalls in Bulgaria, spatial database, preparation before measurements.

РЕЗЮМЕ

Водопадите са едно от най-атрактивните природни чудеса, които водата е изваяла без човешкото присъствие. Тази туристическа забележителност свързва две различаващи се нива на един речен поток, при което водата пада от по-високото към по-ниско по стръмен скален откос или напълно свободно. Голямата енергия при падането издълбава т.нар. еволуционен котел, който бележи най-ниската точка на всеки водопад. Един от най-често съобщаваните параметри за водопада е неговата височина – а именно, пряката представа за мащаба и величината на един водопад. Това, което дава тази информация е плод на сериозна техническа подготовка, както от геодезическа гледна точка, така и заради често трудния достъп до характерните точки на водопадите.

В публикацията са представени възловите моменти при подготовката за тяхното измерване, предварителните проучвания, достъпът до водопадите, както и техническите средства за определяне на височините им. Описан е и метод за обработка и анализ на получените геопространствени данни. В общия случай тези природни дадености не са с правилна форма и строго отвесни, което прави тяхното измерване сложно, а в много случаи и особено опасно. Използването на въжета или мерни ленти за непосредствено измерване на височините в случая не може да се приеме за достоверно поради големите отклонения от вертикалната линия от различни обструкции по стените или отклоняване на мерната линия. Това налага използването на друг, достатъчно надежден метод за установяване на височините, и то с желана за целта точност, а именно – тотални станции и лазерни далекомири.

Ключови думи: водопадите в България, пространствена база данни, подготвителни дейности.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Водопадите са природно богатство, което крие в себе си голям набор от информация: било то геоморфоложка, геодезическа, която може да послужи за различни цели. Ще представим ключовите моменти при подготовката за тяхното измерване, предварителните проучвания, достъпът до водопадите, както и техническите средства за определяне на височините им. Описан е и метод за обработка и анализ на получените геопространствени данни. Разработката е с цел обогатяване на информацията относно тези феномени, развиване на туризма и по-задълбоченото изучаване на водопадите в България.

2. ВОДОПАДИТЕ – ОБЕКТ НА ИНТЕРЕС

Водопадът свързва две различаващи се нива на един речен поток, съответно водата пада от по-висока точка към по-ниска. Може да пада по стръмен откос или почти отвесно. При падането, поради голямата енергия, се образува ерозионен котел, чрез който се дефинира най-ниската точка на всеки водопад.

За да бъде счетен един воден обект за водопад е необходимо да отговаря на следните условия: височината му да бъде минимум три метра и наклонът на неговия пад да е поне 30 градуса. Освен това е необходимо да се формира от река или поток.

Съществуват редица класификации на водопадите съобразно различни техни особености. Използвана е класификацията от световната база данни на водопадите [1, стр.61] като по-долу са изброени част от тях:

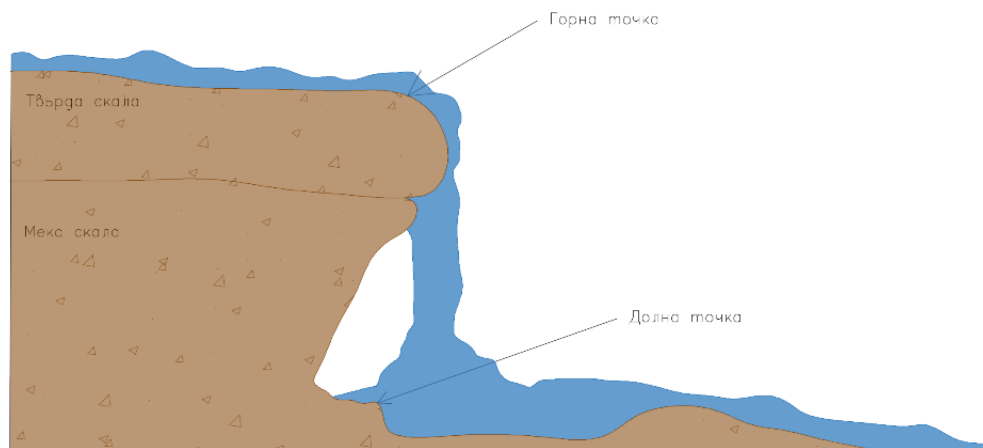
- *Каскаден водопад* – спуска се по серия от скални стъпала или малки скали, създавайки стъпаловидна форма;
- *Катаракт* – големи, мощни водопади с висок обем и скорост, което ги прави потенциално опасни;
- *Водопад „Конска опашка“ [3]* – водата поддържа контакт с подлежащата скала, докато се спуска.

3. ИЗМЕРВАНИЯ

За определяне на височината на даден водопад се извършват ъглово-дължинни измервания и на база геометрични зависимости се достига до търсената величина. След извършени изследвания относно структурата и поведението на водопадите се стигна до заключението, че точност в дециметровия диапазон е достатъчна. Такава може да се осигури чрез използване на тотална станция или светлодалекомер.

Важна задача преди пристъпване на същински измервания е да се определи къде започва и свършва водопада и коя част точно следва да бъде измервана.

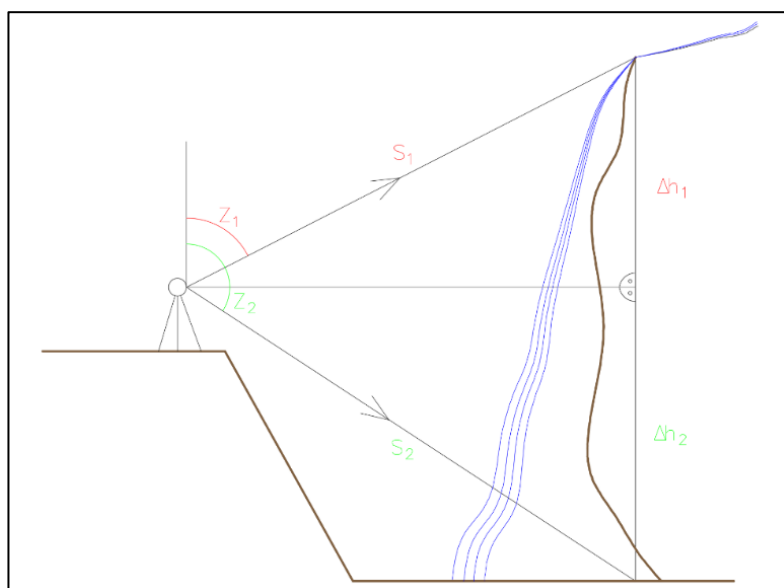
Горната точка на водопада е мястото, при което водата преминава във вертикално движение. За долна точка на водопада се счита мястото, където водата преминава отново в хоризонтално движение. Височината на водопада се определя като разлика във височините на тези две ключови точки.



Фиг. 1. Примерна структура на водопад

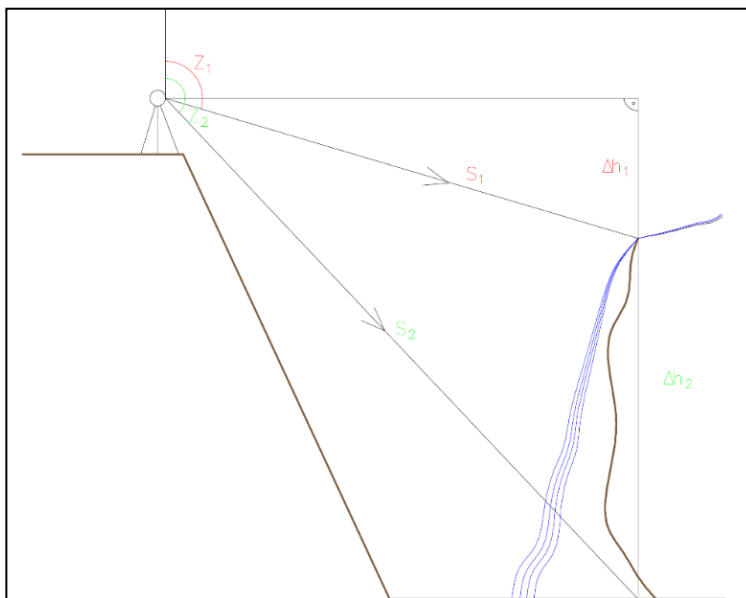
Начините за измерване варират в зависимост от местоположението на водния обект и оператора. По-долу биват разгледани 4 разновидности.

В първия случай положението на оператора е приблизително в средата на водопада.



Фиг. 2. Вариант, при който операторът се намира в средата

Във втория позицията на оператора е над водния пад.



Фиг. 3. Вариант, при който операторът се намира над водния пад

И в двата случая за пресмятане на височината се прилага формула (1):

$$(1) \quad H = S_1 \cdot \cos Z_1 - S_2 \cdot \cos Z_2$$

Z – измерен зенитен ъгъл

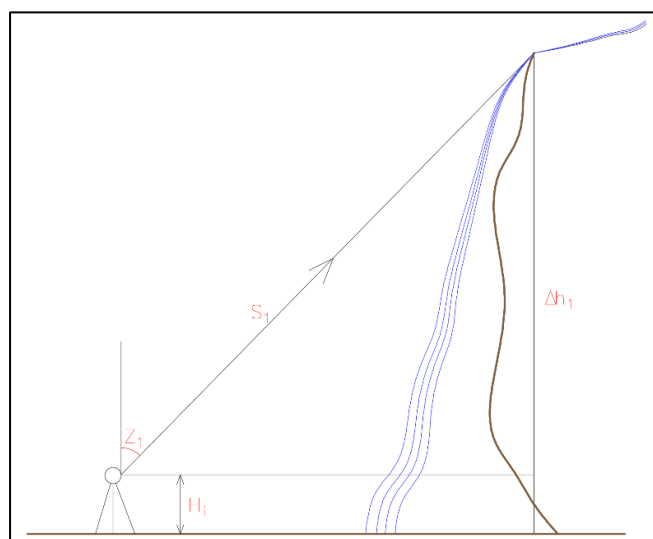
S – измерено наклонено разстояние с тотална станция

Δh – превишения, определени с тотална станция

$h_{\text{инстр}}$ – височина на инструмент

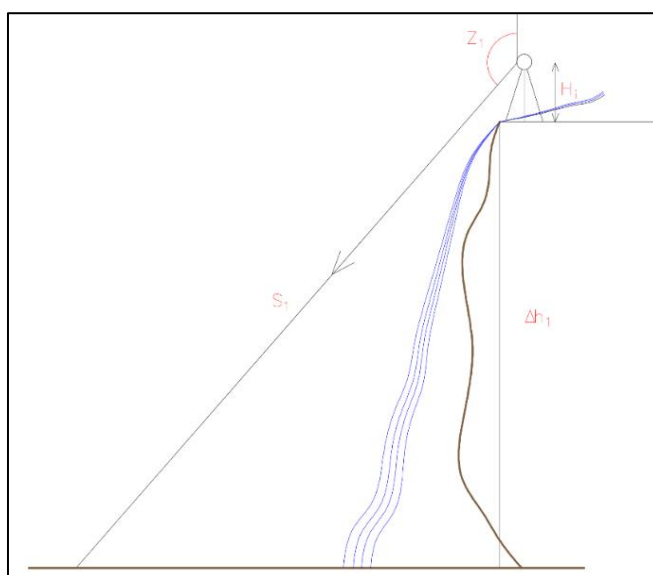
Следва случай, при който операторът се намира на нивото на еворзионния котел. Разликата във прилаганата формулата тук е, че трябва да бъде добавена височината на инструмента:

$$(2) \quad H = (S_1 \cdot \cos Z_1) + h_{\text{инстр}}$$



Фиг. 4. Вариант, при който операторът е на нивото на еворзионния котел

В последният вариант операторът се намира в непосредствена близост до най-високата точка на водопада. В прилаганата формула (3) е необходимо да се извади височината на инструмента.



Фиг. 5. Вариант, при който операторът се намира непосредствено до горна точка на водопада

$$(3) \quad H = (S_1 \cdot \cos Z_1) - h_{\text{инстр}}$$

4. ПОДГОТВИТЕЛНИ ДЕЙНОСТИ

Преди стартиране на същинската работа е необходимо да се обърне внимание на основополагащи дейности, които биват разгледани по-долу.

- *Запознаване с района и намиране на благоприятно място за измерване.*

Понякога водопадите попадат в защитени местности или резервати, където достъпът е ограничен и необходимо разрешително за навлизане в територията (например: м. Джендема – Райско пръскало).

- *Екипна работа* – състои се в синхронизиране на радиостанциите с цел постоянна връзка между всички участници, както и разпределяне на дейностите между екипа.

▪ *Безопасност* – в зависимост от условията в някои случаи се налага осигуряване с въжета на екипа и техниката. Такъв пример е за Мечкулския водопад.



Фиг. 2. Пример за обезопасяване на екипа и техниката

▪ *Съобразяване с климатични условия.*

На ключови водопади като Райското пръскало се извършва заснемане с дрон, на база на което се създава цифров модел. В такъв случай е важно облитането да е съобразено с метеорологичните условия и да се вземе предвид скоростта на вятъра.

▪ *Допълнителна информация*

Преди съставяне на база данни е необходимо събиране на допълнителна информация, която включва: административна област, местност, вид на водопада спрямо геоморфоложката структура, произход, приблизителни координати на най-висока и най-ниска точка на водопада, среден наклон и маршрути.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Водопадите са природни богатства, които играят важна роля в биологичното разнообразие на страната, както за хидроложките, така и за геоморфоложките процеси.

Геодезическото присъствие в такъв тип проект е важно от гледна точка на осигуряване на точни измервания с подходяща апаратура. Идеята за създаване на геопространствена база данни за водопадите би подпомогнала дейностите по тяхното популяризиране и структуриране на наличната и събрана информация за тях.

6. ЛИТЕРАТУРА

1. Goudie, A. S., Waterfalls: forms, distribution, processes and rates of recession, *QUAESTIONES GEOGRAPHICAE*, Iss. 39(1), , pp. 59–77, 2020.
<https://qg.web.amu.edu.pl/qg/archives/2020/quageo-2020-0005.pdf>
2. Plumb, G. Waterfall Lover's Guide Pacific Northwest: Where to Find Hundreds of Spectacular Waterfalls in Washington, Oregon, and Idaho, 5th Edition ISBN-13978-1594857539, Publisher Mountaineers Books Edition 5 Publication Date August 16, 2013
3. <https://archive.org/details/waterfallloversg0000plum/page/n9/mode/2up>
<https://www.world-of-waterfalls.com/what-types-of-waterfalls-are-there/>, 23.10.2024.

4. <https://www.worldwaterfalldatabase.com/help#types>, 23.10.2024.

АДРЕС НА АВТОРИТЕ

1. Гергана Петрова, дипломант към специализация Геоинформационни системи, кат. „Геодезия и геоинформатика“, УАСГ, бул. „Христо Смирненски“ 1, 1046, тел: 0895749896, e-mail: gfac.5102@uacg.bg.
2. Виолина Атанасова, дипломант към специализация Геоинформационни системи, кат. „Геодезия и геоинформатика“, УАСГ, бул. „Христо Смирненски“ 1, 1046, тел: 0877896276, e-mail: gfac.5130@uacg.bg.

ФОТОРЕАЛИСТИЧНО МОДЕЛИРАНЕ НА ПАМЕТНИКА НА ХРИСТО БОТЕВ В ГР. КАЛОФЕР

Инж. Албена Узунова, д-р инж. Цветелина Атанасова-Евденова, УАСГ

PHOTOREALISTIC MODELING OF THE MONUMENT OF HRISTO BOTEV IN THE TOWN OF KALO FER

Eng. Albena Uzunova, UACG

Dr. Eng. PhD Tsvetelina Atanasova-Evdenova, UACG

SUMMARY

The technological capabilities of UAVs and close-range photogrammetry for documenting the monument to Hristo Botev in the town of Kalofer have been examined, and three different technological schemes have been applied to create a photorealistic model of the site. Experiments have been carried out with creating image masks, increasing accuracy by removing unreliable points in the sparse point cloud, as well as using different equipment when capturing the site. The applied technological schemes aim to achieve maximum accuracy, detail, and efficiency in documenting and visualizing the monument.

Keywords: photogrammetry, photorealistic modeling, cultural heritage, UAV, 3D models.

РЕЗЮМЕ

Разгледани са технологичните възможности на БЛС и блискообхватната фотограмметрия за документиране на паметника на Христо Ботев в гр. Калофер, като са приложени три различни технологични схеми за създаването на фотореалистичен модел на обекта. Извършени са експерименти със създаване на маски на изображенията, повишаване на точността чрез премахване на ненадеждни точки в редкия облак от точки, както и използване на различно оборудване при заснемането на обекта. Приложените технологични схеми имат за цел постигане на максимална точност, детайлност и ефективност при документирането и визуализирането на паметника.

Ключови думи: фотограмметрия, фотореалистично моделиране, културно наследство, БЛС, 3D модели.

6. ВЪВЕДЕНИЕ

Документирането и архивирането на паметници на културата и обекти с историческо значение е актуален и непрекъснато развиващ се аспект от научната дейност в световен мащаб. Тримерното визуализиране предлага изключителни предимства, като предоставя възможност за реалистично и прецизно представяне на околния свят чрез използването на методи за моделиране и симулация. С усъвършенстването на технологиите за заснемане, все по-често се извършват експерименти и разработки [3], които тестват и разширяват възможностите на

безпилотните летателни системи (БЛС) [5] и блискообхватната фотограметрия за постигане на висококачествени резултати при съхраняването на културните ценности.

БЛС са широко прилагана технология за заснемане на паметници на културата с цел формиране на тримерни модели, като пример за това е документирането на паметника на връх Околчица в Природен парк "Врачански Балкан" [1]. Блискообхватната фотограметрия и конкретно използването на цифрови камери, също има широко приложение за документиране на културните ценности, доказателство за това е моделирането на Дворецът на Абасидите в град Багдад, Ирак [4].

Използването на подходяща технологична схема за генерирането и обработката на данните е от съществено значение за създаването на точен и детайлен тримерен модел. В настоящата статия е извършено заснемане на паметник като са използвани три технологични схеми за обработка на данни. Изображенията са получени чрез заснемане с цифрова камера и БЛС. Извършени са сравнителни анализи с цел да се определи най-подходящият метод за създаване на фотореалистичен тримерен модел на паметника.

7. ЗАСНЕМАНЕ НА ОБЕКТА

7.1. Обект на заснемане

Обект на заснемане е паметникът на Христо Ботев, намиращ се в централните части на град Калофер (фиг. 1). Статуята е изградена в чест на Христо Ботев, който е национален герой. Паметникът представлява масивна структура, изградена на хълм в централните части на родния град на революционера. Той е висок 14,4 m, а ако се брои и пиедестала, общата височина е 20 m.



Фиг. 1. Местоположение на обекта на заснемане

7.2. Използвана апаратура

За извършване на заснемането на паметника на Христо Ботев в гр. Калофер са използвани тотална станция, БЛС и цифрова камера.

Използвана е тотална станция LEICA TS02. Инструментът има директна точност на отчитане 1^{cc}. Точността на далекомера е 1.5 mm + 2 mm/km за измервания с призма и 2.0 mm + 2 mm/km за измервания без призма. Допълнителното оборудване към тоталната станция включва тринога, щок, щипка, призма и ролетка.

Използвана е БЛС DJI Phantom 3 Advanced, която е оборудвана с камера с широкоъгълен обектив FOV 94° 20 mm и сензор Sony EXMOR 1/2.3", като прави до 60 кадъра в секунда и 12-мегапиксели снимки. Този квадрокоптер дава възможност за заснемане в автоматизиран режим на полет и разполага с вграден GPS. Максималната скорост на издигане на DJI Phantom 3 Advanced е 5 m/s, а максималната скорост на спускане е 3 m/s.



Фиг. 2. БЛС DJI Phantom 3 Advanced

Използвана е и цифрова камера Canon EOS 60D, която разполага с 18-мегапикселов APS-C (22.3 x 14.9 mm) CMOS сензор, чрез който се постигат добри резултати в условия на ниска осветеност и се създават снимки с доста ниски нива на шум. За ниска осветеност, EOS 60D предлага диапазон на ISO светлочувствителност от 100 до 6400, който може да бъде разширен до настройка 12800 за условия, в които използването на светкавица е нежелателно. Скоростта на затвора е от B/30 sec до 1/8000 sec.

7.3. Заснемане с БЛС

За извършване на заснемането е използвано приложението DJI GO, като БЛС е синхронизиран с него. Извършена е проверка на GPS сигнала и е калибриран компасът. Предвид местоположението на паметника и намиращата се в непосредствена близост до него дървесна растителност, заснемането с БЛС е извършено в ръчен режим, като е приложен SfM метода [6]. Заснети са общо 517 изображения.

7.4. Заснемане с цифрова камера

Преди извършване на заснемането са избрани подходящи параметри на камерата в зависимост от характеристиките на обекта и осветеността. Направени са няколко пробни снимки с различен отвор на блендата. Чрез анализ на хистограмите на изображенията, като най-подходящ за по-осветената част от паметника, е избран $f/8$, за по-затъмнената част – $f/5.6$. За стойност на чувствителността на сензора към светлината е избрана ISO 100. Използвано е фокусно разстояние 18 mm. Заснемането с цифровата камера е извършено в ръчен режим с приоритет на блендата.

Заснемането е извършено от приблизително еднакви разстояния до обекта в свободен режим на фотографиране, като са направени общо 59 снимки. Снимките са заснети възможно най-близко до нормални и допълнително са направени наклонени.

7.5. Геодезическо заснемане

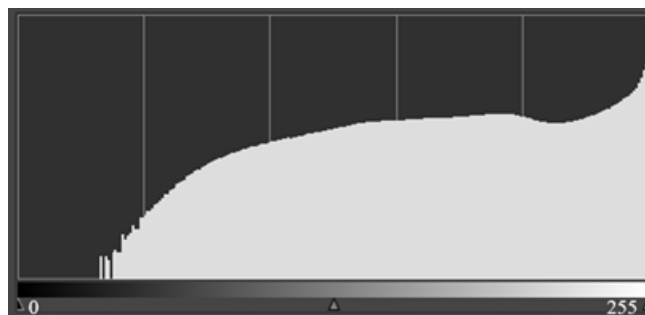
Извършено е геодезическо заснемане на паметника от три станции, които са определени в локална координатна система с цел да се избегне внасянето на допълнителна грешка от работната геодезическа основа (РГО) при сравнителните анализи на използваните технологични схеми. Измерени са 52 точки по паметника, които са избрани на характерни места по него – чупки и ръбове.

8. ПРЕДВАРИТЕЛНА ОБРАБОТКА НА ИЗОБРАЖЕНИЯТА

8.1. Оценка на качеството на изображенията

Качеството на изображенията е оценено чрез програмния продукт използван и за обработката – Agisoft Metashape. За всички изображения са с надграницната стойност от 0.50, като стойността на изображението с най-ниско качество е 0.81.

В допълнение е направен и анализ на хистограмите за наличието на преекспонирани изображения.



Фиг. 3. Хистограма на преекспонирано изображение

Премахнати са 12 изображения с хистограми сходни на показаната на фиг. 3, както и 4 изображения, които се припокриват с други. Премахнати са и 10 изображения, при които е налице значителна растителност.

8.2. Анализ на застъпването на изображенията от БЛС

За изпълнението на тази задача е създаден полигонален (мрежови) цифров модел в програмния продукт Agisoft Metashape и е приложена опция за определяне на изображения с голямо застъпване. Извършен е анализ с цел премахване на част от изображенията от БЛС, тъй като заснемането е извършено в ръчен режим и с прекалено висок процент на застъпване. В резултат за обработката са избрани 239 изображения от БЛС и 49 изображения от цифровата камера.

9. ПЪРВА ТЕХНОЛОГИЧНА СХЕМА ЗА СЪЗДАВАНЕ НА ТРИМЕРЕН МОДЕЛ

Първата технологична схема за създаване на тримерен модел на паметника, която е приложена, включва използването само на оценените и анализирани изображения от БЛС. Графика на технологичната схема е показана на фиг. 4.



Фиг. 4. Графика на първата технологична схема

Първата стъпка е премахването на данните от ГНСС приемника на БЛС, защото БЛС, с която е извършено заснемането, не използва RTK режим, както и поради използването на локална координатна система за измерването на опорните точки.

Втората стъпка от обработката включва вътрешното и относителното ориентиране на изображенията. За определянето на елементите на ориентиране се използва уравнението за

колинеарност [2]. Резултатът от този процес е получаването на т.нар. рядък облак от свързващи точки.

Следващият етап от обработка е извършването на абсолютното ориентиране. Измерени са общо 20 опорни точки върху изображенията, като точността изчислена в средата на софтуерния продукт е 0.332 рх.

Четвъртата стъпка е създаването на плътния облак от точки въз основа на изчислените елементи на вътрешно и външно (относително и абсолютно) ориентиране на изображенията. В основата на генерирането на плътен облак от точки лежат дълбочинните карти, които са генерирани за всеки проекционен център. Този етап включва и ръчно изтриване на всички точки от плътния облак, които не попадат върху паметника.

Мрежовият модел, наричан още и полигонален модел (тримерна многоъгълна мрежа), се създава, за да се генерира коректна геометрия на обекта.

Следващият етап от обработката е генериране на текстура, като преди това се прави калибриране на радиометричните характеристики.

Последните две стъпки включват генерирането на 3D фотореалистичен модел (Фиг. 10) и създаването на ортофотомозайки.

10. ВТОРА ТЕХНОЛОГИЧНА СХЕМА ЗА СЪЗДАВАНЕ НА ТРИМЕРЕН МОДЕЛ

Направен е експеримент като към първата технологична схема са добавени две допълнителни стъпки – оптимизиране на редкия облак от точки и следователно ориентирането на изображенията, както и създаване на маски за изображенията от БЛС. Графика на технологичната схема е показана на фиг. 5.

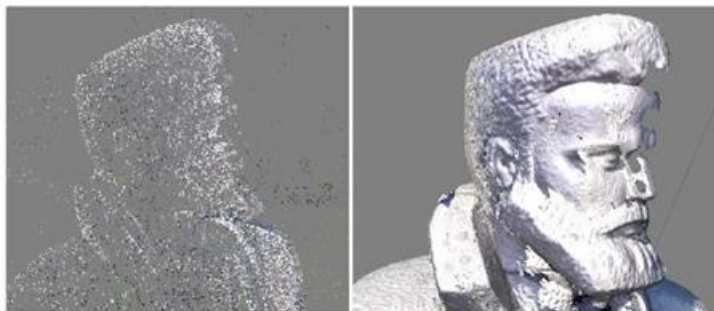


Фиг. 5. Графика на втората технологична схема

За целите на оптимизирането на редкия облак от точки са използвани следните параметри – несигурност при реконструкцията, грешка в пререконструирането, точност на проектиране.

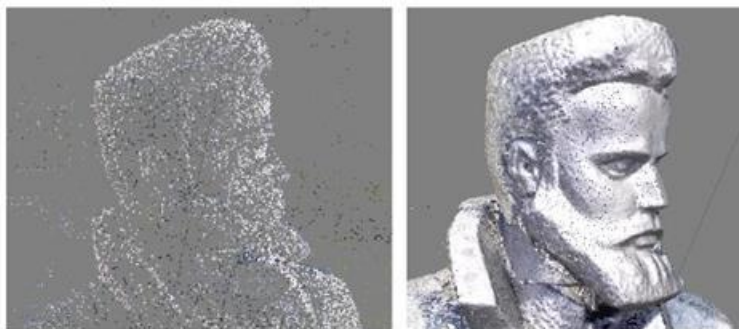
Първият параметър се изразява чрез отношение на най-голямата полуос към най-малката полуос на елипсата на грешката на триангулираните координати на 3D точките. Изборът на подходяща стойност е изключително важен, защото е възможно да се премахнат точки от редкия облак, които са необходими за получаване на качествен резултат при изпълнение на

следващите етапи от обработката. На Фиг. 6 е показан пример, при който при неподходяща стойност се получава проблем при ориентирането на част от точките в облака.



Фиг. 6. Проблемна при неправилен избор на стойност

В този случай при използване на стойност 70 вместо 50, проблемът е отстранен (фиг. 7).



Фиг. 7. Резултати при прилагането на подходяща стойност

Максималната грешка на препроектиране се изчислява в нормализирани единици за всички изображения, в които е измерена точка на свързване. Високата грешка на препроектиране обикновено показва слаба точност на локализиране на съответните проекции на точките на етапа на съпоставянето им. Тя е характерна и за фалшивите съвпадения. Премахването на такива точки може да подобри точността на последващата стъпка на оптимизация. Избрана е стойност 0.7.

Точността на проектиране използва среден мащаб на изображението, който е използван за измерване на координатите на проекциите на точката на свързване. Този критерий позволява да се филтрират точките, чиито проекции са относително по-слабо локализирани поради по-големия им размер. Избрана е стойност 20.

Друг етап от обработката, който е различен в сравнение с първата технологична схема, е създаването на маски на изображенията. Тази стъпка премахва необходимостта от ръчно филтриране на плътния облак от точки.

Останалите стъпки от обработката са сходни на разгледаните при първата технологична схема. Точността на опорните точки след абсолютното ориентиране е 0.233 px, по-висока в сравнение с първата технологична схема.

11. ТРЕТА ТЕХНОЛОГИЧНА СХЕМА ЗА СЪЗДАВАНЕ НА ТРИМЕРЕН МОДЕЛ

Третата технологична схема включва прилагане на аналогична обработка като при втората, но освен изображенията от БЛС се добавят и изображенията от цифровата камера. Поради това се добавя допълнителна стъпка за създаване на две групи изображения – първата, включваща изображенията от БЛС и втората, която включва изображенията от цифровата камера. Графика на технологичната схема е показана на фиг. 8.

При извършване на ориентирането на изображенията първоначално е използвана методиката от втората технологична схема. След което беше установено, че тя не е приложима за третата технологична схема, защото се появява проблем при ориентирането на изображенията, който е видим в редкия облак от точки (фиг. 9).



Фиг. 8. Графика на третата технологична схема



Фиг. 9. Проблем при ориентирането на изображенията

С цел коректно ориентиране на изображенията е променен редът на работа в третата технологична схема, като опорните точки са измерени преди извършване на ориентирането на изображенията и са използвани като свързващи точки.

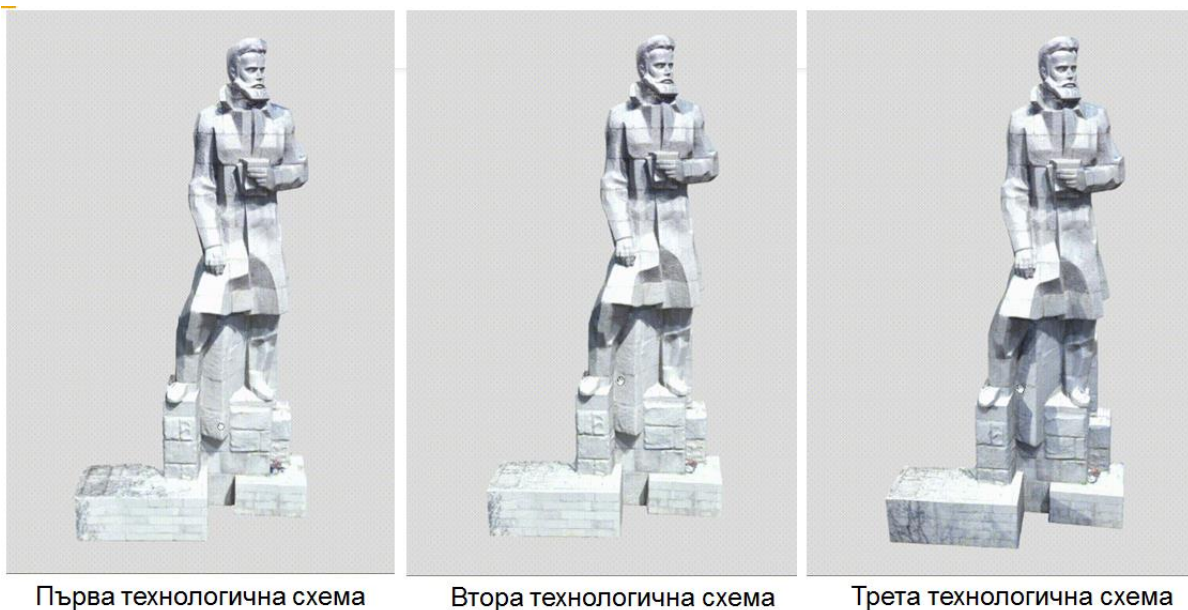
Допълнително, освен създадените 239 маски, за всички изображения от БЛС са създадени още допълнителни 49 на брой маски за използваните изображения от цифровата камера.

Останалите стъпки са идентични с етапите във втората технологична схема.

12. АНАЛИЗ НА ТОЧНОСТТА НА ТРИМЕРНИТЕ МОДЕЛИ

Анализът на точността на получените модели, за всяка от приложените технологични схеми (фиг. 10), е направен посредством сравнение на координатите на идентични точки от модела и от извършените контролни геодезически измервания на терен. Точките, които са използвани за оценка на точността не са използвани като опорни точки при създаването на

тримерните модели. За анализ на точността са използвани 30 контролни точки, измерени по характерни чупки и елементи от паметника.



Фиг. 10. Създадените тримерни модели

За оценка на точността на трите модела са изчислени средна аритметична грешка (форм. 1) и средна квадратна грешка (форм. 2).

Средната аритметична грешка представлява средно аритметичната стойност на абсолютните стойности на всички грешки от реда.

$$(1) \quad s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\varepsilon_i| = \frac{|\varepsilon_1| + |\varepsilon_2| + \dots + |\varepsilon_n|}{n},$$

където: s – средна аритметична грешка, n – брой измервания, ε_i – грешки.

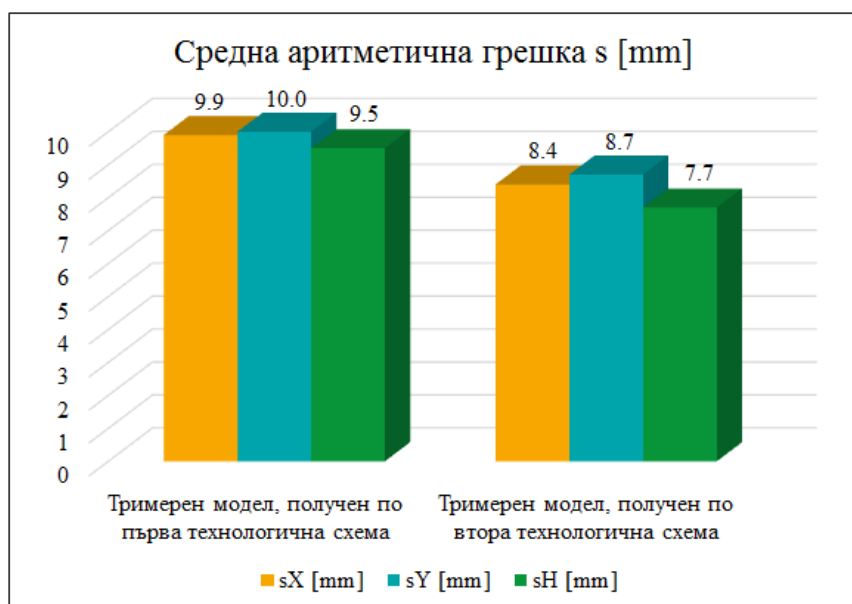
Средната квадратна грешка се изчислява като корен квадратен от сумата на квадратите на всички грешки, разделена на броя на измерванията.

$$(2) \quad m = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2} = \sqrt{\frac{\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \dots + \varepsilon_n^2}{n}},$$

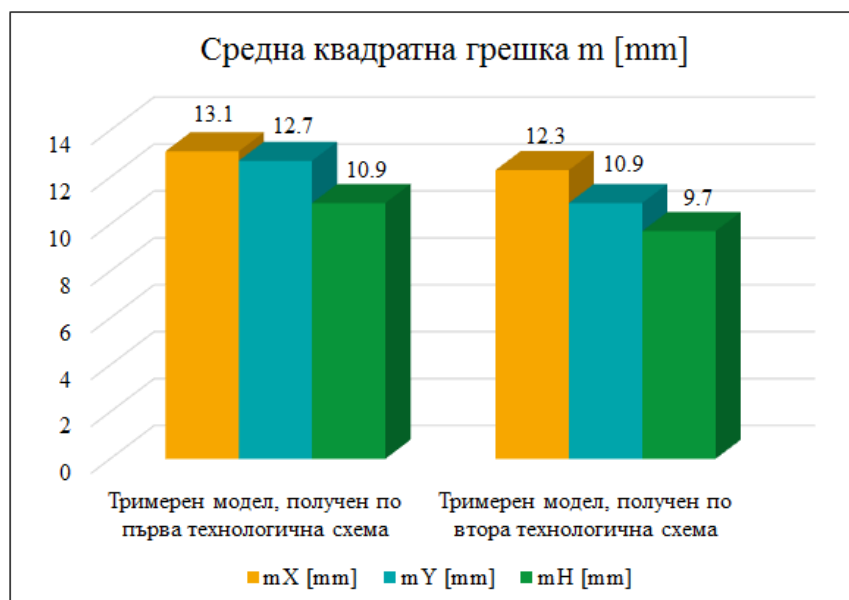
където: m – средна квадратна грешка, n – брой измервания, ε_i – грешки.

По отношение на технологичните схеми, в които са използвани идентични изходни данни, при прилагане на втората технологична схема са получени по-малки грешки в сравнение с получения модел от първата технологична схема.

Извършени са сравнителни анализи и по отношение на облаците от точки и размера на терения елемент между трите модела. Моделът получен чрез третата технологична схема е по-детайлен, по-точен ($s_x = 7.3 \text{ mm}$, $s_y = 7.3 \text{ mm}$, $s_h = 6.6 \text{ mm}$; $m_x = 9.8 \text{ mm}$, $m_y = 10.3 \text{ mm}$, $m_h = 9.2 \text{ mm}$) и с по-добра текстура.



Фиг. 11. Сравнителен анализ на средната аритметична грешка



Фиг. 12. Сравнителен анализ на средната квадратна грешка

13. ИЗРАБОТВАНЕ НА ВЕКТОРЕН МОДЕЛ НА ОБЕКТА

Векторният модел представлява графично представяне, при което се извършва преобразуване на изображение от растерна форма (състояща се от пиксели) във векторна форма (състояща се от геометрични обекти като точки, линии и полигони). Този процес се нарича векторизиране.

Векторният модел е създаден в среда на програмния продукт AutoCAD, където са векторизирани всички елементи, характеризиращи паметника. Използвана е ортофотомозайката в изглед анфас на паметника, получена от прилагането на третата технологична схема, която е с размери 4001x6783 px и е създадена с размер на пиксела 0.003 m.

14. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Документирането на обекти, чрез използване на различни технологии, намира широко приложение. Тримерното фотореалистично моделиране става все по-значимо и е обект на научно-изследователски интерес от много специалисти.

Заснемането с БЛС и цифрова камера както поотделно, така и в комбинация от двете технологии, дава възможност за получаване на точни и детайлни крайни продукти на изследвания обект, а именно паметникът на Христо Ботев в гр. Калофер.

От направените анализи на приложените технологични схеми изводът, който може да се направи е, че при обработката на резултатите от заснеманията, важни етапи са извършването на филтрация на редкия облак от точки, оптимизирането на камерата и съответно на елементите на вътрешно ориентиране, както и създаването на маски. Тези процеси повишават точността не само по отношение на средната квадратна грешка, но и по отношение на геометрията, текстурата и качеството на 3D модела.

Извършването на заснемане с цифрова камера дава възможност да се документират по-ниските части на обекта, където има наличие на съществени ситуационни елементи, които не позволяват облитането с БЛС. От своя страна използването на БЛС позволява да се заснемат по-високите части на паметника, където използването на цифрова камера не е приложимо. Друго предимство на приложените технологични схеми и е възможността да се контролира експонирането на изображенията, чрез параметрите на заснемане.

Заснемането с БЛС и цифрова камера, както и приложените етапи на обработка на трите технологични схеми в разработката са приложими за създаване на качествени фотореалистични модели с висока точност за обекти с подобни характеристики, като тези на паметника на Христо Ботев.

10. ЛИТЕРАТУРА

1. Динков Д., Триизмерно (3D) моделиране на обекти на културно-историческото наследство с използване на безпилотни летателни системи, София. Българска академия на науките, 2018
2. Малджански П. Развитие на методите за заснемане и обработка на данни в архитектурната фотограмметрия. София. "ТЕС Дизайн". 2012
3. Fonstad M., J. Dietrich, B. Courville и J. Jensen. Topographic structure from motion: a new development in photogrammetric measurement, Earth Surface Processes and Landforms. 2013
4. Khalaf A., T. Ataiwe, I. Mohammed и A. Kareem. 3D Digital modeling for archeology using close range photogrammetry
5. Rossi A., H. Rhody и C. Salvaggio, Abstracted workflow framework with a structure from motion application, New York: Western New York Image Processing Workshop. 2012
6. Westboy M., J. Brasington, N. Glasser, M. Hambrey и J. Reynolds. "Structure-from-Motion" photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications, Geomorphology, 2012.

АДРЕСИ НА АВТОРИТЕ

1. Инж. Албена Узунова
Университет по архитектура, строителство и геодезия
Бул. „Христо Смирненски“ № 1, София 1164, България
Тел. +359 882972349
Gfac.5039@uacg.bg
2. Д-р инж. Цветелина Атанасова-Евденова
Университет по архитектура строителство и геодезия
Бул. „Христо Смирненски“ № 1, София 1164, България
Тел: +359 897855939
Tsatanasova_fgs@uacg.bg

XXXIV INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON
MODERN TECHNOLOGIES, EDUCATION AND PROFESSIONAL PRACTICE IN
GEODESY AND RELATED FIELDS
Sofia, 06 – 08 November 2024

**ГЕОДЕЗИЯТА И ВЕРТИКАЛНОТО ПЛАНИРАНЕ В ОБУЧЕНИЕТО НА СПЕЦИАЛИСТИ
ПО ЛАНДШАФТНА АРХИТЕКТУРА, КЛАСИЧЕСКИ И СЪВРЕМЕННИ МЕТОДИ НА
ПРИЛОЖЕНИЕ**

Гл. ас. д-р инж. Милена Данаилова, ЛТУ

**GEODESY AND VERTICAL PLANNING IN THE LANDSCAPE ARCHITECTURE
TRAINING, CLASSICAL AND MODERN APPLICATION METHODS**

Chief Assist. Prof. PhD Milena Danailova, UF

РЕЗЮМЕ

Настоящата публикация описва същността и задачите на вертикалното планиране в ландшафтната архитектура. В нея е направен кратък исторически преглед на развитието на вертикалното планиране от античността до наши дни. Вниманието е насочено към създаването на първите наредби и правила за работа, както и учебни помагала. Разгледани са класическите методи и етапи на вертикалното планиране, въведени в обучението на специалистите по ландшафтната архитектура. Представени са съвременни подходи за събиране на пространствени данни от налични архиви, посредством директни геодезически измервания и чрез дистанционни методи. Анализирани са софтуерни продукти подходящи за приложение при вертикалното планиране и 3D моделирането в ландшафтната архитектура. Направени са препоръки за въвеждане на съвременните методи в учебния процес.

Ключови думи: вертикално планиране, 3D моделиране, ландшафтна архитектура, пространствени данни.

SUMMARY

This publication describes the essence and tasks of vertical planning in landscape architecture. It provides a brief historical overview of the development of vertical planning from antiquity period to the present days. The attention is focused on the first working regulations and rules in the vertical planning as well as training materials. The classical methods and stages of vertical planning, implemented in the training of specialists in landscape architecture are reviewed. Modern approaches for collecting spatial data from available archives, through direct geodetic measurements, and remote sensing methods are presented. Software products suitable for application in vertical planning and 3D modelling in landscape architecture are analysed. Recommendations are made for implementing of modern methods in the educational process.

Keywords: vertical planning, 3D modelling, landscape architecture, spatial data.

АДРЕС НА АВТОРА

Гл. ас. д-р инж. Милена Данаилова/ Chief Assist. Prof. PhD Eng. Milena Danailova

Лесотехнически университет/ University of Forestry
Бул. „Климент Охридски“, №10, 1756 гр. София/ Bulgaria, Sofia 1756, 10 Kliment Ohridski
Blvd.
Email: mdanailova@gmail.com

**КЛИМАТИЧНИТЕ ПРОМЕНИ И ОБРАЗОВАНИЕТО ПО ФОТОГРАМЕТРИЯ И ДРУГИ
ДИСТАНЦИОННИ МЕТОДИ**

Доц. д-р инж. Нели Здравчева, УАСГ

**CLIMATE CHANGE AND EDUCATION IN PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE
SENSING**

Assoc. Prof. Dr. Eng. Nely Zdravcheva

SUMMARY

The author, by profession a teacher in the field of training in technical disciplines and an engineer in geodesy, photogrammetry, and cartography, examines modern climate problems and the role of remote sensing in providing information about them. The importance of GIS for the storage, accumulation, updating, and analysis of remotely received data and for the creation of mathematical models and climate forecasts is also analyzed. The paper also draws attention to the role of modern higher technical education [in particular, that of photogrammetry and remote sensing (PRS)] for optimal study of climate changes and the training of personnel to contribute to their timely research and neutralization

Keywords: photogrammetric and remote sensing methods, GIS, climate change.

РЕЗЮМЕ

Авторът, по професия педагог в областта на обучението по технически дисциплини и инженер по геодезия, фотограмметрия и картография, разглежда съвременните климатични промени и ролята на дистанционните изследвания за осигуряването на информация за тях. Анализирана е и ролята на ГИС за съхранението, натрупването, актуализирането, анализирането на дистанционно получените данни и за създаването на математически модели и прогнози за климата. В доклада е отделено внимание и на ролята на съвременното висше техническо образование (в частност това по фотограмметрия и дистанционни методи (ФДМ)) за оптималното изучаване на климатичните промени и подготовката на кадри, които да допринесат за своевременното им изследване и неутрализиране.

Ключови думи: фотограметрични и дистанционни методи, ГИС, климатични промени.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

През последните години в световен мащаб се наблюдава стремително увеличаване на броя на тревожни климатични промени (КП), пораждащи множество големи природни бедствия. Тяхната динамика се характеризира с експоненциална крива на нарастването им. КП се явяват реална заплаха за живота и здравето на хората и за равновесието на екосистемите и причиняват огромни щети от различен характер. Вече за никого не е тайна, че понастоящем климатичните катаклизми придобиват все по-синхронен характер и се случват внезапно дори на места, където

традиционно не са наблюдавани. Заради тях много жители на земята изведнъж се превръщат в климатични бежанци и изпитват кошмар, защото са лишени от спокойния си живот и от цялото си имущество. Ето защо разглежданата тема е не просто актуална, но и жизненоважна. Преди няколко месеца прогресивният световноизвестен учен Егон Чолакян направи няколко спешни обръщения [4], [5], [6], [7] към световните лидери и към всички хора на планетата след участието си в съвместната сесия на Нобеловия комитет и Националната академия на науките във Вашингтон, където са обсъждани въпросите за мисинформацията и дезинформацията. За него това става повратна точка, тъй като се е шокирал от факта „колко е огромен обемът на недостоверната информация около проблема с изменението на климата“. Това подбужда Чолакян да направи тези изявления и апелира, че „въпросът е НЕОТЛОЖЕН и е от първостепенно значение за оцеляването на всичко живо на нашата планета“.

2. НАКРАТКО ЗА КЛИМАТА, КЛИМАТИЧНИТЕ ПРОМЕНИ И ИЗУЧАВНЕТО ИМ ЧРЕЗ ФДМ

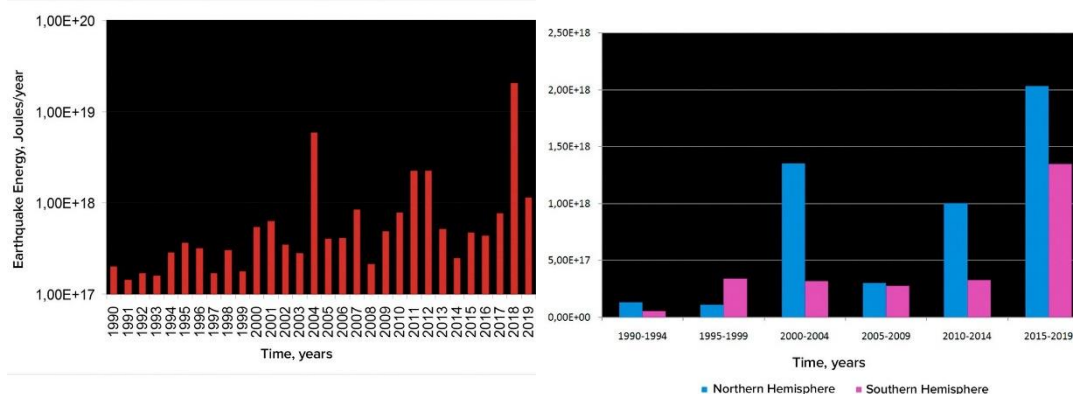
Климатът [9] (от гръцки: κλίμα (klimatos) – наклон) е многогодишен статистически режим на времето, характерен за дадена местност (в зависимост от географското ѝ положение). Неговото изучаване се базира на определянето на средните стойности на отделни метеорологични елементи въз основа на дългогодишни данни за тях. Въпреки че такива измервания се правят от преди повече от 250 години, сред всички известни методи и източници на данни за климата и климатичните промени ярко се откроява ролята на съвременните дистанционни методи (ФДМ). Това никак не е случайно, защото те осигуряват напълно обективни, естествено генерализирани, икономически изгодни, повсеместни, достъпни, надеждни, геореферирани, пространствени, количествени и качествени данни за климатичните фактори както на сушата, така и във високите части на атмосферата и океаните в почти реално време и при това от разстояние (чрез дистанционно изследване – без да е необходим пряк физически контакт с изследваните обекти и явления и без да се нанасят екологични щети).

Дистанционното изследване на климата на Земята и неговото изменение се основава на анализа, измерването и тематичното интерпретиране на данни и изображения, получени от множество сензори, работещи в различни спектрални диапазони на ЕМС. Ефективността и качеството на ДИ се определя от много фактори – вида на спътниците и техните орбити, параметрите на конкретните системи за ДИ (пространственото, спектралното, радиометричното, времевото разрешение и т.н.), от софтуерните продукти и методите за обработка на данните и изображенията [2] (като компютърна класификация и др.) от симбиозата на ФДМ с ГИС. Те се явяват едни от най-оптималните съвременни средства за извършване на климатичен и екологичен мониторинг, който авторът на доклада анализира в [8]. Днес с гордост може да се заяви, че са изведени в орбита множество метеорологични спътници и е изградена световна мрежа за наблюдения и доставяне на данни за различните климатични фактори, която обхваща цялото земно кълбо, и основна заслуга за това имат ФДМ. Данните от тях се използват, за да се определят стойности на климатичните фактори, да се създават модели на многогодишния режим на времето, тъй като климатът представлява съвкупност от метеорологичните елементи, които характеризират средното състояние на атмосферата в конкретно място от земната повърхност.

Основните климато-образуващи фактори са слънчевата радиация, атмосферната циркулация и вида на земно покритие (постилащата повърхност на Земята). Слънчевата радиация се явява главен фактор, защото именно топлинният ефект на ЕМЕ определя в най-голяма степен формирането на климата. Радиацията, излъчвана от Слънцето, нагрива почвата и всички обекти, разположени върху земната повърхност, които от своя страна излъчват топлина и по този начин формират температурата на въздуха. Освен от ъгъла, под който падат слънчевите лъчи, затоплянето зависи и от земната повърхност (от характеристиките на релефа, водните басейни, растителността и т.н.). В този аспект ФДМ се явяват основно средство за доставянето на обективни, точни и актуални данни и за тях. Ролята на атмосферната циркулация (която е неразривно свързана със слънчевата радиация) като климато-образуващ фактор се определя предимно от ветровете (постоянни или периодични) чрез тяхното климатично въздействие върху циклоните и антициклоните. При срещата на въздушни маси с различна температура и влажност се получава сблъсък помежду им и така (на границата между тях) се формира атмосферен фронт. Промените в разпределението на атмосферното налягане създават условия както за хоризонтално, така и за кръгово движение на въздушните маси. По този начин се образуват циклоните и антициклоните [9]. Понастоящем те се изучават предимно

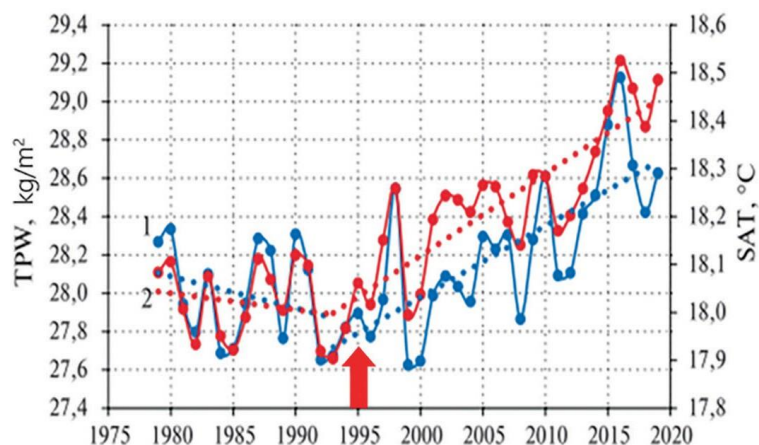
чрез дистанционно придобитите данни от метеорологичните спътници [2]. Важни климатични фактори са географското положение, надморската височина, водните басейни, океанските, морските и въздушните течения, релефа, растителността, химическия състав на атмосферата и т.н. Те формират отделните климатични елементи (валежи, облачност, мъгла, вятър, температура и влажност на въздуха, атмосферно налягане), които се явяват конкретна проява на климата в дадено място и за определен период от време. В съвременната климатология има различни системи за групиране на местните климати в климатични зони. Класификацията на Кьопен [9] се основава на средните месечни и годишни температури и количествата на валежите. Нейната основополагаща идея е, че местната флора най-добре отразява климатичните особености. Ето защо границите на климатични зони са сходни с тези на съответни фитогеографски области. Тази класификация най-добре кореспондира с ФДМ, тъй като те предоставят големи възможности за изучаването на растителността (чрез използването на изображения, създадени чрез различни вегетационни индекси). Информацията, предоставена от ФДМ, се използва успешно за изготвянето на краткосрочни и дългосрочни прогнози на времето, за редица научно-приложни изследвания, за изучаването на тенденциите в изменението на климата, за изследването и прогнозирането на различни климатични бедствия и др.

Въз основа на натрупаните научни данни се установяват множество съвременни климатични промени, някои от които са обобщени в следващото изложение. Така например се наблюдава ясно изразена тенденция на аномално повишаване на сеизмичната активност на цялата ни планета. Обезпокоително е значителното нарастване както на броя на земетресенията, така и на магнитуда и енергията им. Според данните на Международния сеизмологичен център (ISC) от 1990 г. насам се наблюдава повишаване на енергията на земетресенията по цялата планета (континентите и океанското дъно). На фиг. 1 са показани графики на енергията на земетресенията.



Фиг. 1. Графики на енергията на земетресенията по години. Източник на графиките: <https://regnum.ru/article/3101660>, <https://regnum.ru/article/2913426>

През 2023 г. за първи път в историята на изучаването на климата във всеки океански басейн е регистрирано образуването на тропически циклон от 5-та категория (който е най-високият по сила). На практика всеки ураган от тази категория поставя рекорд по сила, продължителност и скорост на усилване в сравнение с ураганите от предходните години [10]. Например ураганът „Отис“ само за 12 часа се трансформира от обикновена тропическа буря до ураган от 5-та категория и нанася разрушителни поражения. Такова катастрофално увеличаване на скоростта на урагания вятър се дължи на аномалното затопляне на океана, което авторът на доклада разглежда в [1]. Загряването му предизвиква отделянето на все по-голямо количество влага в атмосферата. Ето защо през периода от 1995 г. насам се регистрира значителен ръст на съдържанието на влага в атмосферата над океана. Графиките на фиг. 2 нагледно показват измененията на изпарението на океана и температурата на въздуха над повърхността му. След 1995 г. те непрекъснато се увеличават и разкриват тревожна тенденция на затопляне на световния океан и атмосферата над него.



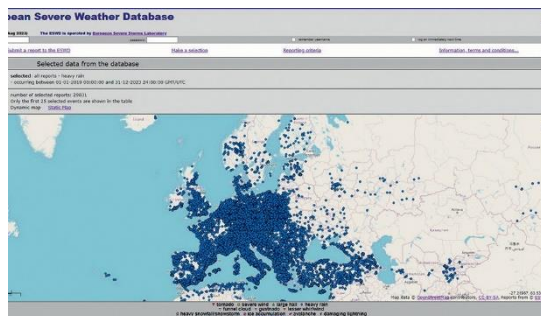
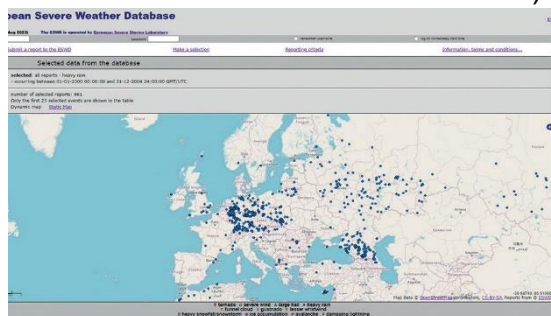
Фиг. 2. Годишни стойности на влагата в атмосферата (1 в син цвят kg/m^2) и на температурата на въздуха (2 в червен цвят в $^{\circ}\text{C}$) над Световния океан. Източник: Малинин В. Н., Вайновски П. А.) Тенденции на компонентите на влаго-обмена в системата океан-атмосфера в условията на глобалното затопляне, данни от архива на Reanalysis// Съвременни проблеми на дистанционното зондиране на Земята от космоса. Т. 18. – 2021, №3. С. 9-25, DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-3-9-25)

Повишената влажност на въздуха (в резултат на по-голямото изпаряване от океаните) поражда и значително увеличаване и на тревожни хидрометеорологични явления като тропически урагани, бури и торнадо, аномални температури, валежи и наводнения. Така например, както се вижда (фиг. 10) от Европейската база данни за опасни метеорологични явления (ESWD) броят на торнадата в Европа от 1970 г. до 2023 г. се е увеличил 18 пъти – от 45 торнада годишно през периода 1970 – 1979 г. до над 800 годишно през 2014 – 2023 г. Особена тревога предизвиква и фактът, че понастоящем торнадата и ураганите се образуват в региони, където никога преди това не е имало, което поражда несигурност за населението.



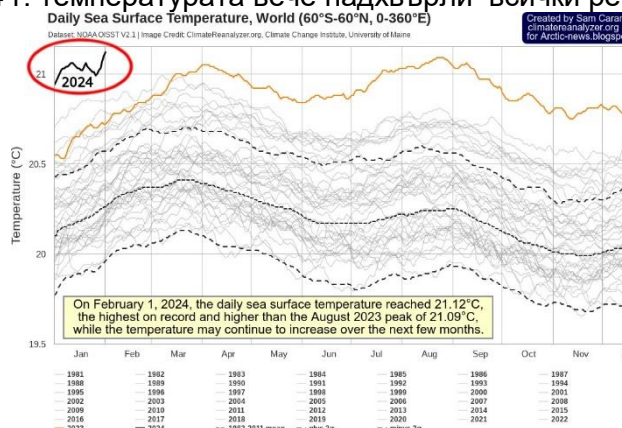
Фиг. 3. Ръст на загубите от силни бури в САЩ със щети за повече от 1 милиард долара. Източник: Национална служба за изследване на океаните и атмосферата, САЩ (NOAA) National Centers for Environmental Information (NCEI) U.S. Billion-Dollar Weather and Climate Disasters. (2024). (<https://www.ncei.noaa.gov/access/billions/>), DOI: 10.25921/stkw-7w73

Друга, не по-малко тревожна, тенденция е значителното увеличение на честотата на аномалните валежи и рекордните порои (аномални са тези валежи, които надвишават климатичната норма по интензивност, продължителност или честота). Според Европейската база данни за лошо време (ESWD), докато през периода от 2000 до 2004 г. са регистрирани 661 аномални валежи, то от 2019 до 2023 г. техният брой е нараснал цели 44 пъти и броят им достига 29 031. Картата на фиг. 4 нагледно показва разпределението на аномалните валежи в Европа през два петгодишни периода: 2000 – 2004 г. и 2019 – 2023 г. (със сини точки са обозначени местата с аномални валежи).



Фиг. 4. Аномални валежи в Европа: а) 2000 – 2004 г., б) 2019 – 2023 г. Източник: Европейска база данни за опасни климатични явления (ESWD)

Абсолютен рекорд на покачването на температурите на океанската повърхност за цялата история на наблюденията бе регистриран през 2023 г. (фиг. 5). Още по-обезпокояващ е фактът, че през настоящата 2024 г. температурата вече надхвърли всички рекорди на 2023 г.



Фиг. 5. Най-високата температура на океана, регистрирана някога. Среднодневна температура на повърхността на океана, 1981 – 2024 г. Източник на данните: Dataset NOAA OISST V2.1 | Image Credit: ClimateReanalyzer.org, Climate Change Institute, University of Maine, Dataset. NOAA OISS

3. МОДЕЛИ НА КП И РОЛЯТА НА ОБРАЗОВАНИЕТО ПО ФДМ

Въз основа на ФДМ и многобройни други научни изследвания понастоящем е натрупана ценна информация, разкриваща реалното състояние на климата. Съвременните ГИС се явяват оптимална среда за нейното съхранение, натрупване и актуализиране. Тези данни са безценни за създаването на различни модели и прогнозни оценки за изменението на климата.

Така например, през 20-те години на XX век сръбският учен Милутин Миланкович разработва теория, според която основните климатични промени се дължат на слънчевото лъчение, което достига до Земята и зависи от орбиталните фактори: ексцентрицитет на земната орбита (0,0167) с период на изменение 92 000 г.; наклон на земната ос ($23,45^\circ$) с период 41 000 г.; прецесия (преместване на пролетната равноденствена точка) с период 21 000 г. Тези фактори предизвикват ледниковите периоди, както и затоплянето на климата на Земята. За демонстрация на съчетаването на тези фактори Миланкович изчислява колебанията на слънчевото лъчение на еквивалентна географска ширина 65° N [1].

Съществуват теории, че промените в климата се дължат не само на природни причини, но и на човека [2] и че „съвременната антропогенна дейност е съизмерима с дейността на стихийните природни процеси. В настоящия момент е изкривена естествената отразителна способност на Земята, вследствие изсичане на гори, разораване на земеделски земи, създаване на изкуствени водни площи и т.н. Анализите показват, че вследствие на затоплянето обемът на ледниците на Земята годишно намалява с около 250 km^3 [3]. По данни от спътникови снимки през последните 25 години от леда са освободени значителни крайбрежни територии на о. Гренландия. Съществуват и разчети за максималното възможно повишение на нивото на Световния океан при разтопяване на всички ледници [3]. Най-често изучаването и прогнозирането на климатични промени се осъществява посредством числени модели, поради което някои учени наричат колегите си „алармисти“ и изказват резерви по отношение точността на дългосрочните прогнози [1].

В своята лекция [11] пред академичната общност в БАН академик Тодор Николов заявява, че „Климатът на Земята и климатичните промени през милиардната история на планетата Земя са се определяли от множество фактори, които си взаимодействат помежду си. Наивно е да се твърди, че глобалното затопляне на планетата ни е предизвикано само от човека и е започнало преди малко повече от столетие, и има научни доказателства за това.“ и че „Сега в обхвата на това течение са политици и дипломати от най-висок ранг, начело с Междуправителствения панел за климатични промени (МПКП) (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) в структурата на ООН. Днес в много страни има министри, комисари и други от този род, които са се заели с „управление на климата“ и „Някой да е чул

какви успехи имат тези усилия на политиците (при използване на колосални средства!) за спирането на климатичните колебания? Същите нулеви резултати ще има, ако се опитаме да спрем въртенето на Земята около Слънцето или да отдалечим нашата планета на по-голямо разстояние от Слънцето, макар че за това има (луди) идеи!“ [11]. Той посочва още, че всички фактори, които влияят върху климата на Земята, не се проявяват еднозначно и едновременно, а оказват сложни взаимодействия и като вследствие се формират различни климати. „Всъщност това е един фундаментален въпрос в климатологията – за така наречената неединственост на климата.“ Много учени се опитват да намерят отговор на този въпрос. Сред тях се откроява американският метеоролог Едуард Нортън Лоренц, който е сред основателите на съвременната динамична метеорология. Неговият труд „Детерминирано неперiodично поведение“ се счита за основополагащ в теорията на хаоса. Лоренц достига до своите идеи за хаоса по време на математическото моделиране на глобалното метеорологично време. Според него климатът на Земята не може да бъде един-единствен за дълги периоди и образно обяснява, че метеорологичното време е „динамична система с пет милиона променливи“. Лоренц заявява, че „климатичната система е чувствителна и към малки пертурбации (изменения), и че тази чувствителност може да бъде даже по-висока, отколкото ни внушават моделите. В подкрепа на това се явява метафоричният израз „Ефект на пеперудата“ [11]. В това отношение трябва да се отбележат приносите на българския учен акад. Стойчо Панчев в теорията на хаоса и динамиката на метеорологическите процеси. Академик Тодор Николов обобщава, че „В реалността, в която живеем и наблюдаваме климатични промени с тревожни тенденции, като глобалното затопляне, единственият разумен изход остава по-дълбоко опознаване на закономерностите в глобалните колебания на климатите в историята на Земята. Внушаването, че можем да спрем сегашната тенденция към леко повишение на температурите на Земята е наивно. А това се втъпява на хората от поредица личности, които нямат нищо общо с науката.“ „Ако е позволено да се помолим: нека да спрат спекулациите поне за началото на глобалното затопляне – науката е показала и доказала, че този процес започва в началото на холоцена, т.е. преди 12 000 – 10 000 г. Тази тенденция продължава и до днес и това е ход на естествен процес. Неоспоримо е обаче влиянието на човека върху този процес. Той допълва, че за преодоляване на основните трудности, свързани с КП и състоянието на природата са необходими съвременни познания както в хуманитарните, така и за природните науки. „Само така могат да се преодолеят заблуждения и предразсъдъци, защото обикновено хората, по изразу на Монтен, вярват на това, което познават най-малко.“ [11].

В [1] авторът на доклада анализира математическия модел на КП на Чолакян, който показва геометрична прогресия в нарастването на климатичните катастрофи, които може да доведат до гибелта на човечеството през близките години. Той изтъква, че в неговите обръщения истината за климатичните изменения се разкрива за първи път на широката общественост и с огромна загриженост заявява: „Нашата планета е на ръба на самоунищожението и на човечеството му остават само няколко години, за да предотврати предстоящата катастрофа.“ Според Чолакян последиците от грешни модели и тенденциозни, или комерсиално ориентирани предположения на някои учени може да се окажат не само негативни в социално-икономическо отношение, но и катастрофални за съдбата на човечеството. Всеки жител на земята има право да знае на какво се дължат тревожните климатични промени, какви са шансовете и как реално човечеството може да се спаси. В своите обръщения [4], [5], [6], [7] той буквално бие тревога, разкривайки за първи път пред широката общественост истинските и шокиращи причини за негативните климатични изменения и аномалии, които ескалират в световен мащаб. Чолакян изтъква, че те се дължат на цикличните въздействия на космическа енергия през период от 12000 и 24000 г. върху Земята (заради които сега постъпва все по-голямо количество космическа енергия), на състоянието на „имунната система на Земята“ (което не е никак добро) и защото Световният океан вече не може да изпълнява своята функция на естествен „климатик“ и спира да охлажда земните недра (тъй като е пълен с микропластмасови отпадъци и други отровни вещества) и като следствие се натрупва голямо количество ендогенна енергия, и т.н. Той предупреждава „нашите океани са загубили способността си да функционират като компенсаторен и охлаждащ механизъм“ и „нашата планета е на ръба на самоунищожението, а на човечеството му остават само няколко години, за да предотврати тази предстояща катастрофа“, и „Ние, хората, сме започнали война срещу океаните. Ние

съзнателно нарушихме способността на океана за саморегулираща топлопроводимост, заразявайки масово неговите води със замърсители“. Данните в графиките, анализирани в [1], разкриват ясно изразена тенденция на нарастване на нарушенията на баланса на функциониране на нашата планета, което предизвиква стремително нарастване на броя и силата на екстремни атмосферни явления, включващи урагани, торнадо, необичайни валежи, предизвикващи наводнения, засилване на геодинамичните процеси, водещи до увеличаването на бедствия като земетресения и вулканични изригвания. Освен това, Чолакян потвърждава достоверността на математическите модели за нарастването на тревожните КП, разработен от група прогресивни учени от международния обществен проект „Съзидателно общество“ [5]. Той изтъква, че лично е проверил изчисленията и математическите модели. Имайки предвид тези и други подобни модели и изследвания на редица прогресивни учени в своите спешни обръщения [4], [5], [6], [7], отправени както към световните лидери, така и към всички учени и обикновени жители на планетата ни, той буквално „бие тревога“ и алармира за спешната необходимост от реални действия в следните основни направления [4]: Изграждане на единен световен научен център, който да обединява всички учени, и който да има достъп до всички налични научни лаборатории и институции по целия свят, както и до цялата научна информация, натрупана до сега във всички научни направления и за всички части на планетата ни; Реално обединение на всички отделни науки и научни направления специалности, тъй като на практика до сега те действат доста изолирано една от друга; Чолакян посочва, че за да се справи своевременно с чукащите на вратата ни животозастрашаващи климатични промени и за да не се пропусне последният шанс за спасяването на цивилизацията ни е необходимо изграждането на съзидателно общество (на пиедестала, на което са опазването и съхраняването на човешкия живот и хармонията и равновесието в природата), което да замени сегашния потребителски формат и консуматорски подход към природата; Необходимо е осъзнаване на факта, че Земята е единен жив организъм и няма как да се „излекува“ само на територията на отделни държави, а е необходимо реално обединение на всички за своевременното справяне с тревожните климатични промени (свързани с космическите въздействия, с измененията и процесите, протичащи в земното ядро, с катастрофалното замърсяване на Световния океан и унищожаването на способността му да охлажда планетата ни и т.н.).

За реализирането на така посочените дейности и въобще за оптималното изучаване и изследване на климатичните промени е важна подготовката на технически кадри в тази област, които в същото време да бъдат и хора с правилна ценностна система. Важна роля за формирането на истински знаещи, можещи и отговорни, почтени личности има обученото. Образованието трябва да се разглежда като изключително важна сфера от целокупния обществен живот, защото чрез нея се осъществява мост между поколенията и по този начин се запазват във времето изконни познания. Доброто преподаване е наука, изкуство и призвание. Обучението е ефективно и качествено, когато се основава на определени научно обосновани и педагогически ефективни принципи и съвременни технически средства. Но е важно и то се осъществява със страст, всеотдайност и любов. Така може да постигне своите основни цели – да бъде облагородяващо и да насърчава развитието, отговорността и грижата за опазване на човешкия живот и хармонията в природата у младите хора.

Ние сме новодомци във Вселената и сме в детски стадий в изучаването на нейните закони. Затова на студентите би следвало да се разяснява, че в университетите се изучават хипотези. Не е добра идея да се налагат сляпо наложени се теории. Важно е да се анализират различни гледни точки като например, разгледаните по-горе модели за изменението на климата. Изложението на всяка тема би следвало да започва с думите „Може би грешим, но на този етап от развитието науката счита че,...“. В същото време е необходимо да се насърчава творческото мислене и изследователският подход при обучението на студентите, а не „магнетофонното“ възпроизвеждане на мислите на „авторитетите“.

В сферата на научните изследвания е необходимо да се преосмислят съществуващите теории и от време на време да „чупят старите микроскопи“ – да се „поглежда от нови върхове“ както към природните явления, така и към познанието за човешката същност. Най-големият проблем на съвременното общество е дисбалансът и несъответствието между високоразвитите технологии и степента на човешкото израстване.

Високите технологии в ръцете на хора с неправилно изградена ценностна система не са предимство, а по-скоро опасност и заплаха за обществото и природата. Именно образованието е призвано да способства изграждането на правилна ценностна система и да създава качествени личности. Днес имаме доста високо развити технологии, но те сякаш способстват проявлението на тъмните човешки черти като алчност, жажда за власт, екологична безотговорност и т.н. Трябва да се изтъкне, че оптималният подход в образованието далеч не се свежда единствено до поднасянето на конкретна актуална професионална научна и практическа информация. Той е начин на организация на учебния процес и творчески подход при преподаването, което да способства формирането на правилна ценностна система, на креативно и хуманно мислене у подрастващите. Тези ценни компетенции, придобити от студентите, оказват благоприятно влияние както върху качеството на учебния процес, така и върху бъдещата професионална и житейска реализация на младите инженери. Те трябва да бъдат личности, което ще рече да бъдат индивиди, притежаващи духовни качества. Точно те отличават човека от роботите и животните. Та нали технологиите не бива да са самоцел, а средство, път и начин за усъвършенстване и подобряване на живота на отделния човек, на обществото, и на Земята като цяло.

Високите изискванията към висшето техническо образование и в условията на технологичен прогрес, и глобални комуникации, могат да бъдат изпълнени, ако висшето техническо образование осигурява подготовката на креативни висшисти с възвишени хуманни качества и професионални компетенции. Несъмнено най-значимият и ценен компонент на всяко общество е човешкият в лицето на добре подготвените специалисти. Днешните студенти в техническите ВУЗ-ове са не само бъдещи инженери, нещо повече – те са част от хората, от които се очаква да заемат ръководни позиции, да вземат важни управленски решения за добруването на хората и опазването на хармонията в природата. За тяхната успешна подготовка е необходимо съвременното висше техническо образование да се базира на оптимални подходи и средства, които откриват нови хоризонти пред него. В образованието трябва да е залегнало разбирането, че човечеството не трябва да се стреми да подчинява природата на своите потребителски интереси, а прекланяйки се пред нейното могъщество и интелигентност да се стреми да изучава нейните закони и да я опазва. Образованието трябва да допринася за преосмислянето на приоритетите на обществото и за разширяването на дефиницията за богатство, която трябва да включва висши ценности познанието, опазването на хармонията в природата, развитието на човешкия потенциал и любовта между хората. Така за човечеството ще отпаднат много от сегашните проблеми и ще се открие възможност за спасяването на планетата Земя и човешката цивилизация.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Съвременните ФДМ осигуряват ежедневно повсеместна и обективна информация за множество параметри, разкриващи тревожни съвременни климатични промени. Важно е нейното съхранение, натрупване и актуализиране, което се осъществява най-оптимално в средата на ГИС. Голям проблем обаче е фактът, че тази информация и създадените математическите модели на климатичните изменения (които се влошават експоненциално) не са достояние на широката общественост и не намират място в образователната система. И тъй като, образно казано, „къщата ни гори“, за да се справим с тревожните климатични промени и с останалите наболели проблеми, човечеството трябва спешно да преосмисли своята ценностна система и да се откаже от концепцията за финансови богатства и власт на всяка цена и дори за сметка на щастливия човешки живот на всеки жител и екологичното равновесие в природата. В тази връзка ролята на образованието (и в частност на това по ФДМ) за формирането на знаещи и отговорни личности е много важно. Политиката, богатствата, науката, технологиите и всичко останало в нашия живот не биха имали никакъв смисъл, ако противостоят на тази висша общочовешка и планетарна цел.

5. ЛИТЕРАТУРА

1. Здравчева, Н. Д., Фотограметрични и дистанционни методи за изследване на световния океан, доклад на XXXIII Международен симпозиум "Съвременните технологии, образованието и

- професионалната практика в геодезията и свързаните с нея области", НТС, София, 1-3 ноември 2023 г.
2. Кашкин, В. Б.- Цифровая обработка аэрокосмических изображений, ИПК СФУ, Красноярск, 2008, ISBN 978-5-7638-1394-4
 3. Пейчев В. Д., Димитров Д. П., „Океанология“, Издателство ОНГЪЛ, Варна, 2012, ISBN 978-954-8279-82-6
 4. Cholakian, Egon, SaveScience Collaborative <http://earthssavesciencecollaborative.com>
 5. Cholakian, Egon Global Climate Threat: Urgent Address to the World Science Community <https://www.youtube.com/watch?v=1NxoQUpvEJg> и на български език <https://www.youtube.com/watch?v=8uravBUgZm4>
 6. Cholakian Egon, Urgent Appeal: Engaging Biden, Xi Jinping, and Putin for Immediate Action, <https://www.youtube.com/watch?v=dKBOEZPKfeg> и на български език <https://www.youtube.com/watch?v=vMDAr7bsKSQ>
 8. Cholakian, Egon The Siberia Card: We Are Holding A Very Dangerous Hand, <https://earthssavesciencecollaborative.com/> и на български език <https://www.youtube.com/watch?v=eJqe-c6pdoo>
 9. Zdravcheva N., Hyperspectral environmental monitoring, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, EKO Varna, 2019 IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 614 (2019) 012014 IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/614/1/012014
 10. <https://bg.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BB%D0%B8%D0%BC%D0%B0%D1%82>, 7.10.2024
 11. <https://www.theweathernetwork.com/en/news/weather/1.10.2024>
 12. <https://drive.google.com/file/d/1nIxIMybcAtWwYuK62IL0a3USCTf1pDU3/view>, 8.10.2024

АДРЕС НА АВТОРА

Доц. д-р инж. Нели Димитрова Здравчева
Университет по архитектура строителство и геодезия
бул. „Христо Смирненски“ № 1, София 1164, България
e-mail: neli_z@abv.bg.

17. XXXIV МЕЖДУНАРОДЕН СИМПОЗИУМ
СЪВРЕМЕННИТЕ ТЕХНОЛОГИИ, ОБРАЗОВАНИЕТО И ПРОФЕСИОНАЛНАТА ПРАКТИКА В
ГЕОДЕЗИЯТА И СВЪРЗАНИТЕ С НЕЯ ОБЛАСТИ
София, 06 – 08 ноември 2024 г.

XXXIV INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON
MODERN TECHNOLOGIES, EDUCATION AND PROFESSIONAL PRACTICE IN
GEODESY AND RELATED FIELDS
Sofia, 06 – 08 November 2024

**7TH FIG YOUNG SURVEYORS EUROPEAN MEETING, BUCHAREST (RO), 23 - 24
OCTOBER 2024**

Eng. Vassil Dimitrov

СЕДМА МЛАДЕЖКА ФИГ СРЕЩА В БУКУРЕЩ, 23-24 ОКТОМВРИ 2024 Г.

Инж. Васил Димитров

3. ДОКЛАДИ И ДИСКУСИИ (III) – ПРИЛОЖНА ГЕОДЕЗИЯ, УСТРОЙСТВО И ЗАЩИТА НА ТЕРИТОРИИТЕ

Двата доклада по картография са включени за докладване тук поради разликата във времето между САЩ и България!

18. XXXIV МЕЖДУНАРОДЕН СИМПОЗИУМ
СЪВРЕМЕННИТЕ ТЕХНОЛОГИИ, ОБРАЗОВАНИЕТО И ПРОФЕСИОНАЛНАТА ПРАКТИКА В
ГЕОДЕЗИЯТА И СВЪРЗАНИТЕ С НЕЯ ОБЛАСТИ
София, 06 – 08 ноември 2024 г.

XXXIV INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON
MODERN TECHNOLOGIES, EDUCATION AND PROFESSIONAL PRACTICE IN
GEODESY AND RELATED FIELDS
Sofia, 06 – 08 November 2024

МЕТОД ЗА ИЗЧИСЛЕНИЕ НА ДЕФОРМАЦИИТЕ ПРИ КОНФОРМНИ КАРТОГРАФСКИ ПРОЕКЦИИ

Маг. инж. Симеон Кателиев, докторант, САЩ

METHOD FOR COMPUTATION OF THE DISTORTIONS IN CONFORMAL MAP PROJECTIONS

Eng. Simeon Kateliev, doctoral student, USA

SUMMARY

All map projections (planar coordinate systems) contain so-called distortions (or 'deformations' in Bulgarian), which are the differences between the actual physical distance measured on the Earth's surface and its projection onto the map surface. The different types of distortions in conformal map projections and the method of their computation will be reviewed in this report

Map distortions are an inevitable consequence of flattening a curved surface onto a flat surface (a plane) [4]. The core issue is that when geographic coordinates, which refer to a three-dimensional reference system (ellipsoid or sphere), are represented on a plane (a map), it results in the deformation of lengths, angles, directions, and areas. There are many types of map projections. In conformal (angle-preserving) projections, the equality of angles is preserved, but corresponding differences in distances and areas occur. Distortion cannot be completely eliminated; it is always present in any type of map projection. However, it can be minimized using so-called Low Distortion Projections (LDP).

Keywords: cartography, maps, map projections, coordinate systems, map distortions.

РЕЗЮМЕ

Всички картографски проекции (равнинни координатни системи) съдържат т.нар. деформации или линейни изкривявания, които представляват разликите между истинското физическо разстояние измерено на земната повърхност и неговото проектиране върху картната повърхност. Тук ще бъдат разгледани, систематизирани и оценени видовете деформации при конформните картографски проекции и метода за тяхното изчисление. Картните деформации са неизбежно следствие от разгъване на извита повърхнина върху права повърхност (равнина) [4]. Същината на проблемът е, че когато географски координати, които се отнасят до триизмерна

референтна система (елипсоид или сфера), се изобразят върху равнина (карта), това води до деформиране на дължините, ъглите, посоките и площите. Съществуват много картни проекции. При конформните (равноъгълни) проекции се запазва равенството на ъглите, но се получават съответни разлики в разстоянията и площите. Деформацията не може да бъде елиминирана напълно, тя винаги присъства при всеки вид картографски проекции, но може да бъде сведено до минимум с помощта на т.нар. проекции с ниско изкривяване.

Ключови думи: картография, карти, картни проекции, деформации, координатни системи.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Думата ДЕФОРМАЦИЯ в българския език произлиза от латинската *deformatio* „обезобразяване“ [3]. Книжовното значение на думата е „изменение“, „разрушаване на нормалната форма на нещо“, „обезформяване“, „обезобразяване“. Чуждицата е наложена в научната и професионална литература, свързана с Геодезия и Картография. Използва се не само за картографски проекции, но и при нарушение в формата на инженерни съоръжения (сгради, тунели, мостове, язовирни стени, тръби, конструкции и пр.). Думата „деформация“ може да бъде еднозначно заменена с израза „линейно изкривяване“ или „дисторзия“¹. Тези термини са наложени в литературата на английски език, но не са усвоени и общоприети в литературата на български език, поради което, тук ще бъде използвана думата „деформация“.

Несъответствието между хоризонталното „наземно“ разстояние и неговото проектирано представяне могат да бъдат изчислени като части на милион (ppm). Деформация от порядъка на ± 400 ppm често може да се наблюдава например при Универсалната трансверзална Меркаторова система (UTM), което отговаря на 40 cm/km разлика при разстоянията. Това означава, че физическо измерено разстояние на земята от един километър, представено върху карта, в този случай ще бъде с четиридесет сантиметра по-късо или по-дълго в картната повърхност. Такова несъответствие може да бъде недопустимо за някои приложения в практиката, като инженерно проектиране, геодезия, строителство и кадастър, които изискват висока точност на измервания.

Подборът на координатна система може да бъде от изключително значение и трябва да бъде съобразен с изискванията за точност и прецизност на конкретната работа, задача или проект. Проблемът е, че това често бива пренебрегвано поради две основни причини. Първо подборът от картографски проекции в България е много ограничен и второ, липсва информация за деформациите на тези проекции за териториите на страната. На практика не се прави оценка за деформациите в зоната на интерес спрямо избрана координатна система, дори и тя да бъде новопроектирана локална система.

Проблемът с деформациите при проектиране на картографски проекции е добре известен на всички геодезисти. Методи за създаване на различните видове картографски проекции и техните приложения в практиката са описани в учебниците по геодезия, картография и друга научна литература. Тези методи обаче обикновено включват тяхното дефиниране спрямо елипсоида (или сферата) и отчитат само мащаба в центъра на проекцията, но не съдържат анализ на деформации за цялата зона на проектиране спрямо вариациите на релефа и отдалечеността от основната проекционна ос.

2. ВИДОВЕ КАРТНИ ПРОЕКЦИИ

Координатите на съвременните геопространствени данни се отнасят до някаква триизмерна пространствена координатна система (датум²). Бързото адаптиране към т.нар. 3D координати през последното десетилетие е предизвикано от навлизането на нови технологии, които предоставят 3D измервания, включително Глобални навигационни спътникови системи (GNSS), тотални станции, лазерни скенери, дроневи и пр.

¹ „Дисторзия“ (лат. *distorsio*, англ. *distortion*). Погрешното представяне върху карта или изображение на формата, площта, разстоянието или посоката на или посоката между географските обекти в сравнение с техните истински измервания върху извитата повърхност на Земята [6].

² „Датум“ в Геодезията е пространствена референтна система (например елипсоид) или абстрактна координатна система с референтна повърхност (например морското ниво), която служи за предоставяне на изходни пространствени данни (координати и височини) за геодезически измервания и картографиране. [2].

GNSS данните обикновено се представят в географски координати, географска ширина, дължина и елипсоидна височина (φ, λ, h). За работа по геодезия, кадастър и инженерни проекти обаче те се преобразуват в някаква равнинна топоцентрична система от хоризонтални координати, Север, Изток и Височина (обикновено ортометрична, „надморска“) (N, E, H). Тази система е обикновено лява, тоест координатните стойности нарастват на север и на изток като компонентите и се третират като взаимно ортогонални, въпреки че хоризонталните координати не са перфектно перпендикулярни на вертикалната линия на отвеса.

За преминаване от географски към равнинни координати, например когато трябва да се преведат GNSS измервания в координатна система, обикновено се изчисляват N и E от φ и λ с помощта на параметри на картографски проекции и надморската височина H от елипсоидната h с помощта на геоиден модел.

Въпреки че съществуват стотици видове проекции, тези, които се използват в съвременната практика в България, САЩ и в Европейската общност за геодезия и инженерно проектиране са само няколко основни вида. Те обикновено трябва да отговарят на следните три критерия:

- 1) Трябва да са подходящи за картографиране на сравнително голяма територия на интерес на покритие.
- 2) Трябва да бъдат лесно дефинируеми в софтуерните приложения, които ги използват, в това число CAD, GIS, BIM и други специализирани приложения.
- 3) Трябва да бъдат конформни, тоест да запазват формата на обектите, които се отразяват върху картата.

На базата на тези три критерия, набора от конформни картографски проекции, подходящи за инженерни приложения и геодезия се свеждат до четири основни вида (табл. 1) [5].

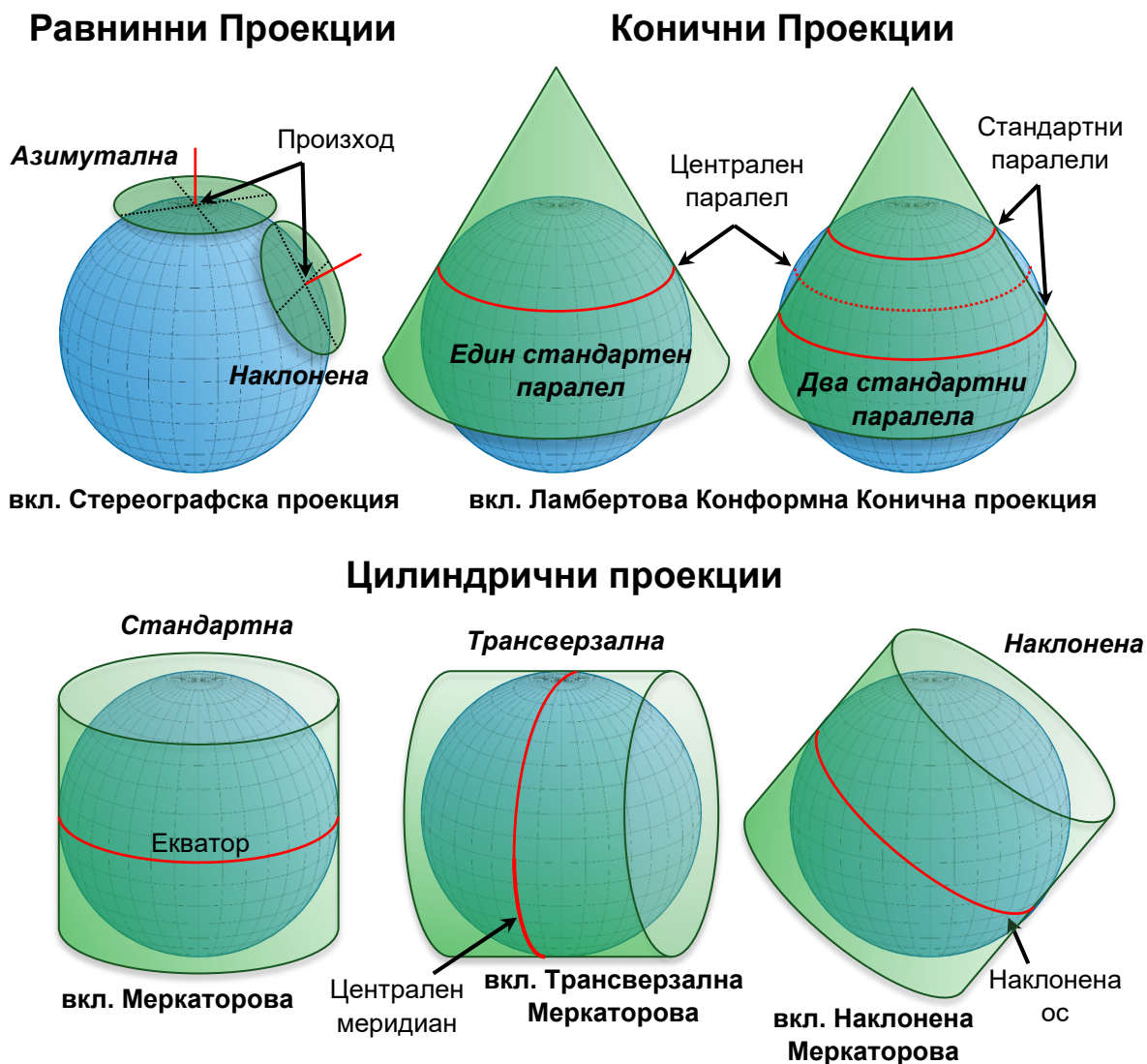
Таблица 1. Конформни проекции, използвани за геодезически и инженерни цели

Проекция	Тип	Коментар
Трансверзална Меркаторова (ТМ)	Цилиндрична	Често се използва за райони, които са по-дълги в посока север-юг. Може би най-широко използваната проекция за едромасщабно картографиране. Нарича се още „Проекция на Гаус-Крюгер“.
Ламбертова конформна конична (LCC)	Конична	Често се използва за райони, които са по-дълги в посока запад-изток. Също широко използвана както за едромасщабно, така и за дребномасщабно картографиране. Включва версия с един и с два стандартни паралела (версиите са математически идентични).
Наклонена Меркаторова (ОМ)	Цилиндрична	Известна още като „Проекция на Хотин“. Използва се за наклонени райони (северозапад-югоизток или североизток-югозапад). Не е толкова широко разпространена както ТМ и LCC проекциите, но е налична за дефиниране в съвременните софтуерни приложения.
Стереографска (полярна, екваториална или наклонена)	Равнинна	Подходяща за малки площи. При големи площи грешката на мащаба е по-голяма от ТМ, LCC или ОМ проекциите, тъй като проекционната повърхност не се извива спрямо Земята в никоя посока. Може да се реализира като „обикновена“ или „двойна“, но получените координати се различават. Азимуталната (Полярна) Стереографска Проекция (произход в полюсите на Земята) се използва за полярните региони. Екваториалната Стереографска проекция се използва за екваториалните райони а Наклонената за всички други географски ширини.

При неконформните проекции (като равноплощните или еквивалентни проекции), меридианите и паралелите обикновено не са перпендикулярни в точките им на пресичане, съответно грешката от мащаба варира спрямо посоката, което ги прави неподходящи за повечето геодезически и инженерни цели.

Проекционните повърхнини или повърхностите, на които проекциите се „разгъват“ са основно три вида – равнина, конус и цилиндър [1]. На фиг. 1 е показана всяка от трите повърхнини и местоположението им спрямо Земята при конформните проекции. Всяка от тези проекции се счита за „плоска“, в смисъл, че може да бъде „разгърната“ върху равнина без изкривяване поради това, че има неограничен радиус на кривина в поне една посока.

Равнинната проекция се дефинира чрез два неограничени радиуса на кривина. Конусът и цилиндърът се дефинират чрез един ограничен и един неограничен радиус на кривина. Концептуално, цилиндърът и конусът могат да бъдат „отрязани“ успоредно на централната им ос (която е посоката на безкраен радиус на кривина) и „разгънати“, без да се променя връзката между проектираните координати. Погледнато по друг начин, съществува само един вид картографска повърхност - конусът: конус с безкрайна височина е цилиндър, а конус с нулева височина е равнина [5].



Фиг. 1. Видове картни проекции [8]

Параметри на картните проекции

Всеки вид проекция, посочена в табл. 1 обикновено се дефинира с шест параметъра (понякога LCC и OM проекциите изискват седем или осем параметъра). Един от тези параметри е k_0 – мащабно число по проекционната ос. Проекционната ос е линията, по която мащабното число е минимална и постоянна величина спрямо референтния елипсоид. При ТМ проекциите това е централния меридиан (λ_c), при LCC проекциите е централния паралел (φ_c), а при OM проекциите е централната наклонена ос.

При OM проекциите мащабното число не е константна величина по наклонената ос, но е минимално в центъра на проекцията и расте малко по продължение на оста, отдалечавайки се от централната точка. Стереографската проекция няма проекционна ос сама по себе си, а по-скоро една точка с минимален мащаб, която е начало на проекцията. За LCC с два стандартни паралела, k_0 се определя като по-малко от единица (абсолютна величина), чрез разстоянието между северния и южния стандартен паралел (колкото по-далече са стандартните паралели, толкова по-малък е k_0) [7].

Важно е да се подчертае, че конформните конични проекции (LCC), с един и с два стандартни паралела, са **математически идентични**. LCC проекция с два паралела може да се представи с абсолютно идентична LCC проекция с един паралел и обратно. Единствената разлика е в задаването на мащаба в централната проекционна ос, изрично с точно число или имплицитно с посочване на две пресечни оси.

ОМ проекцията е по-сложна за дефиниране и може да бъде въведена по различни начини. Тя може да се зададе чрез посочване на географската ширина и дължина на две точки, които попадат на централната наклонена ос. По-разпространен е начина на задаване на ОМ проекция по Хотин, при която началото и се задава в локална централна точка на интерес с азимут и мащаб по централната наклонена ос.

3. ВИДОВЕ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ КАРТОГРАФСКИТЕ ПРОЕКЦИИ

Деформацията при картографските проекции се получава неизбежно при разгъването на една крива повърхнина върху една плоскост. Елипсоидът и сферата не могат да се развиват безпроблемно в равнина, понеже при тяхното изобразяване се деформират дължините, ъглите и площите. На практика се променя взаимовръзката между точките, намиращи се на Земята и същите точки в картата. Деформациите не могат да бъдат избегнати напълно, това е общоприет факт. Това, което може да се направи е опит за редуциране на техния ефект. Има два основни типа деформации при картните проекции, линейни и ъглови:

- 1) **Линейна Деформация (δ)**. Въпреки че формално се дефинира като безкрайно малко число в определена точка, линейната деформация може да се обоснове като крайната разлика в разстоянието между двойка координати в проекцията (картата) в сравнение с истинското им (наземно) разстояние.
 - Може да се изрази като съотношение на големината на изкривяване спрямо разстоянието на Земята:
 - Например милиметри на изкривяване на километър; части на милион (ppm): $10 \text{ mm/km} = 1 \text{ cm/km} = 10 \text{ ppm}$.
 - Линейната деформация може да бъде положителна или отрицателна:
 - Положителна Деформация означава, че разстоянието в проекция е по-дълго от истинското разстояние измерено на Земята;
 - Отрицателна Деформация означава, че разстоянието в проекция е по-късо от истинското разстояние измерено на Земята.
- 2) **Ъглова Деформация**. При конформните проекции, ъгловата деформация е равна на ъгъла на конвергенция (γ), който представлява разликата между посоката „Север“ на картата и геодезическия север.
 - Ъгълът на конвергенция γ е нула на централния меридиан на проекцията λ_c , положителен на изток от централния меридиан ($\gamma > 0$) и отрицателен на запад от централния меридиан ($\gamma < 0$).
 - Големината на ъгъла на конвергенция (θ) се увеличава с увеличаване на разстоянието от централния меридиан, като расте по-бързо с увеличаване и на географската ширина, както е показано в Таблица 2. Може да се изчисли като функция на линейното разстояние (d) между централния меридиан и текущия меридиан измерено по даден паралел (ϕ), спрямо радиусът на Земята (R), като:

$$(1) \quad \theta = \frac{d \tan \phi}{R}$$

- При ОМ проекцията липсва централен меридиан (т.е. дължина, по която ъгълът на конвергенция е нула). Въпреки това, меридианът, минаващ през началото на проекцията, има конвергенция много близка до нула.
- Обикновено конвергенцията (ъгловата деформация) не е толкова проблемна, колкото линейната деформация, и може да бъде сведена до минимум с ограничаване на разстоянието до централната ос на проектиране. Тя може да се посочи при геодезическите и инженерните планове в краищата на конкретна линия на интерес или чрез изобразяване на посоката на геодезическия азимут.

- На табл. 2 са посочени примери за конвергенция на ъглите при различни географски ширини и разстояние от ± 1 km от централния меридиан при Трансверзална Меркаторова (ТМ) проекция.

Таблица 2. Конвергенция на ъглите при различни географски ширини и разстояние от ± 1 km от централния меридиан при Трансверзална Меркаторова (ТМ) проекция (както и при Ламбертова Конформна Конична (LCC) проекция, за която централния паралел съвпада с посочените в таблицата географски ширини).

Географска Ширина	Конвергенция при ± 1 km от Централен Меридиан	Географска Ширина	Конвергенция при ± 1 km от Централен Меридиан	Географска Ширина	Конвергенция при ± 1 km от Централен Меридиан
0°	0° 00' 00.0"	30°	0° 00' 18.7"	60°	0° 00' 56.0"
5°	0° 00' 02.8"	35°	0° 00' 22.6"	65°	0° 01' 09.4"
10°	0° 00' 05.7"	40°	0° 00' 27.1"	70°	0° 01' 28.9"
15°	0° 00' 08.7"	45°	0° 00' 32.3"	75°	0° 02' 07.0"
20°	0° 00' 11.8"	50°	0° 00' 38.5"	80°	0° 03' 03.4"
25°	0° 00' 15.1"	55°	0° 00' 46.2"	85°	0° 06' 09.6"

Основна характеристика при конформните проекции, което ги прави подходящи за геодезически и инженерни приложения, е простото взаимоотношение между равнинния азимут (в картата) и геодезическия азимут. Геодезическият азимут между две точки А и В (α_{AB}) е свързан с равнинния азимут t_{AB} като:

$$(2) \quad \alpha_{AB} = t_{AB} + \gamma_A - (t - T)_{AB},$$

където, $(t - T)_{AB}$ е корекцията дъга-към-хорда. Тази корекция представлява разликата между азимута на равнинния азимут в картата (t) и проекцията на геодезическия азимут в план (T).

4. МЕТОД ЗА ИЗЧИСЛЕНИЕ НА ДЕФОРМАЦИИ

Линейната деформация може да бъде разгледана като феномен, който се получава при отделяне на проекционната повърхност (равнина, конус или цилиндър) от референтния елипсoid. Конформните проекции спрямо елипсоида не са перспективни, тоест те не могат да бъдат получени по графичен (геометричен) начин чрез построение на прави линии през една проекционна точка, пресичащи се в равнина, както е изобразено на фиг. 2. Въпреки това, можем да приемем, че линейната деформация се увеличава с увеличаване на разстоянието между проекционната повърхност и елипсоида.

Линейната деформация може да се раздели на два основни компонента: първият е деформация вследствие на кривината на Земята и вторият е деформация вследствие на отдалечеността над или под елипсoidната повърхност. Сумата на тези два компонента отразява т.нар. „комбиниран мащабен фактор“ или общата мащабна грешка на деформация. Относителната величина на комбинирания мащабен фактор във всяка точка на интерес зависи от:

- 1) Хоризонталното и разстояние от началната ос на проекцията и
- 2) Височината ѝ спрямо елипсоида.

Линейната деформация може да бъде положителна или отрицателна. Отрицателна деформация означава, че разстоянията в проектната повърхност са по-къси от хоризонталните разстояния измерени на земната повърхност, съответно положителна деформация означава, че картните разстояния са по-дълги от действителните. Линейната деформация може да се дефинира формално в точка на интерес с помощта на безкрайно малки (диференциални) разстояния, като:

$$(3) \quad \delta = k \left(\frac{R_G}{R_G + h} \right) - 1,$$

където k е мащабния фактор вследствие кривината на Земята, а стойността в скобите е височинния фактор получен вследствие на отдалечеността от елипсоида. Стойността на k се получава от уравнения за мащабния фактор спрямо вида на използваната проекция за всяка точка на интерес. Комбинираният мащабен фактор получен при умножението на двата фактора е относителната величина на общата линейна деформация. Тази стойност е обикновено много близка до 1-ца. За да се направи оценка на изкривяване, от комбинирания фактор се изважда 1-ца, за да се получи стойност, която може да бъде представена в части на милион (напр. комбиниран фактор от 0.99998 отговаря на -20 ppm линейна деформация).

Във височинния фактор, част от уравнение (3), h - височината спрямо елипсоида, R_G - средно геометричен радиус на кривина (по Гаус):

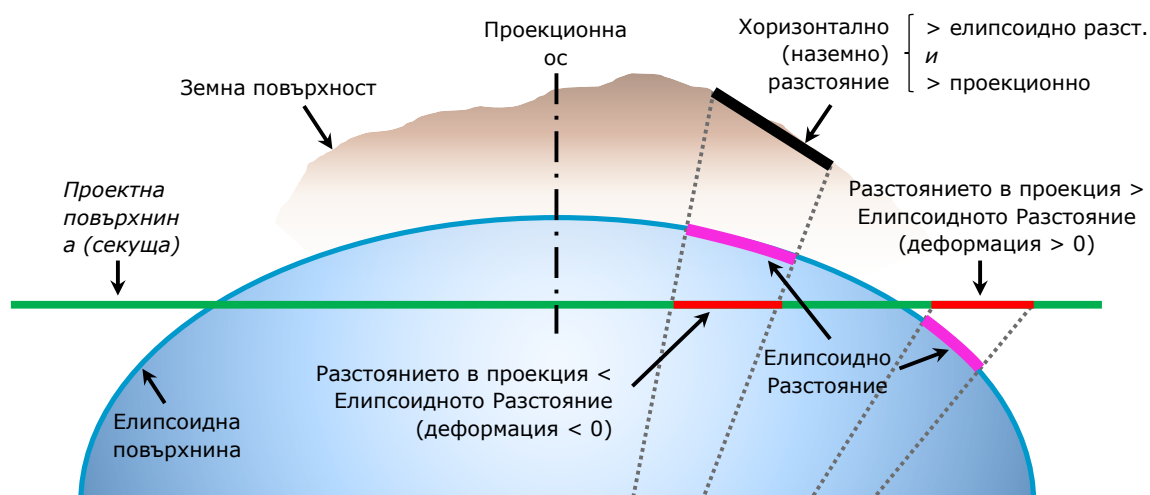
$$(4) \quad R_G = \frac{a \sqrt{1-e^2}}{1-e^2 \sin^2 \varphi},$$

където, φ - географската ширина, a - голямата полуос, e^2 - квадрат на ексцентрицитета на референтния елипсоид. За елипсоида GRS80 тези величини са: $a = 6\,378\,137$ m. и $e^2 = 0.0066943800229$.

Елипсоидната височина h от уравнение (3), представлява височината на точка спрямо референтния елипсоид и не бива да се бърка с ортометричната височина H , която се отнася до средната надморска височина.

Мащабният фактор k от уравнение (3) е необходим, за да бъде изчислена деформацията на определена точка от земната повърхност. Формули за изчислението на мащабния фактор са налични в някои специализирани геодезически приложения, но в повечето случаи не присъстват в софтуерните приложения за геодезия, кадастър, ГИС и инженерно проектиране, затова е необходимо да бъдат изчислени.

Големина на линейната деформация



Фиг. 3. Линейни деформации спрямо елипсоида и топографската повърхност при секущи картни проекции [8]

Фигура 3 предоставя концептуална илюстрация на деформацията като геометрично отклонение на проектната повърхност спрямо референтния елипсоид. Таблица 3 показва диапазона на линейна деформация, дължаща се на кривината на Земята за различни ширини на проекционната зона. Забелязва се, че при ширина на зоната от 510 km, което е приблизително географската дължина на България, от най-западната до най-източната точка, линейната деформация достига 400 ppm (0.4 m/km), като това е само мащабния фактор вследствие кривината на Земята. Таблица 4 показва промяната в диапазона на линейно изкривяване, дължащо се на промяна в елипсоидната височина.

Таблица 3. Максимален диапазон на линейни деформации вследствие кривината на Земята (изчислено за ТМ проекции при $42^\circ 40'$ географска ширина) [4]

	Части на милион (mm/km)	Разлика в дължината	Съотношение (абсолютна стойност)
25 km	± 1 ppm	± 0.001 m/km	1 : 1 000 000
57 km	± 5 ppm	± 0.005 m/km	1 : 200 000
81 km	± 10 ppm	± 0.01 m/km	1 : 100 000
114 km	± 20 ppm	± 0.02 m/km	1 : 50 000
180 km	± 50 ppm	± 0.05 m/km	1 : 20 000
255 km	± 100 ppm	± 0.1 m/km	1 : 10 000
510 km	± 400 ppm	± 0.4 m/km	1 : 2 500

Таблица 4. Промяна в линейната деформация на проекцията спрямо изменението на елипсоидната височина (изчислено при 42°40' географска ширина)

	Части на милион (mm/km)	Разлика в дължината	Съотношение (абсолютна стойност)
± 6.5 m	± 1 ppm	± 0.001 m/km	1 : 1 000 000
± 30 m	± 5 ppm	± 0.005 m/km	1 : 220 000
± 50 m	± 8 ppm	± 0.008 m/km	1 : 130 000
± 100 m	± 16 ppm	± 0.016 m/km	1 : 64 000
± 250 m	± 39 ppm	± 0.039 m/km	1 : 26 000
± 500 m	± 78 ppm	± 0.078 m/km	1 : 13 000
± 1000 m	± 157 ppm	± 0.157 m/km	1 : 6 400
± 1500 m	± 235 ppm	± 0.235 m/km	1 : 4 300
± 2000 m	± 314 ppm	± 0.314 m/km	1 : 3 200
± 3000 m	± 470 ppm	± 0.314 m/km	1 : 2 200

Пълната стойност на линейна деформация винаги е комбинация от двете изкривявания, първо вследствие на кривината на Земята (табл. 3) и второто вследствие на височината от елипсоида (табл. 4).

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Текущите методи, които се използват в практиката за създаване на нови картографски проекции, обикновено включват тяхното дефиниране спрямо елипсоида и отчитат само мащаба (грешка от наделипсоидна височина, фиг.2) в центъра на проекцията, но не съдържат анализ на деформациите спрямо физическата земна повърхност за цялата зона на проектиране спрямо вариациите на релефа и отдалечеността от основната проекционна ос (фиг. 3). Също така, след направения литературен анализ, не беше установено наличието на техническа литература на български език, която да описва процесите по проектиране на картографски проекции с пълна оценка на деформациите им.

Тази статия е фокусирана върху картографските проекции, които са с най-широко приложение в практиката по геодезия, кадастър и инвестиционно проектиране. Това са четирите основни вида конформни картографски проекции: Трансверзална Меркаторова (ТМ), Ламбертова конформна конична (LCC), Наклонена Меркаторова (ОМ) и Стереографска. Посочени са методите за тяхното дефиниране, параметрите, които ги определят и деформациите свързани с тях. Посочен е метод за изчисление на деформациите им спрямо физическата земна повърхност, както и таблици с диапазони на линейни изкривявания спрямо кривината на Земята и отдалечеността от референтния елипсоид.

Приложената информация може да бъде в полза на професионалистите по геодезия и картография при създаване на нова картографска проекция или при анализ на съществуваща система за избор за тяхната работа.

6. ЛИТЕРАТУРА

1. Бандрова, Т. Картни Проекции. София: Университет по Архитектура, Строителство и Геодезия. 2022
2. Кателиев, С. Модернизирани национални пространствени референтни системи в САЩ (NSRS2022). Съюз на геодезистите и земеустроителите в България . Геодезия, Картография, Земеустройство. 2023, 5-6, 3-14
3. Речник на българския език (Онлайн): <https://ibl.bas.bg/rbe/>. Институт за български език. 2024
4. Dennis, M. L. Ground Truth: Low Distortion Map Projections for Engineering, Surveying, and GIS. School of Civil and Construction Engineering. 2016
5. Dennis, M. L. Ground Truth for the Future Low Distortion Projections and the State Plane Coordinate System of 2022. Broken Arrow, OK: Oklahoma Society of Land Surveyors. 2019
6. ESRI. GIS Dictionary. <https://support.esri.com/en-us/gis-dictionary>. 2024
7. Gillins, Dennis & Ng. Surveying and Geomatics Engineering, Principles, Technologies, and Applications, MOP 152. American Society of Civil Engineers. 2022
8. US National Geodetic Survey. <https://geodesy.noaa.gov/>. 2024.

АДРЕС НА АВТОРА

Маг. инж. Симеон Кателиев
гр. Чикаго, САЩ
simeon.kateliiev@gmail.com

**ПРИЛОЖЕНИЕ НА ИНОВАТИВЕН МЕТОД ЗА АНАЛИЗ НА ДЕФОРМАЦИИТЕ ПРИ
КАРТОГРАФСКИТЕ ПРОЕКЦИИ ОТ СИСТЕМАТА БГС2005**

Маг. инж. Симеон Кателиев, докторант, геодезист, САЩ

**INNOVATIVE APPROACH FOR ANALYSIS OF DISTORTIONS IN THE MAP
PROJECTIONS IN THE BGS2005 SYSTEM**

Mag. Eng. Simeon Kateliev, doctoral student, USA

SUMMARY

The distortions in the map projections represent the discrepancies between the relationships of certain characteristics on the Earth's surface (distances, areas, directions, shapes, and scales of objects) and their representation on a map. "The ideal map has no distortions, but it also does not exist" [7]. These changes are inevitable, regardless of the type of chosen map projection. The issue of distortions in map projections is well-known to all surveying professionals. The methods for creating various types of map projections and their applications in practice are extensively described in textbooks on geodesy, cartography, and other scientific literature. However, these methods define projections relative to the ellipsoid (or sphere) and typically account only for the scale (height error) at the center of the projection but usually do not include an analysis of distortions relative to the width of the projection zone and the terrain variations. In 2007, the National Geodetic Survey in the United States (NGS) began a reform of the reference geodetic systems used in the country [1]. The reform includes the development of a new State Plane Coordinate System (SPCS2022) aimed at optimizing the projections used in the country. The agency has adopted a new, modernized approach to creating map projections that include a comprehensive analysis and visual representation of map distortions relative to the Earth's surface in the projection zone, using advanced Geographic Information Systems (GIS) and contemporary methods for obtaining and processing three-dimensional geographic data. The same methodology for analyzing distortions in map projections has been used in this report to analyze system BGS2005, officially used in Bulgaria.

Keywords: cartography, maps, map projections, coordinate systems, map distortions, BGS2005.

РЕЗЮМЕ

Деформациите в картографските проекции представляват несъответствия между метричните зависимости на определени характеристики от Земната повърхност (разстояния, площи, посоки, форми и мащаби на обекти) и тяхното представяне върху карта. „Идеалната карта няма деформации, но и не съществува“ [7]. Тези несъответствия са неизбежни, независимо от вида на избраната картографска проекция. Проблемът с деформациите при картните проекции е добре известен на всички геодезисти. Методите за създаване на различните видове картографски проекции и техните приложения в практиката са описани в учебниците по геодезия, картография и друга научна литература. Тези методи обаче включват тяхното дефиниране спрямо елипсоида (или сферата) и отчитат само мащаба (грешка от

височина) в центъра на проекцията, но обикновено не съдържат анализ на деформациите спрямо ширината на зоната на проектиране и вариациите на релефа.

През 2007 г. Националната геодезическа служба на Съединените американски щати (NGS) започва реформа на референтните геодезически системи използвани в държавата [1]. Реформата включва разработване на нова система с набор от държавни картографски проекции (SPCS2022), с цел тяхното оптимизиране. Агенцията подхожда с нов модернизиран подход за създаване на картографски проекции включващ цялостен анализ и визуално представяне на деформациите на картата спрямо Земната повърхност в зоната на проектиране с помощта на модерни географски информационни системи (ГИС) и съвременни методи за получаване и обработка на триизмерни географски данни. В този доклад е използвана същата методология за анализ на деформациите при картографските проекции към системата БГС2005, официално използвани в р. България.

Ключови думи: картография, карти, картни проекции, деформации, координатни системи, БГС2005.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Геодезията в България започва да се развива в началото на 19-ти век. Първата координатна система „1930 г.“ е материализирана чрез триангулация от първи и втори клас. При нея са допуснати доста неточности, предимно поради липсата на достатъчно геодезически наблюдения, както и недостиг на специалисти и измервателни инструменти. През 50-те години, с цел да се приравнят координатните и височинните системи в Съветския блок се въвежда системата „1950 г.“. По-късно, с помощта на нови триангулации от II-ри, III-ти и IV-ти клас извършени в периода от 1957-1965 г. се въвежда нова координатна система „1942 г.“. През 80-те години се прави ново изравнение на държавата триангулация, което води до нови реализации на системите „1942 г.“ и „1950“ г. и въвеждането на системата „1970 г.“, която разделя страната на четири картографски зони. Параметрите на „1970 г.“ обаче остават засекретени, което в продължение на десетилетия предизвиква редица проблеми в геодезическата практика. Тя оставя незаличим отпечатък върху кадастъра, геодезията, картографията и инженерното проектиране в страната и до днес, тъй като много от съществуващите материали, проекти, планове, измервания, карти, нормативни документи и пр. са отнесени към нея [3].

С навлизането на GPS и GNSS технологиите, нова съвременна геодезическа измервателна апаратура, както и на модерни CAD и ГИС софтуерни приложения, тези проблеми стават все по-осезателни и недопустими и налага въвеждане на нова единна референтна система, което се случва с изменение на Закона за кадастъра и имотния регистър кадастралната карта на страната, с Постановление №140 на Министерския съвет от 04.05.2001 г. се въвежда Българска геодезическа система 2000 (БГС 2000) [2]. Системата никога не се реализира, но създава предпоставка за създаването на националната GPS мрежа, което се случва в периода 2004 – 2005 г.

През 2010 г., съобразно чл. 12, ал. 2 от Закона за геодезията и картографията, в България се въвежда използването на нова координатна система - Българска геодезическа система 2005 (БГС 2005) чрез Наредба № 2 от 30-ти Юли 2010 г. за дефиниране, реализация и поддържане на българската геодезическа система. В наредбата се посочва произхода на системата и нейната реализация. „БГС 2005“ е привързана към европейската референтна система ETRS89 в епоха 2005.0 с помощта на перманентни GNSS станции [5].

Като основна картографска проекция е дефинирана Универсална напречна цилиндрична проекция на Меркатор (Universal Transverse Mercator - UTM), и въведената чрез нея система от правоъгълни равнинни координати. Наредба № 2 също определя разграфката и номенклатурата на картните листове съгласно приложение № 3 [5]. През 2012 г. е обнародвана Инstrukция № РД-02-20-12 от 03-ти Август 2012 г. за преобразуване на съществуващите геодезически и картографски материали и данни в „Българска геодезическа система 2005“. С тази Инstrukция се определят условията, редът и начинът за преобразуване на съществуващите геодезически и картографски материали и данни, налични в предходни референтни системи и картни проекции, към „БГС 2005“. В Инstrukцията са упоменати всички предходни класически координатни системи (вкл. Система „1930 г.“, Система „1950 г.“, Система „1942 г.“, Система „1970 г.“ и Система „1942/83 г.“) и техните взаимовръзки. Въвеждат се процедури и параметри за трансформиране на класически координати и височини към новата система БГС 2005 [4].

Като обосновка за въвеждането на „БГС 2005“ се посочва осигуряване на съвместимост на геодезическата основа на пространствените данни в рамките на Европейския съюз по стандарти, съответстващи на резолюциите на подкомисията за EUREF на Международната асоциация по геодезия IAG. Използването на универсална напречна цилиндрична проекция на Меркатор (UTM) и въведената чрез нея система от правоъгълни равнинни координати осигурява лесен преход от географски координати и от други системи. На практика се използват две стандартни шестградусови зони на UTM проекцията, а именно 34N и 35N, чиито централни меридиани са съответно $\lambda_C = 21^\circ$ и $\lambda_C = 27^\circ$. И при двете зони мащабното число е $k_0 = 0.9996$ а за начало се използва Екватора (т.е. условния север е $N_0 = 0\text{ m}$) и стойност на ординатата по централния меридиан (условен изток: $E_0 = 50\,000\text{ m}$).

В Приложение № 20 към чл. 28 от Инструкцията се въвежда Конформна Конична Проекция (LCC) с два стандартни паралела обхващаща цялата страна, в която могат да се проектират географските координати от БГС 2005. Въпреки, че обосновка за въвеждане на тази LCC проекция не е упомената в приложението, основната причина е въвеждането на единна система за целите на Кадастъра и Инженерното проектиране, наричана още „Кадастрална Система“.

- Проекцията използва референтен елипсоид GRS80 и има следните параметри:
- Първи стандартен паралел (северен): $\varphi_N = 43^\circ 20' 00.0''$
- Втори стандартен паралел (южен): $\varphi_S = 42^\circ 00' 00.0''$
- Централен меридиан: $\lambda_0 = 25^\circ 30' 00.0''$
- Стойност на ординатата от централния меридиан (условен изток): $E_0 = 500\,000\text{ m}$
- Стойност на абсцисата от централния паралел (условен север): $N_0 = 4\,725\,824.3591\text{ m}$. Тази стойност е получена като производна величина и уравненията за нейното изчисление са посочени в Приложение № 20.

2. АНАЛИЗ НА КАРТНИТЕ ПРОЕКЦИИ КЪМ СИСТЕМАТА БГС2005

Формата на страната е по-удължена в посока изток-запад (приблизително 510 km) спрямо север-юг (приблизително 330 km). Това предполага, че конична проекция би имала по-малки деформации спрямо ширината на зоната. В страната има и много големи вариации на релефа (0 – 2925 m надморска височина), което също предполага голяма вариация в деформациите спрямо височините.

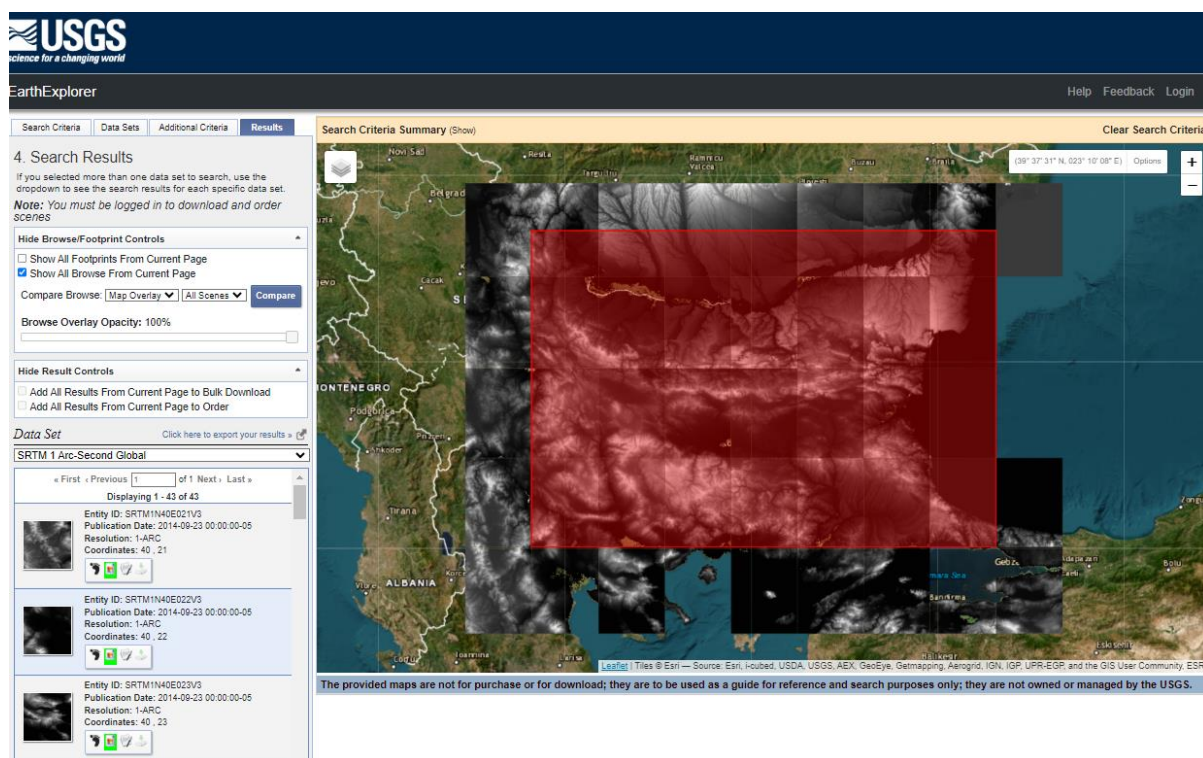
UTM проекцията е глобална система, разработена за военни цели през 40-те години от Корпуса на инженерите към Армията на САЩ. По-късно системата се приема като международен стандарт и намира множество приложения в държавния и частния сектор за навигация, картография и ГИС. Като глобална система обаче, UTM не е предназначена за локално картографиране с ниски деформации в неекваториалните ширини, поради изключително голямото си изкривяване. С отдалечаване от Екватора прогресивно нараства конвергенцията на ъглите и мащабното число от 0.9996 предполага мащабни грешки (спрямо елипсоида) от порядъка на $\pm 400\text{ ppm}$ или 0.4 m/km (1 : 2,500). Освен това, територията на страната попада между две зони, тоест в граничните райони (краищата на проекционните зони) може да се очаква максимална линейна деформация в следствие на отдалечеността от централния меридиан.

В предвид формата на държавата и географското и разположения, като основна хипотеза беше допуснато, че коничната проекция към система БГС 2005 би трябвало да има по-ниска линейна деформация спрямо UTM проекциите към БГС 2005.

2.1. Универсални трансверзални Меркаторови проекции към системата БГС 2005

Територията на страната попада в две зони от UTM проекцията – зона 34N с централен меридиан $\lambda_C = 21^\circ$ и зона 35N с централен меридиан $\lambda_C = 27^\circ$ (Фигура 1). Около три-четвърти от територията попада в зона 35N и съответно една-четвърт от попада в 34N. Централния меридиан на зона 34N около 110 km на запад от границата на България, а централния меридиан на зона 35N преминава през страната в източната и част.

файл за всички точки от мрежата със стойности (φ , λ , δ), където δ е линейната деформация на всяка точка, изчислена в част на милион (ppm). Този файл може да бъде въведен в CAD или GIS програма и да бъде използван за 3D числен теренен модел, като φ и λ са координатните стойности в план а стойността на δ се използва за височина.



Фиг. 2 USGS EarthExplorer [9]

В резултат може да се получи визуално преставане на деформациите за цялата зона на проектиране като триизмерен TIN модел с оцветяване спрямо размера на деформациите в части на милион (δ). δ се получава от:

$$(1) \quad \delta = k \left(\frac{R_G}{R_G + h} \right) - 1,$$

където k е мащабния фактор в следствие кривината на Земята, а стойността в скобите е височинния фактор получен в следствие на отдалечеността от елипсоида [8]. Стойността на k се получава от уравнения за мащабния фактор спрямо вида на използваната проекция за всяка точка на интерес. Комбинирания мащабен фактор получен при умножението на двата фактора е относителната величина на общата линейна деформация. Тази стойност е обикновено много близка до 1-ца. За да се направи оценка на изкривяване, от комбинирания фактор се изважда 1-ца, за да се получи стойност, която може да бъде представено в части на милион (напр. комбиниран фактор от 0.99998 отговаря на -20 ppm линейна деформация).

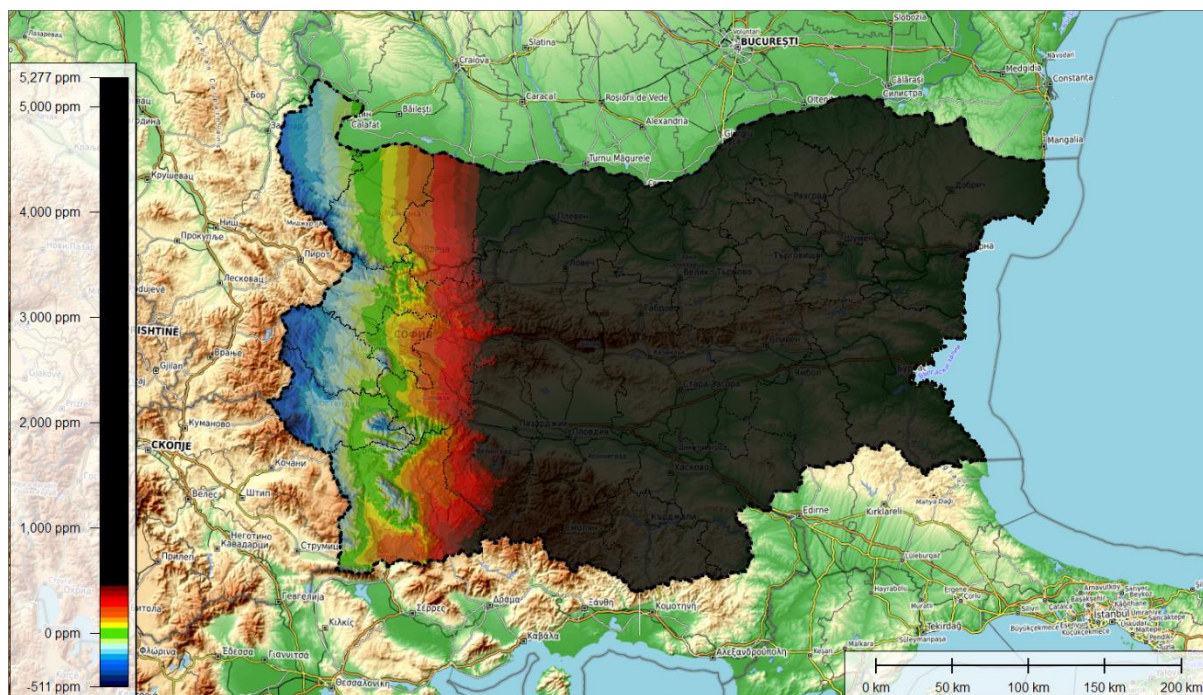
Във височинния фактор, част от уравнение (1), h - височината спрямо елипсоида, R_G - средно геометричен радиус на кривина (по Гаус):

$$(2) \quad R_G = \frac{a \sqrt{1-e^2}}{1-e^2 \sin^2 \varphi},$$

където, φ - географската ширина, a - голямата полуос, e^2 - квадрат на ексцентрицитета на референтния елипсоид. За елипсоида GRS80 тези величини са: $a = 6\,378\,137$ m. и $e^2 = 0.0066943800229$.

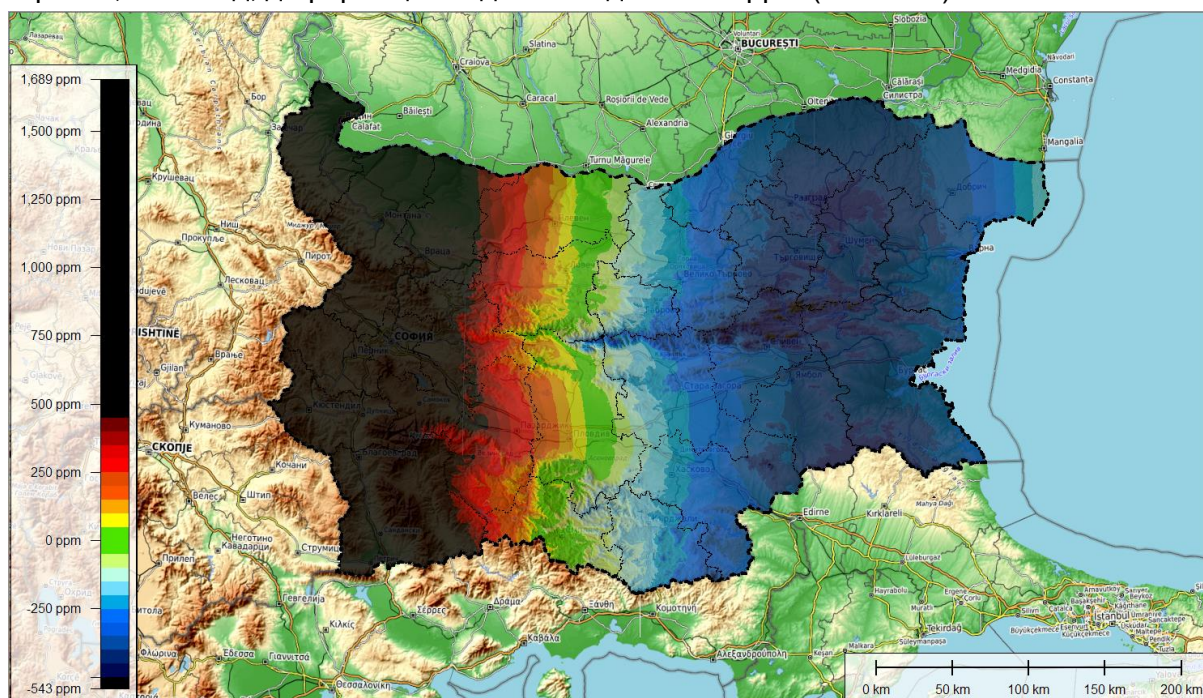
Фиг. 3 и фиг. 4 илюстрират деформациите за Универсалните трансверзални Меркаторови проекции към системата БГС 2005. На фиг. 3 са изобразени деформациите в зона 34N. Както

беше споменато по-рано, тази зона покрива частично страната, като застъпва около една четвърт от територията и в западната и част (фиг. 1). Може да се забележи, че в съответната територия на покритие, линейните деформации варират в порядъка на ± 500 ppm (0.5 m/km) и извън зоната и на покритие, на изток, деформациите нарастват значително и надхвърлят ± 5000 ppm (5 m/km).



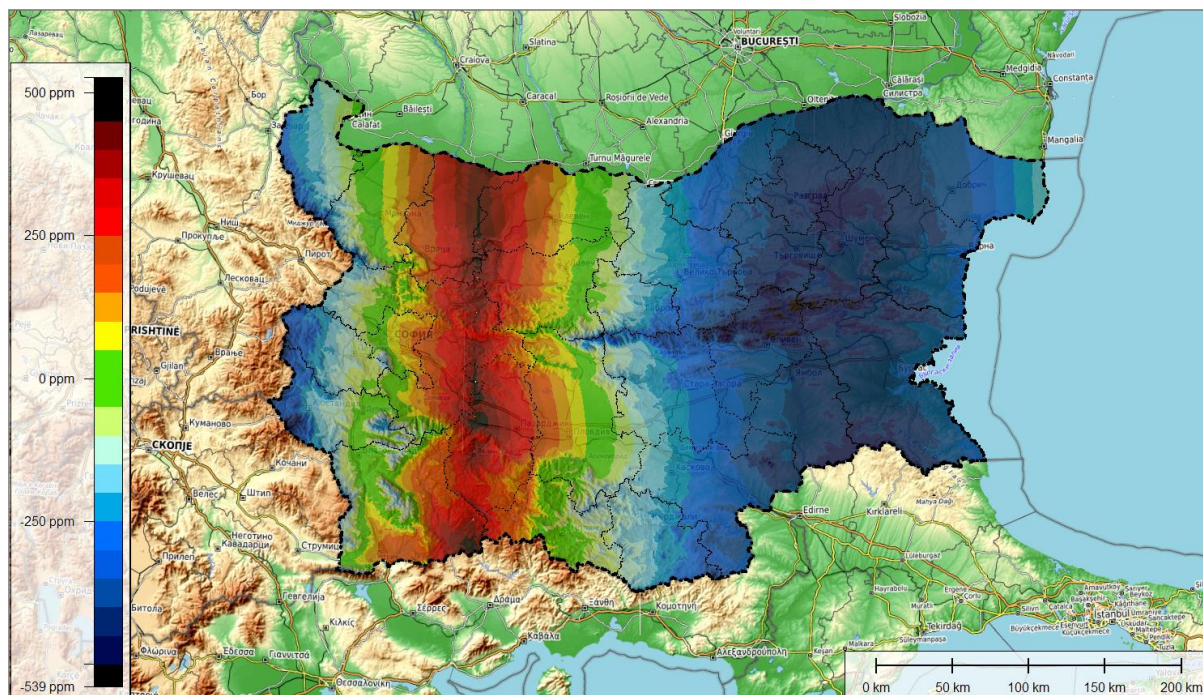
Фиг. 3 Деформации при БГС2005 - Зона 34N

Фиг. 4 илюстрира деформациите в зона 35N за цялата територия на страната. Отново, в рамките на зоната деформациите варират в порядъка на ± 500 ppm (0.5 m/km) и извън зоната и на покритие, на запад, деформациите достигат до ± 1700 ppm (1.7 m/km).



Фиг. 4 Деформации при БГС2005 - Зона 35N

На фиг. 5 е представена комбинирана карта на деформациите за UTM проекция за страната, включително двете зони 34N и 35N, като те са ограничени само в тяхната територия на покритие.



Фиг. 5 Деформации при БГС2005 - Зони 34N и 35N

След направената карта с райони деформация е изготвен статистически анализ на получените резултати (табл. 1). Също така е анализиран териториалният обхват на населението на България [6] в различните степени на изкривяване със стъпка от ± 50 ppm (табл. 2).

Таблица 1 Комбинирана статистика за деформациите при БГС 2005 (Зони 34N и 35N)

Минимална	-538.7	-478.5
Максимална	525.82	493.4
Средна	-144.8	-101.0 ³
Медиана	-193.5	-194.0
Стандартно отклонение	261.3	238.7
Стандартна грешка	0.31	2.96

Таблица 2 Деформации при БГС 2005 (Зони 34N и 35N) спрямо населението и територията на страната

	Площ %	Население %	Площ %
$\leq \pm 50$	8.72%	7.88%	9.08%
$\pm 50 - \pm 100$	9.79%	19.81%	9.15%
$\pm 100 - \pm 150$	8.71%	11.52%	9.09%
$\pm 150 - \pm 200$	9.37%	9.00%	10.30%
$\pm 200 - \pm 250$	9.34%	9.88%	11.06%
$\pm 250 - \pm 300$	7.79%	5.57%	10.92%

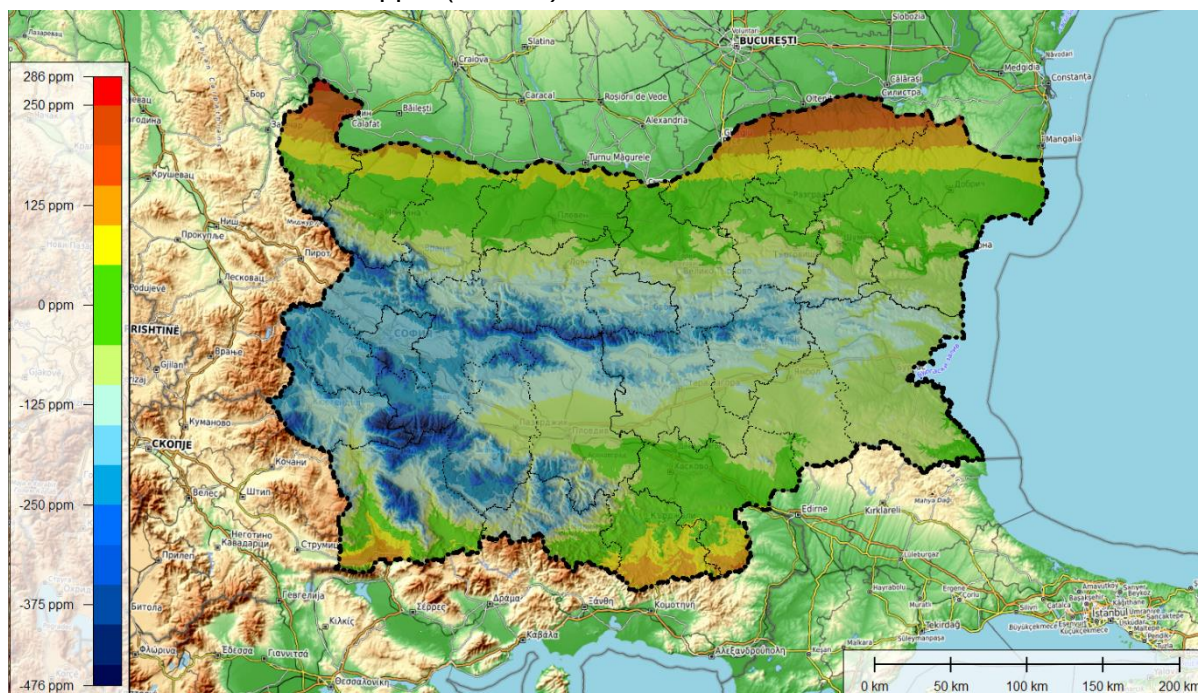
³ Средно претеглена стойност спрямо населението

±300 - ±350	9.78%	13.51%	10.96%
±350 - ±400	12.41%	11.78%	12.76%
±400 - ±450	19.74%	10.07%	14.45%
±450 - ±500	4.34%	0.98%	2.21%

От направената статистика, може да се отчете, че UTM проекциите към БГС 2005 предоставят линейни деформации от ± 100 ppm (0.1 m/km) за около 18.5% от територията на страната и 18.2% от територията на населените места, и обхващат 27.7% от населението. Според ширината на зоната и вариациите в топографската повърхност на страната, деформациите при UTM проекцията достигат до около ± 500 ppm (0.5 m/km) за определени територии, като 36.5% от територията, 29.4% от населените места и 22.8% от населението попадат в зона на деформации над ± 400 ppm.

2.2. Ламбертова Конформна Конична проекция „Кадастралната система“ към БГС 2005

За изчисление на линейните деформации от проекцията към БГС 2005 „Кадастрална система“ бяха използвани същите изходни данни като в предходния анализ на UTM проекциите към БГС 2005, а именно SRTM данни с гъстота 500 x 500 m и изчислени елипсоидни височини спрямо геоида EGM2008. Получения файл с мрежа от точки и географски координати (φ , λ , h) беше използван за изчисление на деформациите. Карта с цветово оцветяване спрямо размера на деформациите е представена на Фигура 6. След направената карта с райони деформация беше изготвен статистически анализ на получените резултати (Табл. 3). Също така беше анализиран териториалният обхват на населението на България в различните степени на изкривяване със стъпка от ± 50 ppm (Табл. 4).



Фиг. 6 Деформации при БГС 2005 "Кадастрална система"

Таблица 3 Комбинирана статистика за деформациите при БГС 2005 „Кадастрална система“

Минимална	-476.2	-350.5
Максимална	285.8	274.7

Средна	-71.7	-69.1 ⁴
Медиана	-75.2	-72.9
Стандартно отклонение	107.2	95.7
Стандартна грешка	0.16	1.19

Таблица 4 Деформации при БГС 2005 „Кадастрална система“ спрямо населението и територията на страната

	Площ %	Население %	Площ %
$\leq \pm 50$	24.81%	26.26%	21.19%
$\pm 50 - \pm 100$	30.38%	32.20%	25.75%
$\pm 100 - \pm 150$	18.68%	20.00%	26.32%
$\pm 150 - \pm 200$	14.50%	19.05%	19.16%
$\pm 200 - \pm 250$	8.68%	2.26%	6.94%
$\pm 250 - \pm 300$	2.21%	0.20%	0.63%
$\pm 300 - \pm 350$	0.59%	-	-
$\pm 350 - \pm 400$	0.14%	0.03%	0.02%

От направената статистика, може да се отчете, че коничната проекция (Кадастрална система) към БГС 2005 предоставя линейни деформации от ± 100 ppm (0.1 m/km) за около 55.2% от територията на страната и 46.9% от населените места, и обхващат 58.4% от населението. Според ширината на зоната и вариациите в топографската повърхност на страната, деформациите при тази проекция са от порядъка на -480 ppm (-0.48 m/km) до 290 ppm (0.29 m/km) за цялата територия, като 41.8% от територията, 52.4% от населените места и 41.3% от населението попадат в зони на деформации между ± 100 ppm и ± 250 ppm ($\pm 0.10 - \pm 0.25$ m/km).

3. ИЗВОДИ ОТ НАПРАВЕНИТЕ АНАЛИЗИ

Демонстрирана е методология за оценка и анализ на съществуващи картни проекции за техните линейни деформации спрямо физическата повърхност на Земята. Такъв тип анализ може да бъде от полза при избор на такава проекция. От направените подробни анализи на UTM проекциите, както и на конформната конична проекция (Кадастрална система) в БГС 2005 може да се заключи, че така демонстрираната методология за анализ на линейни деформации спрямо земната повърхност, получава коректни данни и позволява да се изобразят нагледни резултати, които могат да бъдат визуално представени върху карта с помощта на ГИС софтуер.

Тъй като анализите за линейно изкривявания са направени на ниво земна повърхност, а не на ниво елипсoid, може да се забележи, че при коничната проекция (БГС 2005 „Кадастрална система“) зоните с относително ниски линейни деформации в диапазон до ± 50 ppm не са непременно съвпадащи с двата стандартни паралела. На теория, изкривяванията на проекцията са минимални в зоните на сечение на елипсoida (двата основни паралела), но изследването показва, че при отчитане на височините на терена спрямо елипсoidната повърхнина, линейните деформации се променят и минималните изкривявания не са непременно в непосредствена близост до стандартните паралели.

Това е още по-забележимо при UTM проекциите към БГС 2005, при които в областта около централния меридиан се наблюдават големи линейни деформации достигащи -500 ppm (-0.5 m/km). Това е поради факта, че проекцията е дефинирана спрямо екватора, както заради голямото мащабно число по централния меридиан ($k_0 = 0.9996$), заради което проекционната повърхнина е отдалечена от топографската повърхност. Това мащабно число прави линейните деформации в областта на централния меридиан с отрицателна стойност, т.е. разстоянието в проекция е по-късо от истинското разстояние измерено на Земята.

⁴ Средно претеглена стойност спрямо населението

Направеният анализ също така показва, че при конформната конична проекция към БГС 2005 (Кадастрална система) по-голямата част от населението (71.25%) и от територията (63.56%) на страната попада в диапазон на линейна деформация от ± 50 до ± 200 ppm. Поради разликата в надморските височини, гр. София попада в зона на линейно изкривяване в диапазон от -150 ppm до -250 ppm (-0.15 – -0.25 m/km), докато гр. Пловдив е в зона от -50 ppm до -70 ppm (-0.05 – -0.07 m/km). В този случай, при използването на БГС 2005, например за проектиране на ново инженерно съоръжение между двата града, може да се очакват разлики в разстоянията, достигащи до -0.25 m/km, които за определени типове инженерно проектиране може да бъдат твърде големи. Осреднени нива на деформациите при LCC проекцията на БГС 2005 за двайсетте най-големи града в страната са показани в табл. 5.

Таблица 5 Средни деформации на БГС 2005 (LCC) за 20-те най-големи града в България по население⁵

София	1 196 806	-167.32	Перник	66 261	-188.66
Пловдив	325 485	-58.35	Хасково	63 776	-24.63
Варна	314 607	-36.15	Благоевград	62 346	-70.40
Бургас	188 114	-72.99	Ямбол	59 755	-89.88
Русе	122 116	129.41	Велико Търново	59 331	-81.66
Стара Загора	121 207	-100.29	Пазарджик	54 652	-72.98
Плевен	89 030	-10.18	Враца	48 406	-89.25
Сливен	78 627	-115.16	Асеновград	45 322	-46.87
Добрич	70 411	13.59	Габрово	44 232	-134.44
Шумен	66 713	-54.75	Казанлък	41 657	-132.22

При UTM проекциите към БГС 2005 линейните деформации са значително по-високи, като 40.33% от населението и 27.9% от територията на страната са в покритие на линейни деформации от ± 50 до ± 200 ppm, и съответно 50.82% от населението и 59.06% от територията попада в зони на линейни деформации от ± 200 до ± 450 ppm. За сравнение спрямо примерите посочени по-горе за коничната проекция, гр. София попада в диапазон на линейни деформации от -38 ppm до 123 ppm, със средна стойност от 59 ppm, а гр. Пловдив попада в диапазон на линейни деформации от 97 ppm до 136 ppm, със средна стойност от 116 ppm. Осреднени нива на деформациите при UTM проекциите на БГС 2005 за двайсетте най-големи града в страната са показани в табл. 6.

Таблица 6 Средни деформации на БГС 2005 (UTM) за 20-те най-големи града в България по население⁵

София	1 196 806	59.02	Перник	66 261	-86.79
Пловдив	325 485	115.92	Хасково	63 776	-211.68
Варна	314 607	-331.67	Благоевград	62 346	6.42
Бургас	188 114	-386.49	Ямбол	59 755	-402.41
Русе	122 116	-311.30	Велико Търново	59 331	-248.76
Стара Загора	121 207	-242.70	Пазарджик	54 652	322.71
Плевен	89 030	136.68	Враца	48 406	189.29
Сливен	78 627	-401.23	Асеновград	45 322	43.78
Добрич	70 411	-375.23	Габрово	44 232	-184.46
Шумен	66 713	-443.30	Казанлък	41 657	-195.86

Направените анализи потвърждават първоначалната хипотеза, че коничната проекция към система БГС 2005 има по-ниски линейни деформации спрямо UTM проекциите в предвид формата на държавата и поради факта, че UTM проекцията е глобална система и не е

⁵ Население на р. България към 31.12.2023 г. от Националния статистически институт [6]

предназначена за локално картографиране. Препоръчва се да се направи изследване дали могат да бъдат оптимизирани параметрите на тази конична проекция, така, че да се намалят деформациите за територията на страната и за населените места с по-голямо население.

4. ЛИТЕРАТУРА

1. Инструкция за прилагане на постановление на Министерския съвет на Република България №140 от 04.06.2001 г. за определяне на Българска геодезическа система 2000 (BGS2000). София: Министерство на Регионалното Развитие и Благоустройството, Дирекция "Геодезия и Картография". 2001
2. ИНСТРУКЦИЯ № РД-02-20-12 от 03 август 2012 г. за преобразуване на съществуващите геодезически и картографски материали и данни в „Българска геодезическа система 2005“
chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.cadaastre.bg/sites/default/files/documents/regulation/instrukcii/instr_bgs2005_08_2012_dv63.pdf
3. Кателиев, С. „Модернизирани национални пространствени референтни системи в САЩ (NSRS2022)“, Съюз на геодезистите и земеустроителите в България. Геодезия, Картография, Земеустройство. 2023, 3-10
4. Минчев, М., Здравчев, И., Георгиев, И. Основи на приложението на GPS в геодезията. Университет по архитектура, строителство и геодезия: София. 2005
5. Наредба № 2 от 30-ти Юли 2010 г. за дефиниране, реализация и поддържане на българската геодезическа система. ДВ. 2010. МРРБ и МО
6. Население на р. България към 31.13.2023 г. Националният статистически институт. (<https://www.nsi.bg/bg/content/2974/население>)
7. Савова-Георгиева, Д. Координатни системи, картографски проекции и координати, Какво трябва да знаем и защо не трябва да ни плашат. Извлечено от arcgis.com: <https://storymaps.arcgis.com/stories/8a22ba6732e74af394b20bf41e920d38> 2021
8. Dennis, M. L. Ground Truth: Low Distortion Map Projections for Engineering, Surveying, and GIS. School of Civil and Construction Engineering. 2016
9. USGS EarthExplorer (<https://earthexplorer.usgs.gov/>).

АДРЕС НА АВТОРА

Маг. инж. Симеон Кателиев
гр. Чикаго, САЩ
simeon.kateliiev@gmail.com

КОМПЛЕКСЕН АНАЛИЗ НА СТАБИЛНОСТТА НА ТОЧКИТЕ ПРИ ИЗСЛЕДВАНЕ НА ДЕФОРМАЦИИ

Доц. д-р инж. Румен Ангелов

COMPLEX ANALYSIS OF THE STABILITY OF POINTS IN DEFORMATION SURVEYS

Assoc. Prof. Dr. Eng. Roumen Ivanov

SUMMARY

Monitoring and detecting deformations and the analysis of the results from deformation surveys are important due to the risk of landslides, structural movements, stability assessments of buildings, etc. This paper focuses on the world-famous schools of deformation analysis, the scientists behind the research, and the work carried out in the centers of deformation survey theories. The deformation surveying methods are growing. A variety of new ideas are used in deformation analysis for the identification of stable reference points, which led to a lot of methods developed by a lot of scientists for the analysis of the stability of reference points. This research gives credit to the scientists who laid the foundations of modern deformation analysis and surveys. A deformation analysis of a leveling network using complex deformation analysis has been presented. This research highlights the fact that the methods for deformation analysis should be named after the names of their inventors. The paper presents the methods for finding stable points in geodetic networks, the names of their creators, and how the scientists have influenced the theory and practice of deformation analysis. In geodetic deformation analysis, many other tests have been used to assess the stability of points over the years. This research is concerned with developing the complex approach applied to deformation analysis.

Keywords: deformation analysis, deformation surveys, stable points, deformation monitoring.

РЕЗЮМЕ

Мониторингът и анализът на резултатите от изследванията на деформации са важни поради риска от свлачища, оценка на стабилността на сгради и съоръжения, и др. Този доклад се фокусира върху световноизвестните школи за анализ на деформации, учените, които стоят зад изследванията и работата, извършвана в научните школи. Методите за изследване на деформации се развиват все повече. В практиката се използват различни нови идеи за определяне на стабилните точки, което води до множество методи, разработени от много учени за анализ на стабилността на точките. В това изследване се отдава дължимото на учените, които са поставили основите на съвременният анализ на деформации. Представен е анализ на нивелачна мрежа с помощта на комплексен подход. В това изследване се подчертава фактът, че методите за анализ на деформации трябва да носят имената на своите автори. В докладът са представени методите за намиране на стабилни точки в геодезическите мрежи, имената на техните създатели и как учените са повлияли на теорията и практиката в тази област. Това изследване се занимава с развитието на комплексния подход, прилаган при анализа на деформации.

Ключови думи: анализ на деформации, мониторинг на деформации, стабилни точки.

1. THEORY AND PRACTICE OF DEFORMATION SURVEYING AND ANALYSIS

Measurements of deformations by surveying methods are of primary importance due to the risk of landslides, structural movements, stability assessments of buildings, etc. In Switzerland, the engineers Lang and Zölly employed geodetic methods for deformation studies in the 1920s [16]. In the 1950s, 1960s, and 1970s, Polish Professor T. Lazzarini applied new methods and solutions that contributed to the creation of the foundations of deformation analysis surveys. Prof. T. Lazzarini pioneering work also led to the creation of Working Group 6.1 of FIG Commission 6. He introduced the concept and method of differential deformation analysis. Analysis of deformation measurements may be made by using robust and non-robust methods [3], [8], [15], [21], [22], [32]. Analysis of deformation measurements can be performed with invariant (angle differences, distance differences, etc) [4], [18], [25] and non-invariant methods. The displacements of points can be obtained directly from measurements or after the adjustment. In the geodetic practice of stable point deformation analysis, the following known methods are used [11], [14], [29]—the Karpenko method, the Runov method, the Ganishin method, the Storozhenko method, the Costachel method, the Botyan method, the Martusiewicz, the Marchak and the Chernikov methods. Several of those methods are examined, and comparative analysis has been made [1].

Free or constrained network adjustment is used for deformation surveys [2]. An example of geotechnical engineering multi-criteria methods are the methods to analyze slope stability and critical slip surface – Fellenius, Bishop, Janbu, Spencer, Morgenstern and Price, etc. Similarly, the concept of multi-criteria methods can be applied to deformation analysis, which leads to the concept of complex deformation analysis (CODA), where the methods for analyzing deformation should be named after the names of their inventors. The scientific research pointed out the names of authors who created new methods for determining the reference points stability—Pelzer, Heck et al., Lazzarini, Polak, van Mierlo, Niemeier [9]. In some literature sources there is a so-called Caspary method named after Caspary [12]. These are some of the scientists who laid the foundations of modern deformation analysis and surveys. The five world-famous schools in deformation analysis called by the names of their locations are Delft, Fredericton, Hanover, Karlsruhe, and Munich [17], [26], [30]. The scientists behind the research centers are:

- Delft (J. van Mierlo and J.J. Kok)
- Fredericton (A. Chrzanowski, Y. Q. Chen, J. M. Secord)
- Hanover (H. Pelzer and W. Niemeier)
- Karlsruhe (B. Heck, E. Kuntz and B. Meier-Hirmer)
- Munich (W. Welsch)

A central part of the methods of deformation analysis is the Hanover School (global congruency test) [20] and the Fredericton School (Iterative Weighted Similarity Transformation-IWST) [9], [10], [31]. This, respectively, laid the foundation for the methods employed in the study of the stability of points: the Pelzer-Niemeier method and the Chen-Chrzanowski-Secord method [13].

In practice, the Penev and Milev methods can be used for finding point stability. P. Penev created a rigorous theoretical justification of the methods for determining the stability of the reference benchmarks based on the use of constant average height [24].

With the Milev method to identify stable points and benchmarks from reference networks and to find the movements of the remaining points followed next strategy-leveling benchmarks one by one is accepted as stable and heights and mean square errors of the remaining points are calculated. After this process, every point will have several mean square errors. The minimal mean square error of every point is accepted in the analysis. This procedure increases the power of statistical tests [18].

For deformation analysis we need the displacement vector between two epochs and the mean square error of the displacement vector. The displacement vector is found from the coordinate differences. The displacement vector's mean square error is calculated using the mean square errors of the first and second epoch deformation surveys. The ratio greater than 2.0 is the test statistic for whether significant movements of the points have occurred at the 95% confidence level [7]. The PhD thesis presented in [19] underlines the need for effective deformation analysis methods, because some deformation concepts aren't effective in deformation analysis. In the context of modern deformation analysis, to find stable points in geodetic networks, several methods can be used, which leads to the concept of complex

deformation analysis (CODA). For example, the principle of complex deformation analysis has been applied in [28] for the analysis of dam deformation with four methods. The identification of movements using different geodetic methods led to the conclusion that the modified Karlsruhe Method and the method implemented in the JAG3D software yielded satisfactory results in deformation analysis [27].

1.1. Numerical example

A leveling network consisting of four points has been analyzed (fig.1). The standard deviation of the height measurements per km is adopted at 0.8 mm/km. The preliminary known displacement of point 10 is -2.4 mm. The first and second epoch deformation measurements are presented in tab. 1 and tab. 2.

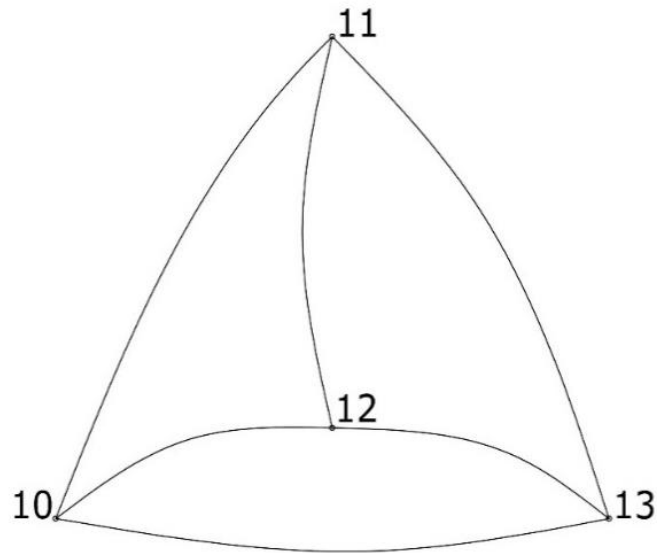


Fig. 3. Leveling network

After four sequential adjustments with fixed points one by one - with points 10, 11, 12 and 13, the displacements and related mean square errors computed with respect to points 10, 11, 12 and 13 indicate statistically changed height differences.

Table 1. First epoch deformation measurements

From	To	height difference[m]	leveling line [m]
10	11	-0.3274	211
10	12	-0.1887	60
10	13	-0.4187	216
11	12	0.1392	169
11	13	-0.0915	205
12	13	-0.2304	68

Table 2. Second epoch deformation measurements

From	To	height difference[m]	leveling line [m]
10	11	-0.3250	211
10	12	-0.1861	60
10	13	-0.4163	216
11	12	0.1394	169
11	13	-0.0916	205
12	13	-0.2306	68

For the identification of stable points using invariant analysis the height differences from adjustment are analyzed. By analyzing the changes in the height differences the following results are presented in tab. 3. The height differences from point 10 (in bold) exceed the allowable value for height differences.

Table 3. Allowable difference

The	From	to	1 epoch Height difference [m]	Mean square error [mm] m_1	2 epoch Height difference [m]	Mean square error [mm] m_2	difference 2 epoch – 1 epoch [mm]	Allowable difference Δh 2 epoch – 1 epoch [mm]
	10	11	-0.3276	0.1	-0.3252	0.1	2.4	0.3 unstable
	10	12	-0.1886	0.1	-0.1861	0.1	2.5	0.3 unstable
	10	13	-0.4190	0.1	-0.4167	0.1	2.3	0.3 unstable
	11	12	0.1390	0.1	0.1391	0.1	0.1	0.3 stable
	11	13	-0.0914	0.1	-0.0915	0.1	-0.1	0.3 stable
	12	13	-0.2304	0.1	-0.2306	0.1	-0.2	0.3 stable

formula (1) is used to compute the allowable height difference Δh .

$$(1) \quad \Delta h = 2.0 \sqrt{m_1^2 + m_2^2},$$

where 2.0 is the 95% confidence level expansion factor, m_1 and m_2 are the mean square errors for the first and second epoch deformation surveys (tab. 3).

The procedure for detection of deformations using the Penev method uses free network adjustment results from the first and second epochs. Deformation analysis of a leveling network is performed using the principle of maximal displacement. The point with maximal displacement is removed, and the network is readjusted until there aren't statistically significant displacements. P. Penev focuses on the fact that if the elevation of one point in the network changed with Δh , other points' elevations changed with $\Delta h/n$. For this reason, it is advisable to remove unstable benchmarks one by one, starting with the point that has the largest height difference. Comparing the elevation differences results of the first and second epoch adjustments shows the maximal displacement of station 10 (tab. 4). Later, we apply the check to the sum of the height differences, and this sum is equal to zero (tab. 4). The conclusion is that point 10 changed his elevation, and the displacements of other points are due to this change.

Table 4. Network adjustment

Point	1 Epoch elevation [m]	1 Epoch standard deviation [mm]	2 Epoch elevation [m]	2 Epoch standard deviation [mm]	Height difference Δh [mm]
10	500.6001	0.1	500.5983	0.1	-1.8
11	500.2725	0.1	500.2731	0.1	0.6
12	500.4115	0.1	500.4122	0.1	0.7
13	500.1811	0.1	500.1816	0.1	0.5
					$\sum \Delta h = 0.0$

To identify stable benchmarks using the Milev method, leveling benchmarks one by one is accepted as stable and the heights and mean square errors of the remaining points are calculated. This leads to homogenization and minimization of mean square errors, because several mean square errors are obtained for each individual benchmark. The minimal mean square error of every point is accepted in the analysis. From the selected datum point at least one stable point (better two) from the group of previously known reference points must be found after deformation analysis. By applying a constrained adjustment with a fixed height at point 10, points 11, 12 and 13 are determined to be unstable. By applying a constrained adjustment with a fixed height at point 11, points 12 and 13 are determined to be stable, while point 10 is unstable. Since the condition for finding other stable point(s) is satisfied for point 11 the deformation analysis ended with the conclusion that point 10 is unstable. The decision of which point is most stable can also be made from a free network adjustment. The minimum and maximum displacements from free network adjustment are the starting points for further analyses. Point 13 has the minimum displacement (Tab. 4) and can be accepted as the "most stable". Once again, by

applying a constrained adjustment with a fixed height at p.13 and using the criterion for the presence of other stable points, p.11 and p.12 are obtained as stable, while p.10 is determined to be unstable. From free network adjustment point 10 is with maximum displacement (Tab. 4). This point is removed, and the adjustment is performed only with points 11, 12 and 13. Applying this strategy of maximal and minimal displacements helps in detecting unstable points. Generally, the maximal displacement strategy may be represented as the process of sequentially removing the points with maximal displacements and readjusting the network. The minimal displacement strategy is the process of adding points to a preliminary defined stable datum and sequentially adjusting the network. The strategy of maximal and minimal minimum displacements is like the backward and forward strategy for finding stable points, used in deformation analysis [23]. The conclusions from the adjustment results are that point 10 with maximal displacements is the “most unstable” and point 13 with minimal displacements is the “most stable”. After removing point 10 the results obtained from adjustment only with points 11, 12 and 13 don't indicate any deformations. The strategy of “minimal displacements” begins with points 11 and 13 – the points with minimal displacements into the network (tab. 4). The processing methodology involves adding point 10 and adjusting the network with points 10, 11 and 13. Later, the next step is to adjust the network with points 11, 12, and 13. Comparing the displacements of points 10 and 12 the point with less displacement is point 12. The adjustment made with points 13, 11 and 12 doesn't indicate any displacements into the network. The new stable datum is now points 13, 11 and 12. Adding point 10 and readjusting the network show that point 10 is unstable. An analysis of deformation measurements in mine surveying may be made by using the approach presented in [6]. The design and implementation of modern geotechnical equipment applied for dam monitoring may be found in [5].

2. CONCLUSIONS

The monitoring of terrain and structures is of great importance for preventing damage to the terrain and the collapse of engineering structures. Deformation analysis studies are progressing with new theories. Related studies in this area demonstrated that some of the methods of deformation analysis did not work. Based on scientific research, there is no definitive answer to the question of the most effective method for stable point analysis. Different methods may be effective depending on the number of points, network geometry, etc. For that reason, to find stable points in geodetic networks, several methods can be used, which leads to the concept of complex deformation analysis (CODA). The theoretical background for the analysis of the stability of points with the various criteria used in deformation analysis has been successfully accomplished using complex deformation analysis (CODA).

3. REFERENCES

1. Al-dami, H., M. Zheleznov, A Comparative Analysis of Methods for Calculating Stability of Benchmarks Used in the Russian Federation to Monitor Deformations of Engineering Structures to Ensure Sustainability, IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 1232 012048, 2023.
2. Alsadik, B., Y. Al-Kanani, Displacement Computation of Mosul Dam by Using Free Geodetic Network Adjustment. Journal of engineering, Baghdad university, 2010.
3. Ambrožič, T., A. Mulahusic, N. Tuno, J. Topoljak, A. Hajdar, D. Kogoj, Deformation analysis with robust methods in geodetic nets. Geodetski Vestnik. 63. 163-178. 10.15292/geodetski-vestnik.2019.02.163-178, 2019.
4. Ardalan, A., R. Esmaeili, 3-D deformation analysis via invariant geodetic observations, Geophysical Research Abstracts 5: 09615. EGS-EGU-EUG Joint Assembly Nice, France, April, 2003.
5. Attaouia, B., K. Chouicha, S. Kahlouche, G. Bachir, Multi-sensor data fusion with AI-RBFN in settlement surveillance of embankment dams: application to a rockfill dam in Algeria. J Civil Struct Health Monit (2023). <https://doi.org/10.1007/s13349-023-00691-8>, 2023.
6. Begnovska, M., R. Sirakov, Accuracy of mine surveying measurements in the research of geomechanical processes, Proceedings of the X International Geomechanics Conference, 19 – 23 September 2022, Varna, Bulgaria, 2022.
7. Blake, L.,S., (Ed.), Civil Engineer's Reference Book, 4th Edition, CRC Press, 1994.

8. Chan, L., M., H. Setan, R. Othman, Continuous Deformation Monitoring Using GPS and Robust Method, Department of Geomatic Engineering, Faculty of Geoinformation and Real Estate, Universiti Teknologi Malaysia, 2011.
9. Chen, Y.Q., Analysis of deformation surveys—A generalized method. Department of Geodesy and Geomatics Engineering, Technical Report No.94, University of New Brunswick, Canada, 1983.
10. Chen, Y.Q., A. Chrzanowski, J. Secord, A strategy for the analysis of the stability of reference points in deformation surveys. 44. 141-149., CISM journal acsgc, 1990.
11. Dyakov, B., Comparative analysis of the methods of Costachel and Marcak, Mine Surveyor Bulletin, N6, 43-46, 2009.
12. Hamza, V., T. Ambrožič, Deformation analysis: the Caspary approach. Geodetski vestnik. 64. 68-88. 10.15292/geodetski-vestnik.2020.01.68-88, 2020.
13. Ivanov, R., N. Babunska-Ivanova, Analysis of deformation surveys in geotechnical engineering: the concepts, Proceedings of the XI International Geomechanics Conference, 16 - 20 September 2024, Golden Sands Resort, Bulgaria, 2024.
14. Kalinchenko, I., Development of technological solutions and research on optimization of the methods for geodetic monitoring of geotechnical systems in the polar region, PhD Thesis (in Russian), Omsk, 2014.
15. Konakoglu, B., E. Gökalp, Deformation Measurements and Analysis with Robust Methods A Case Study Deriner Dam. Turkish Journal of Science & Technology. 13. 99-103, 2018.
16. Lang, W., Deformationsmessungen an Staumauern nach den Methoden der Geodäsie. Verlag der Abteilung für Landestopographie, Bern, 1929.
17. Marjetič, A., M. Zemljak, T. Ambrožič, Deformation analysis: the DELFT approach. Geodetski vestnik. 56. 009-026. 10.15292/geodetski-vestnik.2012.01.009-026, 2012.
18. Milev, G., I. Milev, Applied geodesy, Part 1, Engineering surveying, Book 1: Basics, Systems and technologies of engineering surveying, Union of surveyors and land managers in Bulgaria, Sofia, 2017.
19. Neitzel, F., Identifizierung konsistenter Datengruppen am Beispiel der Kongruenzuntersuchung geodätischer Netze, München, Verlag der Bayerischen Akademie der Wissenschaften in Kommission bei der C. H. Beck'schen Verlagsbuchhandlung München, ISSN 0065-5325 ISBN 3 7696 5004 2, 2004.
20. Niemeier, W., Classical concepts for deformation monitoring - strategies, status and limitations, 5th Joint International Symposium on Deformation Monitoring (JISDM), 20-22 June 2022, Valencia, Spain, 2022.
21. Nowel, K., Robust M-Estimation in Analysis of Control Network Deformations: Classical and New Method. Journal of Surveying Engineering. 141. 10.1061/ (ASCE)SU.1943-5428.0000144, 2015.
22. Nowel, K., W. Kamiński, Robust estimation of deformation from observation differences for free control networks. Journal of Geodesy. 88. 10.1007/s00190-014-0719-7, 2014.
23. Odak, I., L. Redovniković, M. Ivković, Application of Deformation Analysis on the Geodetic Measurements, The 5th International Conference on Engineering Surveying INGEO 2011, Brijuni, Croatia, 2011.
24. Penev, P., Analysis of the stability of reference points of a high-altitude base, Notice of the Universities "Geodesy and aerial photography" (in Russian), book 4, Moscow, 2005.
25. Polak, M., Examination of the stability of reference points in distance and combined angle-distance networks, Proceedings of the II International Symposium of deformation measurements by geodetic methods, Germany, 1978.
26. Soldo, J., T. Ambrožič, Deformation analysis: The München approach. Geodetski vestnik. 62. 10.15292/geodetski-vestnik.2018.03.392-414, 2018.
27. Sušić, Z., M. Batilović, T. Ninkov, I. Aleksić, V. Bulatovic, Identification of movements using different geodetic methods of deformation analysis. Geodetski vestnik. 59. 537-553. 10.15292/geodetski-vestnik.2015.03.537-553, 2015.
28. Taşçi, L., Analysis of dam deformation measurements with the robust and non-robust methods. Scientific Research and Essays. 5. 1770-1779, 2010.

29. Viet, N., Development of a methodology for assessing vertical displacements of the foundations of buildings and structures based on the analysis of model elements deformation network, PhD Thesis (in Russian), St. Petersburg, 2018.
30. Vrecko, A., T. Ambrožič, Deformation analysis: The fredericton approach. Geodetski vestnik. 57. 479-497. 10.15292/geodetski-vestnik.2013.03.479-497, 2013.
31. Wilkins, R., G. Bastin, A. Chrzanowski, P. Smith, A Precise, Reliable, and Fully Automatic Real Time Monitoring System for Steep Embankments., CIM, 2002, Vancouver, 2002.
32. Wiśniewski, Z., R. Duchnowski, A. Dumalski, Efficacy of Msplit Estimation in Displacement Analysis. Sensors. 19. 5047. 10.3390/s19225047, 2019.

ADDRESS OF THE AUTHOR

Assoc. prof. eng. Roumen A. Ivanov, PhD
Higher School of Transport "T. Kableskov"
158 Geo Milev Str., Sofia, 1574
BULGARIA
029709287
rang75@hotmail.com

ГЕОДЕЗИЧЕСКИ ДЕЙНОСТИ ПРИ ПОДДЪРЖАНЕ НА ПОДКРАНОВИ ПЪТИЩА

Ас. д-р инж. Иван Иванов

GEODESIC DEFINITIONS WHEN SUPPORTED ON THE SUBSCRAP OF THE FISH

As. Dr. Engr. Ivan Ivanov

SUMMARY

The work of surveyors related to under-crane roads is extremely responsible, important and comprehensive. It is usually associated with the development and use of specialized equipment, methods, software and others, as it is often the only reliable system for controlling basic parameters of the sub-crane geometry. Geodetic activities for maintenance of sub-crane roads are associated with achieving high both in terms of horizontal and vertical accuracy. Depending on the specifics of the site, different methods and technologies can be applied, tailored to achieve the required accuracy and the specific conditions and features of the facility. The present article examines mainly the classic methods for carrying out the geodetic measurements of under-crane roads and emphasizes the possible problems and difficulties in their application.

Keywords: crane roads, classical methods, triangulation, trigonometric leveling.

РЕЗЮМЕ

Работата на геодезистите, свързана с подкрановите пътища, е изключително отговорна, важна и всеобхватна. Обикновено се свързва с разработване и използване на специализирана техника, методи, софтуер и други като често това е единствената надеждна система за контрол на основни параметри на подкрановата геометрия. Геодезическите дейности по поддържане на подкрановите пътища са свързани с постигане на висока както по отношение на хоризонталната, така и по отношение на вертикалната точност. В зависимост от спецификата на обекта могат да бъдат прилагани различни методи и технологии, съобразени с постигането на необходимата точност и специфичните условия и особености на съоръжението. Настоящата статия разглежда предимно класическите методи за извършване на геодезическите измервания на подкранови пътища и акцентира върху възможните проблеми и затруднения при тяхното прилагане.

Ключови думи: подкранови пътища, класически методи, триангулация, тригонометрична нивелация.

1. НОРМАТИВНА УРЕДБА

Нормативната уредба е неотлъчно свързана с професията на геодезиста, която влиза в Списъка на регулираните професии в Република България. Основния закон [2] регламентира видовете геодезически дейности, като дейностите по поддържане на подкрановите пътища

попадат в обхвата на чл.4, а.1, т.1. Съгласно чл. 24, ал.2 „Специализираните дейности по чл. 4, ал. 1 се изпълняват от лица, получили правоспособност при условията и по реда на Закона за камарите на архитектите и инженерите в инвестиционното проектиране.“. В Устава на Камарата на инженерите в инвестиционното проектиране, в своя чл.1, ал.3 е поставен основния фокус на КИИП „(3) КИИП е национална професионална организация на инженерите, придобили проектантска правоспособност в устройственото планиране и инвестиционното проектиране и упражняващи регулираната професия „инженер-проектант в инвестиционното проектиране и устройственото планиране, наричана по-нататък в текста „инженер-проектант“. Никъде не се говори за регулирана професия „Инженер в геодезията, картографията и кадастъра“, а само за „Инженер в инвестиционното проектиране“, чиято дейност се отличава значително с дефинираната в чл.4 на [2]. От друга страна е въведена още една регулация в чл. 4, ал.3 от [2], съгласно която „Условията, редът и минималните технически изисквания за извършването и контрола на специализирани геодезически и картографски дейности по ал. 1 и 2 се определят с наредби на министъра на регионалното развитие и благоустройството.“. Към момента наредби и други подзаконови нормативни актове няма издадени във връзка с чл.4, ал.1, т.1 от [2].

От гледна точка на технически изисквания към изграждането и експлоатацията на съоръжението (подкранови пътища) съществува нормативна регулация, касаеща както параметрите на съоръженията, така и оправомощените лица, които следва да ги поддържат, ремонтират и преустроят. Това са [3] и [6] като наредбата указва наличие на „**измервателни уреди за геометрични размери и други машини, съоръжения и уреди с обхват, технически характеристики и предназначение в зависимост от предвидените в процедурите по т. 2, буква "б" технологични операции и според вида и работните параметри на повдигателните съоръжения, за които кандидатстват**“. Макар да има изписани множество научни трудове относно ролята на инженер геодезистите в този вид строително-монтажни работи, в чл. 283, ал.1, т.1 от [6] **няма изискване за „правоспособно лице по геодезия“**, до колкото и това като понятие е регулирано от други нормативни актове. Регулацията тук остава в ръцете на усвоеният „занаят“ (опит) на колегите, наличието на прецизна апаратура и отговорното отношение към поставените задачи. В крайна сметка, регулация съществува за допустимите отклонения в геометричните характеристики на релсовите пътища, описани в Приложение №2 и №3 Приложение към чл. 27, ал. 3, чл. 84 и 94 от [6], служеща като отправна точка при подбор на измервателната апаратура за всеки (дори и не инженер – геодезист), който ще се занимава с констатиране на горесцитираните отклонения.

2. МЕТОДИ ЗА КОНТРОЛ ПРИ ЕКСПЛОАТАЦИЯ НА ПОДКРАНОВИ ПЪТИЩА

Съществуват различни видове кранове като същите се класифицират по най-различни признаци. Основното разделение между видовете кранове се проявява във вида на тяхната конструкция като основните видове кранове, които се движат по релсов път, са мостови, козлови и портални кранове. В зависимост от предназначението си, крановете могат да оперират вътре в сгради, където се произвеждат и съхраняват различни продукти, или отвън, където се използват за товаро-разтоварна дейности.

В съответствие с [6] и независимо от годишната инспекция, подкрановите релси трябва винаги да се измерват и контролират при следните събития [5]:

- След нова инсталация на подкрановите релси, преди въвеждане в експлоатация на крановата система;

- Преди инсталиране на нов кран на вече съществуващ по-стар подкранов релсов път;

- След повреда на кран, катастрофи на товар или сблъсъци с кран;

- След внезапни промени в характеристиките на движение на крана като силно изскръцващи шумове при движение, наклоняване или застой на крана или неточно позициониране на автоматични системи;

- След повишено износване на водещите елементи на коловоза, ходови колела или релси на кранове;

- След преустройство или удължаване на крановата система, напр. увеличаване на натоварването;

- Като предпазна мярка в райони с очаквано движение на терена като руднични зони или подобни зони на пропадане или ако е в района на пристанище.

В такъв случай при стойности в рамките на допустимите отклонения, кранът трябва да се движи по коловоза без прекомерен шум, износване на колелата на релсите и консумация на енергия.

От гледна точка на методите за следене и контрол на подкрановите пътища би следвало за контрол да се използват същите методи, каквито са използвани при устройването на подкрановите пътища и монтирането на крановете [5]. В действителност развитието на методите и технологиите за контрол предлагат много по-големи възможности при следене и контрол на подкрановите пътища, съобразени с конкретните изисквания и задания на възложителя. Някои автори разделят тези методи на „традиционни“ (конвенционални, класически) и съвременни, но в действителност такова рязко разграничаване не съществува. Това е така, защото в много от „съвременните методи“ (вкл. и автоматизираните) участват уреди, които се използват за „традиционните“ методи, а в други случаи за да се приложат „съвременните методи“ е необходимо първо да бъдат предшествани от „традиционните“.

Най-важно е при подбора на методите, **те да удовлетворяват зададената точност, да бъдат съобразени със средата на тяхното приложение и да бъдат икономически обосновани.** Има множество литература и проведени изследвания на различни методи за следене и контрол на релсовите пътища, както и достижимата точност от използването им. Като най-основни съвременни методи, може да посочим наземно лазерно сканиране, въздушна фотограмметрия и автоматизираните системи за следене и контрол.

Наземното лазерно сканиране предлага бързо събиране на данни и висока плътност на подробните точки измерени на релсите. Като цяло, технологията не постига точност в отделна точка сравнима с получената от класическите методи, но постига **висока точкова плътност**, от която могат да бъдат изготвени различни анализи. От друга страна, за извличане на данните за оста на релсата, е нужно релсата да се моделира от получения облак от точки, а не директно както при други методи. Неблагоприятен ефект върху лазерното сканиране указва и издължената форма на заснемания обект най-вече заради ъгълът на измерване, което налага разполагане на повече измервателни станции за заснемането [9]. Друга специфика на наземното лазерно сканиране, е изборът на метода за определяне на елементите на външно ориентиране, което има съществена роля при постигането и оценката на необходимата точност [7]. Въпреки всичко, методът е удачен за използване при определени външни условия и необходима точност.

С усъвършенстване на технологиите, **методът на фотограмметрията** започна да се прилага и в обследването и контролът на подкрановите пътища. В [9] е постигната милиметрова точност чрез фотограмметричния способ, но за целта има наложено доста условия като:

- максимална височина на полета – 10m (20m за контролните точки при застъпването);
- контролните точки да бъдат определени с точност $\pm 1\text{mm}$, което налага използването и на класическите методи;
- застъпване на изображенията $>80\%$;
- поставяне на стикери върху релсите с цел определяне на оста;
- специфични изисквания към софтуер, хардуер, въздухоплавателното средство, оборудване на камера, подходящо осветление и др.

Основното предимство на този метод е дистанционното измерване на обекта и отпадане на необходимостта от видимост между отделните части от подкрановия път. Като допълнителни условия може да добавим, че методът е приложим при подкранови релси, разположени извън сгради и законодателната рамка, която регулира използването на БЛС.

Автоматизираните системи за следене и контрол на подкрановите пътища са най-съвременното решение на поставената в настоящата статия задача. Има различни разработки като RailControl, RailRob, RailQ, DEMAG, ARTIS и др. Изброените дотук са разгледани в [5] като е направена и сравнителна таблица между упоменатите. Конфигурациите на тези системи са доста различни, постигат различна точност и измерват различни допълнителни данни свързани с износване на релсите. Общото между всички е, че в конфигурацията им влизат измервателен блок (количка) и електронен тахиметър (тотална станция) или лазертракер. Преди разработване и внедряване на подобна система за автоматично следене и контрол трябва да бъде направена

експертна оценка относно зададената точност, средата в която ще оперират, стойността на инвестицията, както и нуждата от евентуално специализирано обучение на персонал.

„Традиционните методи“ са най-често прилагания метод при извършване на този тип геодезически работи. По подразбиране, това е метод на смесване на измервания чрез електронен тахиметър (или теодолит) и нивелир с цел определяне на хоризонтално и вертикално положение на дадена характерна точка. С развитието и усъвършенстването на технологиите, някои автори представиха различни изследвания под претекст на „алтернативни“ методи за измерване, където измерванията се извършват полуавтоматично (чрез автоматизирани електронни тотални станции), а необходимата хоризонтална и вертикална точност се постига само чрез метода на тахиметрията. Освен поставянето на характерни изисквания към точността на измервателната апаратура се акцентира и към начина на сигнализирането на характерните подробни точки, измервани по релсовите пътища, което е особено важно условие за получаване на точен краен резултат. Подобен пример има в изследването на [8], където чрез специално приспособен сигнал и характерно дефинирана методика, се постига милиметрова точност при такъв тип геодезически дейности.

Като цяло точността на всички изброени методи се влияе главно от характеристиките на измервателната апаратура и в частност на външните условия и фактори, повечето от които са предвидими и могат да бъдат отстранени или минимизирани чрез различни подходи. Изключение правят класическите методи, при които освен гореспоменатите условия, съществено влияние указва и субективния (човешкия) фактор. Това влияние се минимизира единствено с наличието на богат професионален опит от страна на оператора (респ. опериращият екип). Освен това е добре да се съобразяват някои правила и препоръки от проведени изследвания, касаещи настоящата тема.

3. МЕТОДИКА И ИЗТОЧНИЦИ НА ГРЕШКИ ПРИ ИЗПОЛЗВАНЕ НА КЛАСИЧЕСКИТЕ (ТРАДИЦИОННИ) МЕТОДИ

Тъй като източниците на грешки имат съществен дял в използването на класическите методи, а класическите методи са в основата и на някои от другите методи за изследване и контрол, ще бъдат разгледани някои специфики при тяхното провеждане. Ще бъдат разгледани и някои методически насоки с цел постигане на по-прецизни резултати.

Изхождайки от едно от основните правила геодезията, а именно „от общото към частното“, първото и най-важно нещо е **правилното построяване на опорна геодезическа мрежа**, от която да се извършват контролните измервания. За целта трябва да се уточнят въпроси, свързани с конкретните условия като начин на стабилизиране, начин на измерване и предназначение на основата – дали измерванията ще се провеждат от директно от нея или чрез измерване от свободно избрани станции (геодезически засечки). Практически, варианта за измерване чрез центриране върху геодезическата основа е доста често неудобен и трудно приложим, защото динамиката в движението на различните съоръжения, товари и материали, е голяма на такива места – винаги има нещо, което пречи на видимостта при преките геодезически измервания. С оглед на това, може да сформираме следните препоръки при създаване на работната геодезическа основа:

- Да бъде изградена извън зоната на товаро-разтоварна и работна дейности – това ще гарантира максимално запазване на геодезическия знак;

- РГО да се изгради по начин и конфигурация, така че да „опасва“ контролирания обект, т.е., работните точки да бъдат извън зоната на измерване с цел да има реален контрол върху точността. Освен това е добре при изграждане на РГО за използване чрез свободни станции да се обмисли конфигурацията на сключените триъгълници при геодезическите засечки – иначе казано да не се допускат отношения между измерени ъгли и дължини по-големи от 1:5;

- Да се съобразят разстоянията при измерване към работните точки с цел постигане на заложената точност както и с точността на измервателната апаратура [8]. Това е особено важно условие и при положение, че РГО ще служи като основа за тригонометрично определяне на котите на подробните точки [4].

- Не на последно място, внимание трябва да се обърне и на начина на сигнализиране на геодезическите знаци. При използване на отразителни марки е добре те да бъдат ориентирани към направление, от което се очаква да бъдат извършвани измервания към марките, т.е. „да гледат към инструмента“. В противен случай се получава ексцентрично измерване на

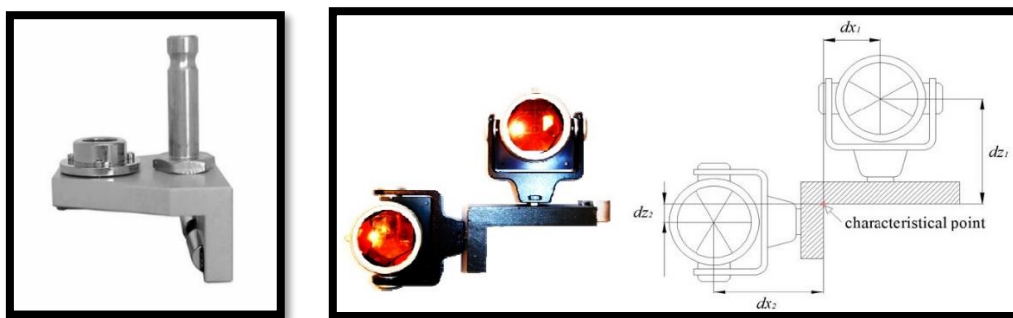
разстоянието в следствие на приплъзване на лазера, което влияе върху точността на изчисление на свободно избраната станция.

След изграждане и измерване на геодезическата основа се пристъпва към **самото измерване на контролните точки**. Точките се разполагат по начин и през разстояние, съгласувано с възложителя и потенциалния строител. Данните, които могат да се измерят и анализира чрез геодезически методи, са посочени в т.1, т.3, т.5 и т.7 от Приложение №2 на [6]. Определя се метод, по който ще се сигнализируют и измерят подробните точки, чрез които ще се извършат анализите по Приложение №2. Важно е да се отбележат някои характерни места, върху които задължително трябва да се проведат геодезически измервания, а именно:

- Буфери в края на релсите на линейните подкранови пътища;
- Челни съединения на релсите (стикове, снаждане, джонтови връзки);
- Точки по релсите при колони на конструкцията на сградата (при мостови кранове).

За да могат да се проверят условията на т.1 и т.3 от Приложение №2 на [6] (разликите в котите на релсите и отклонението от разстоянието между осите на релсите) следва подробните точки **да бъдат разположени по напречните сечения на подкрановия път** [5]. За целта трябва местата на точките да бъдат маркирани предварително като може да се използва дълга ролетка или някои COGO функции, налични GPS или електронна тотална станция за пренасяне на разстоянията.

Маркирането и сигнализирането на подробните точки е обект на широка дискусия и различни научни изследвания. Основна роля играе методът, който ще се използва за следене и контрол на подкрановия път. Например при фотограметричния метод могат да се използват стикери, залепени върху релсите [9], при традиционните методи могат да се използват различни адаптори [8] (фиг.1), при автоматизираните системи има вариант да се избегне предварителното маркиране, а при лазерното сканиране изцяло отсъства.

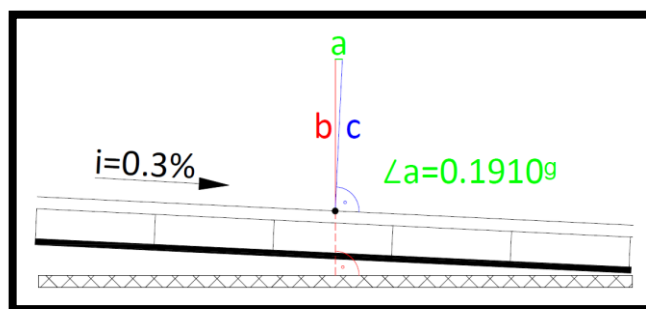


Фиг. 4.: 1) Магнитен фиксатор Leica SCCS, 2) Индивидуален магнитен фиксатор [8]

За използване на класическите методи, тези фиксатори са удобни и заместват ролята на фигурант, разполагат с либели и фиксирана височина. При втория вариант се осигурява и възможността за допълнителни (неправилно наричани още „излишни“) измервания, които са единственият начин за минимизиране на случайните грешки. При използването на такъв вид прибори трябва да се съблюдават два основни фактора, които могат да повлияят значително точността, а именно:

- наличие на наклон на подкрановия път, което при контакт накланя фиксатора по наклона на релсите;
- страната, от която се поставя, заради страничното износване на главите на релсите [1] (фиг.3).

Наклон на подкрановия път обикновено не трябва да има, но понякога такъв наклон съществува поради терена, върху който оперира крана (външни кранове). Ако погледнем допустимите отклонение съгласно т.7 от Приложение №2 на [6] (с изключение на куловите кранове), а те са 3cm на 10m, би следвало че наклон по-голям от 0.3% (и то само за козловите кранове) не би следвало да има. Грешката от влиянието на наклона (а) нараства с увеличаването на височината на сигнала, което може лесно да бъде пресметнато чрез синусова теорема, където хипотенузата (с) се явява перпендикулярната проекция на сигнала върху наклонената релса (фиг.2).



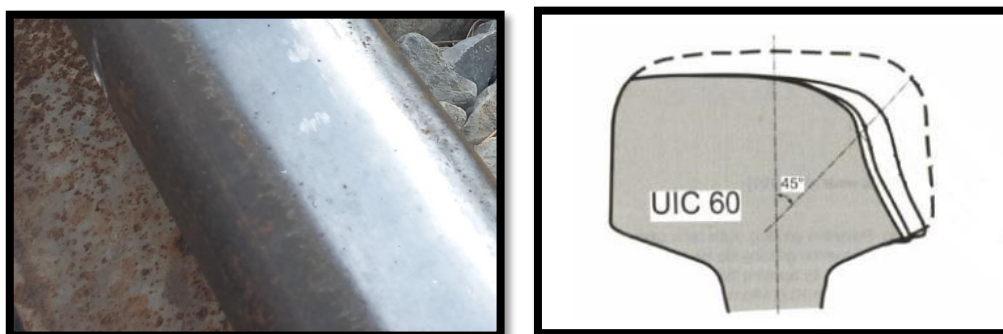
Фиг. 5. Схематично представяне на ефекта от наклона на релсата

$$(1) \quad \frac{a}{\sin \alpha} = \frac{c}{\sin c}$$

$$(2) \quad a = \frac{\sin a.c}{\sin c}$$

При заместване на съответните стойности за височината на сигнала (с), получаваме, че при максимално достигнатия наклон от 0.3%, грешка от 1mm в положението може да се получи при височина на сигнала >0.33m, поставен перпендикулярно върху подкрановия път. При този тип измервания, сигнала рядко се поставя на височина по-голяма от 0.1 до 0.2m, но все пак трябва да се има предвид възможността от допускане на грешки.

Определянето на осовата линия на релсите често е трудна задача, понеже контакта на измервателните уреди е с главата на релсите, която се износва неравномерно (Фиг. 3). Само по себе си, този вид износване е предмет на други измервания, които могат да бъдат извършени с профилограф или сканиращи лазерни камери [1].



Фиг. 6. Странично износване на релси

Износването обикновено е в горната част на главата на релсата като долната част запазва нейната проектна ширина. Пренасянето на центъра (оста) на подкрановите релси може да се извърши с необходимата точност посредством шублер с дълги челюсти. Използването на стандартни шублери с къси челюсти може да компрометира точно маркиране на оста на подкрановия път (фиг. 4). Методът е подходящ и при монтирани вече подкранови релси с различни ширини на главите в, най-често следствие на удължаване на подкрановия път, което е също срещана практика.



Фиг. 7. Измерване на износена релса с проектна ширина 7.00mm с шублер с къси челюсти. Шублерът показва ширина 6.87 mm като това влияе върху правилното определяне на центъра (оста) на релсите

Самото измерване, освен със специализиран фиксатор, може да се извърши и чрез използване на стандартна минипризма, чиито характеристики следва да бъдат коректно въведени в електронния тахиметър (тотална станция). Операцията е сравнително проста, затова с цел по-голяма бързина на процеса може да се осигури втори човек неспециалист, който чрез триножка да поставя и хоризонтира последователно минипризмата върху предварително маркираните подробни точки. Поради продължителните измервания и в следствие на провеждането им често през работния процес, за по-добър контрол е добре **измерванията към изходните точки (геодезическата основа) да бъдат проведени преди и след измерванията към подробните точки**, в следствие наличие на вибрации в зоната на измерване и лоши атмосферни условия (например наличие на вятър при измервания на подкранови пътища по пристанища).

Последният етап от прилагане на класическите методи, е **обработката и интерпретацията на резултатите**. Обработката стартира първо с изравнение на координатите на точките от геодезическата основа [5]. Така може да получим предварителна оценка за точността на координатите на контролните точки и да направим реална преценка за включването им или не в изравнението на полярната снимка. Честа практика е да бъде въвеждана локална координатна система с нарастване на север по дължината на подкрановите пътища и използване на стойности, така че стойностите на координатите да бъдат винаги положителни числа. Тук по-важния момент е по-скоро в настойката на софтуер за изравнение с цел **да не се нанасят поправки върху координатите заради проекцията**, защото за някои видове проекции (и особено в краищата на техните зони) могат да се получат значителни поправки с оглед на това, че обектите като подкрановите пътища са издължени (линейни) и могат да достигнат стотици метри. Ако това не бъде направено може да получим изкривяване на резултатите в следствие промяна на размерите на релсите заради параметрите на картната проекцията.

Не може да подминем и едно от най-големите предимства на класическите методи, а именно – сравнително малките изисквания към хардуера и софтуера за обработка на резултатите. Съществуват комерсиални решения като AutoCAD Civil 3D в комбинация с вградения модул “Survey”, чрез които можем едновременно в една и съща среда да обработим ъглово-линейните измервания по метода на най-малките квадрати (МНК) и да интерпретираме получените резултати. Особеност представлява форматът за обмен на данни (например за Civil 3D *.fbk), с характеристиките на който се сблъсква всеки инженер-геодезист в зависимост от измервателната техника, с която работи.

След обработката на резултатите идва ред на тяхната интерпретация, за която няма нормативно регламентирани образци и изисквания. Обикновено възложителя посочва в заданието форматът и начинът, по който иска да му се предоставят резултатите. Тъй като

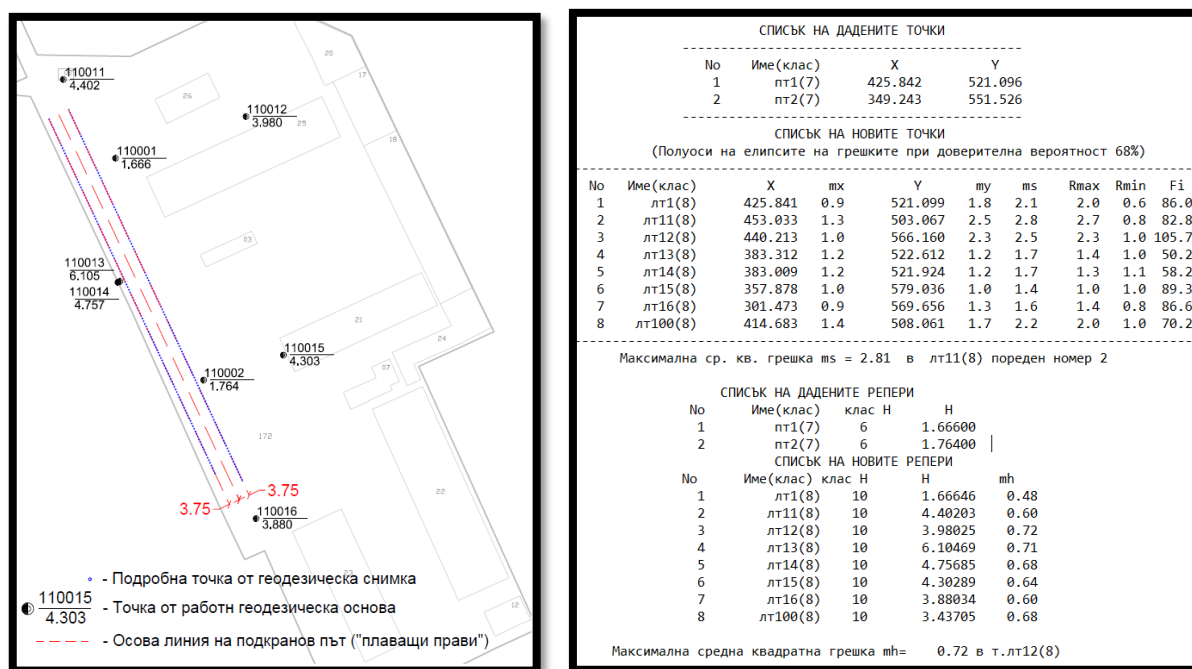
результатите се ползват и анализират от различни специалисти е добре те да бъдат както в графичен (съответно цифров вид), така и в табличен вид под формата на сравнителен анализ.

Особено внимание трябва да се обърне при анализа по т.5 от Приложение №2 на [6], тъй като към този показател има въведено условие – дължина на отсечката. За целта се изчисляват отделни „плаващи прави“ спрямо изискванията за дължина към вида кран и се съобразяват краищата на всяко самостоятелно парче от релсовия път [5]. Обхватът на отделните парчета не бива да надминава максималната дължина за съответния вид кран съгласно т.5 от Приложение №2 на [6]. Построяването на „плаващата права“ може да се изчисли аналитично [5], но повечето съвременни чертожни софтуери предлагат такава функция, която спестява доста време и грешки.

4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗМЕРВАНЕ ЧРЕЗ ИЗПОЛЗВАНЕ НА КЛАСИЧЕСКИ МЕТОДИ (ПОЛЯРНА СНИМКА)

Представени са резултати от проведено измерване по представената методика. Изследван е външен подкранов път на пристанище в района на общ. Белослав, използван за опериране на портални кранове. Изградена е мрежа от работни точки, стабилизирана чрез геодезически болтове и отражателни марки. Измерванията са направени със стандартна тотална станция с ъглова точност 2" и точност на далекомера 2mm + 2ppm като успоредно с това е направена и геометрична нивелация на подробните точки чрез дигитален нивелир и RAB-кодова лата със стандартно отклонение при измерване от 1.0mm на 1km.

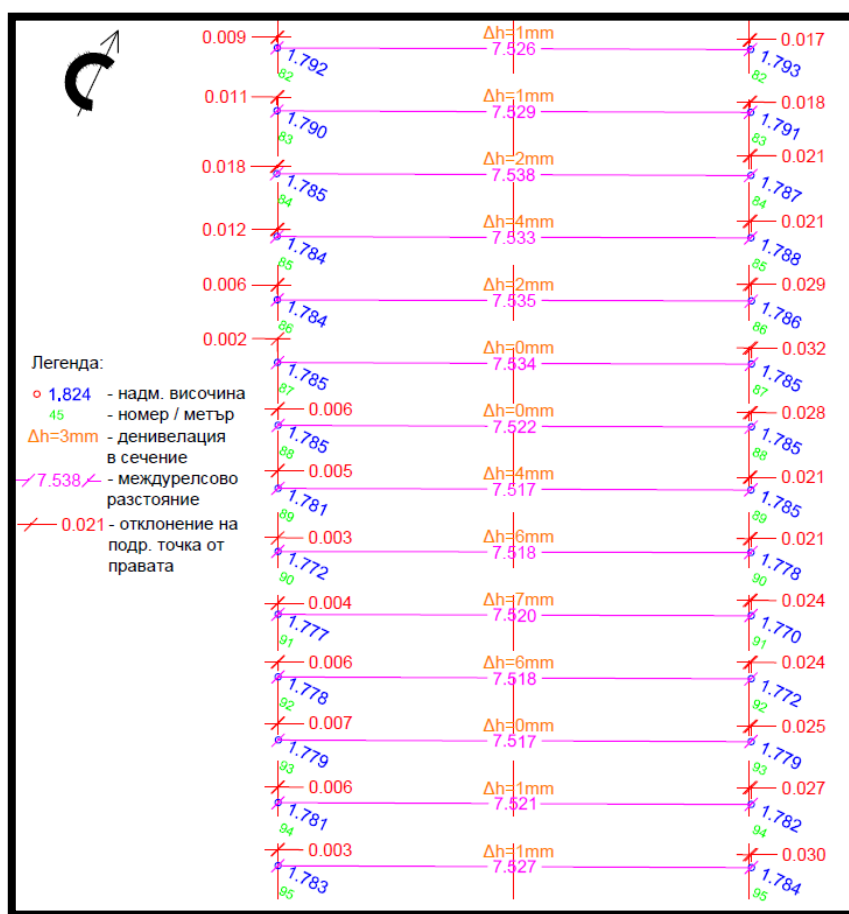
Работната геодезическа основа е измерена по гирусния метод от две работни точки и изравнена в локална координатна система посредством програмнен продукт "TPLAN". На фиг. 5 са представени схемата и резултатите от изравнението.



Фиг. 8. Схема на работната геодезическа основа и резултати от изравнението.

Геодезическото заснемане на подкрановия път е извършено от няколко свободно избрани станции. Местата на подробните точки бяха предварително маркирани като разстоянията на конкретните сечения на релсите, предмет на измерването, бяха отчетени посредством COGO функция на тоталната станция, а точките бяха сигнализирани чрез отражател тип „минипризма“ с височина на сигнала 0.1m, центриран и хоризонтиран чрез триножка. Изборът на местата на свободните станции е съобразен с конфигурацията на релсите с цел определени сечения, касаещи участъци до 30m, да бъдат заснемане и по двете релси от една станция. Така се минимизира грешката при анализа по т.3 от Приложение №2 на [6]. Резултатите са оформени схематично и таблично (фиг. 6 и фиг.7). Предвид точността на използвания инструмент е редно там, където колебанията са в рамките на $\pm 3\text{mm}$ да бъдат извършени чрез подходящ инструмент

преки измервания на дадените сечения. Това важи и при използване на по-прецизни инструменти като преценката за допуските е субективна предвид опита на екипа.



Фиг. 9. Частични резултати от проведено изследване на подкранов път. Отклонението на заснетите подробни точки от проектната ос („плаващите прави“) е означено чрез червените размери, а посоката – спрямо позицията на текста

№/m	Н - Ляво /m/	Н - Дясно /m/	S /m/	Δh т.1 /mm/	ΔS т.3 /mm/
81	1.797	1.795	7.524	2	24
82	1.792	1.793	7.526	0	26
83	1.791	1.791	7.529	0	29
84	1.785	1.787	7.538	-1	38
85	1.784	1.788	7.533	-4	33
86	1.784	1.786	7.535	-2	35
87	1.785	1.785	7.534	0	34
88	1.785	1.785	7.522	0	22
89	1.781	1.785	7.517	-4	17
90	1.772	1.778	7.518	-6	18
91	1.777	1.770	7.520	7	20
92	1.778	1.772	7.518	6	18
93	1.779	1.779	7.517	0	17
94	1.781	1.782	7.521	-1	21
95	1.783	1.784	7.527	0	27

Фиг. 10. Частични резултати от проведено изследване на подкранов път в табличен вид

В зависимост от анализа и специалистите, който ще използват данните от измерванията, резултатите могат да се оформят и по двата начина (фиг.6 и фиг.7). За анализ на отклоненията по т.1 и т.3 от Приложение №2 на [6] табличния вид изглежда по-прегледен, но за т.5 и т.7 цифровия вид във векторен формат дава по-добра представа за отклоненията по описаните норми.

Направен е експеримент за надеждността при използването на тригонометрична нивелация за определяне на надморските височини на подробните точки като резултатите са сравнени с проведена геометрична нивелация на същия участък. Разстоянията до съответните сечения са отчетени спрямо местоположението на разположената свободно избрана станция. Частични резултати са изложени във фиг.8.

№/m	S	Нивелир		Тотална станция		Разлика	
		Н - Ляво	Н - Дясно	Н - Ляво	Н - Дясно	Н - Ляво	Н - Дясно
	/m/	/m/	/m/	/m/	/m/	/mm/	/mm/
81	32.070	1.797	1.795	1.796	1.792	1	3
82	31.121	1.792	1.793	1.791	1.790	1	3
83	30.127	1.791	1.791	1.789	1.788	2	3
84	29.136	1.785	1.787	1.787	1.786	2	1
85	28.145	1.784	1.788	1.783	1.785	1	3
86	27.150	1.784	1.786	1.785	1.783	1	3
87	26.161	1.785	1.785	1.784	1.782	1	3
88	25.173	1.785	1.785	1.785	1.782	0	3
89	24.187	1.781	1.785	1.781	1.783	0	2
90	23.201	1.772	1.778	1.771	1.776	1	2
91	22.218	1.777	1.770	1.778	1.768	1	2
92	21.243	1.778	1.772	1.778	1.770	0	2
93	20.263	1.779	1.779	1.779	1.776	0	3
94	19.298	1.781	1.782	1.780	1.780	1	2
95	18.334	1.783	1.784	1.784	1.782	1	2
Средно:						1.5	/mm/

Фиг. 11. Частични резултати от сравнителен анализ между котите, определени посредством геометрична и тригонометрична нивелация

Вижда се, че дори при разстояния от около 30m, които са гранични при определяне на отклонението на релсите от правата линия, при използване на стандартна тотална станция с не толкова високоточни параметри, отклоненията не превишават стойности по-големи от 3mm. Резултатите дават достатъчно точна и ясна представа за геометричното състояние на подкрановия път като при съмнителни и гранични с максималните отклонения стойности, винаги могат да бъдат извършени контролни измервания посредством по-прецизен инструмент или чрез друга методика (като геометрична нивелация).

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящата статия разглежда най-основните геодезически методи при поддържане и контролиране на подкранови пътища като основно е наблегнато върху методиката на измерване при използване на традиционните методи. Детайлно е разгледана методиката при използване на класическите методи като основен акцент е поставен върху възможните източници на грешки.

Направеното изследване има за цел да потвърди възможността за получаване на надеждни резултати дори при използване на комерсиални технологии и инструменти, които са достъпни за широк кръг специалисти от геодезическата общност. Постигнатите резултати са с известна условност като съществено влияние указва професионалната подготовка, външните условия и фактори, както и субективния фактор. Всички тези условия и потенциални въздействия трябва да бъдат правилно анализирани и оценени при избора на геодезически метод за

изследване на подкранови пътища с цел постигане на необходимата точност и надеждност на крайните резултати.

5. ЛИТЕРАТУРА

1. Атанасов, М. Изследване влиянието на износването при контактното взаимодействие „колелорелса“. Списание „Механика транспорт комуникации“, 2017, том 15, бр.15, стр. 38-43. ISSN 2367-6620
2. Закон за геодезията и картографията (Обн. ДВ. бр.29 от 2006 г.)
3. Закон за техническите изисквания към продуктите (Обн. ДВ. бр.86 от 1999г.)
4. Иванов, И. Тригонометричната нивелация в проектирането и строителството на линейни обекти. MATTEX 2024: Сборник научни трудове. Том 2. Шумен: Университетско издателство „Епископ Константин Преславски“, ISSN 1314-3921. 2024г
5. Милев, Г., И. Милев. Приложна геодезия – Част 1. Инженерна геодезия: 5. Книга 3.3. Изграждане на линейни обекти, сгради, съоръжения и монтаж на технологично оборудване. Планове на изградените комплексни обекти. Съюз на геодезистите и земеустроителите в България, София 2022. ISBN 978-619-90732-7-8
6. Наредба за безопасната експлоатация и техническия надзор на повдигателни съоръжения (Обн. ДВ. бр.73 от 2010 г.)
7. Янчев, К., Кирилова, К. Наземно лазерно сканиране. MATTEX 2022: Сборник научни трудове. Том 2. Шумен: Университетско издателство „Епископ Константин Преславски“, стр. 226-230, ISSN 1314-3921. 2022 г.
8. Marjetič, A., Kregar, K., Ambrožič, T., Kogoj, D. An alternative approach to control measurements of crane rails. Sensors, 2012, vol. 12(5), p. 5906-5918, ISSN 1424-8220
9. Cmielewski, K., Gołuch, P., Kuchmister, J., Wilczynska, I., Cmielewski, B., Grzeja, O. Detection of crane track geometric parameters using UAS. Automation in Construction, 2021, vol. 128, ISSN: 1872-7891.

АДРЕС НА АВТОРА

1. Ас. д-р инж. Иван Иванов
Университет „Епископ Константин Преславски“
Ул. „Университетска“ 115, Шумен 9700, България
Тел. Тел. + 359 894 760 720
i.d.ivanov@shu.bg

XXXIV INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON
MODERN TECHNOLOGIES, EDUCATION AND PROFESSIONAL PRACTICE IN
GEODESY AND RELATED FIELDS
Sofia, 06 – 08 November 2024

**СЪЗДАВАНЕ НА ДИГИТАЛНИ ДВОЙНИЦИ НА ГРАДОВЕ,
БАЗИРАНИ НА СЪВРЕМЕНИ ИНОВАТИВНИ ГЕОПРОСТРАНСТВЕНИ
ТЕХНОЛОГИИ И КОНЦЕПЦИЯТА "УМЕН ГРАД"**

Инж. Александра Тодорова, МГУ

**CREATION OF DIGITAL CITY TWINS BASED ON MODERN INNOVATIVE GEOSPACE
TECHNOLOGIES AND THE "SMART CITY" CONCEPT**

Eng. Aleksandra Todorova

SUMMARY

The concept of a "smart city" combines various information and communication technologies (ICT), including cloud services, the Internet of Things (IoT), geospatial technologies, blockchain, and artificial intelligence, to effectively manage urban assets. Such assets may include schools and universities, municipal administrations, public transportation, hospitals, power plants, water and waste management systems, cadastre, and other public services. The primary goal of the "smart city" is to improve the quality of life through urban information technologies that optimize services and adequately respond to the needs of residents. Cities contain numerous data sources that are continuously updated and evolve in real time. Effective management of this data requires a Geographic Information System (GIS) that can collect and manage information from the entire urban environment and its objects in real time. Related to the concept of a "smart city," the technology of digital twins offers virtual representations of objects or systems that encompass their entire lifecycle and are updated with real-time data, using various types of simulations, machine learning and analytical methods to assist in decision-making. In the context of ICT, the potential of geospatial technologies for the development of smart cities is significant, especially with advancements in 3D modeling, LiDAR, mobile mapping, SLAM, GNSS, remote sensing, high-resolution satellite imagery, photogrammetry, and augmented and virtual reality. Combining these technologies allows for flexibility in creating a digital twin that supports the sustainable design of the "smart city".

Keywords: smart city, digital twin, ICT, GIS, GNSS, photogrammetry, LiDAR, mobile mapping, SLAM.

РЕЗЮМЕ

Концепцията за „умен град“ съчетава различни информационни и комуникационни технологии (ИКТ), включително облачни услуги, интернет на нещата (IoT), геопространствени технологии, блокчейн и изкуствен интелект, с цел ефективно управление на градските активи. Такива активи могат да бъдат училища и университети, общински администрации, градски транспорт, болници, електроцентрали, системи за управление на водата и отпадъците, кадастър и други обществени услуги. Основната цел на „умния град“ е да подобри качеството на живот чрез градски информационни технологии, които оптимизират услугите и адекватно отговарят на нуждите на жителите.

Градовете съдържат множество източници на данни, които се обновяват непрекъснато и се развиват в реално време. За ефективното управление на тези данни е необходима географска информационна система (ГИС), която може да събира и управлява информация от цялостната градска среда и нейните обекти в реално време. Свързана с концепцията за „умен град“,

технологията на цифровите близнаци предлага виртуални репрезентации на обекти или системи, които обхващат целия им жизнен цикъл и се обновяват с данни в реално време, използвайки различни видове симулации, машинно обучение и аналитични методи за подпомагане на вземането на решения. В контекста на ИКТ, потенциалът на геопространствените технологии за развитие на „умни градове“ е значителен, особено с напредъка в 3D моделирането, LiDAR, мобилното картографиране, SLAM, ГНСС, дистанционните наблюдения, сателитните изображения с висока разделителна способност, фотограметрията и добавената и виртуалната реалност. Съчетавайки тези технологии, може да се постигне гъвкавост в създаването на цифров близнак, който поддържа устойчивото проектиране на умния град.

Ключови думи: умен град, цифров близнак, ИКТ, ГИС, ГНСС, фотограметрия, LiDAR, мобилно картографиране, SLAM.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Идеята на настоящия доклад е да синтезира опита от реализирани цифрови градски близнаци чрез концепцията „умен град“ в световен мащаб и да послужи за изготвянето на бъдещи стратегии за развитие и приложението им в България.

„Интелигентността“ не означава само инсталиране на цифрови интерфейси в традиционна инфраструктура или рационализиране на градските операции. Става въпрос и за целенасочено използване на технологии и данни за вземането на по-добри решения и осигуряването на по-добро качество на живот. Качеството на живот има много измерения – от въздуха, който жителите дишат, до това колко безопасно се чувстват, докато се разхождат по улиците [1].

Основната цел на „интелигентния град“ е да оптимизира градските функции и да насърчава икономическия растеж, като същевременно подобрява качеството на живот на гражданите чрез използване на интелигентни технологии и анализ на данни. Стойността се крие в това как се използва тази технология, а не просто колко технология е налична [3].

Концепцията за „умен град“ изцяло разчита на постоянен поток от огромни количества данни, получени от голямо разнообразие от сензори, разпределени в целия град. Интелигентното използване на всички тези данни изисква интеграция с 3D градски карти, за които облаците от точки, получени чрез лазерно сканиране или фотограметрия, са основните източници [2].

Процесът на глобална урбанизация предизвиква значителен ръст на населението в градовете, което от своя страна поставя нови изисквания към управлението на градската среда, включително към разнообразието от геопространствени данни и услуги, предоставяни от публичните органи. За адекватно картографиране, моделиране, кадастрално регистриране и визуализиране на сложни инфраструктури и застроени площи данните трябва да обхващат и третото пространствено измерение. Въпреки че геопространствените технологии предлагат много възможности за интеграция на 3D данни, в България все още има ограничени опити за приложение в градската среда. Много от предоставяните данни и услуги остават двуизмерни, а в редица случаи (например за кадастрални и регулационни планове, подземни проводни и съоръжения) данните не са налични в цифров формат. Традиционните кадастрални услуги, основаващи се на 2D парцелите, могат да бъдат инструмент при създаването на цифрови близнаци и да спомогнат за адекватното отразяване на реалността в урбанизираните територии.

2. СТАНДАРТИ

В процеса на реализиране на концепцията за „умен град“ са разработени различни съвременни стандарти, сред които е и CityGML. Този стандарт задава концептуален модел и формат за обмен, който улеснява представянето, съхранението и обмена на виртуални 3D модели на градове. CityGML подпомага интеграцията на геопространствени данни за различни приложения, свързани с умни градове и цифрови близнаци, като градско и ландшафтно планиране, строително-информационно моделиране (BIM), мобилни комуникации и управление на бедствия.

ГИС услугите предлагат геопространствени данни и функции за пространствен анализ, които са от ключово значение за градския дизайн. BIM обхваща 3D моделиране, визуализация на информация и активно използване на модели в целия жизнен цикъл на архитектурната,

инженерната и строителната фаза. BIM предлага много повече от стандартните 2D или 3D компютърно проектирани (CAD) чертежи за управление на сградите. Информацията за съоръжението и свързаната с него база данни трябва да бъдат интегрирани с територията, която заемат, за да служат като полезен инструмент за собствениците и операторите. BIM използва геопространствени данни, включително имотни граници, геоложки данни и съдържа информация, важна за купувачи, собственици и други участници.

3. ЗНАЧЕНИЕ НА СЪВРЕМЕННИТЕ ГЕОПРОСТРАНСТВЕНИ ТЕХНОЛОГИИ ЗА РАЗВИТИЕТО НА „УМНИ ГРАДОВЕ“

Човекът в съвременното информационно общество бързо взаимодейства с информацията, която също бързо се появява, постоянно се актуализира и приема нови форми. Така става необходимо да се събира, съхранява, разпространява и използва огромно количество информация за пространството и явленията около нас. Освен това тази информация може да бъде с различно качество. Ето защо възниква въпросът за нейния анализ и оценка. Съвременната геодезия вече използва и продължава да развива най-новите методи и технологии за получаване и използване на пространствени данни. Координираното осигуряване на ефективно взаимодействие между националната икономика и обществото (включително социалната сфера и териториалното управление) е важен фактор за развитието на страната — всяка териториална единица поотделно. Днес обществото изисква повишаване на нивото на комфорт в градска среда. За висококачествено и удобно ниво на развитие на териториите са необходими надеждни и точни геодезически данни. За да се използва територията по предназначение, с полза и удобство, е необходимо да се вземат предвид особеностите на пространственото разположение на теренните обекти и тяхната пространствена организация. В допълнение към това е важна информацията за степента на развитие, естеството на територията, както и за климатичните, екологичните, геоложките, хидроложките и други условия. Такава информация ще получим в резултат на инженерно-геодезически проучвания, а ако използваме дистанционно наблюдение, вкл. автоматизирани методи, тогава актуализирането на данните за територията — тяхната актуалност за даден период от време, престава да бъде проблем. Идеята е да се създаде единна геоинформационна система, която да комбинира геодезическа и тематична информация [4].

4. РОЛЯТА НА ГЕОДЕЗИЯТА В КОНЦЕПЦИЯТА "УМЕН ГРАД"

Геодезията играе ключова роля в концепцията за "умен град", като предоставя основата за интелигентно управление на градските ресурси и инфраструктура. Ето какви са основните аспекти:

4.1. Прецизно позициониране и картографиране

- Геодезически мрежи — Точността на геодезическите мрежи позволява точно картографиране на градската инфраструктура, което е основа за всяко интелигентно управление;
- Технологии за картографиране — LiDAR, GNSS, SLAM, фотограмметрия, спътникови изображения, помагат за създаване на детайлни карти, необходими за анализи и планиране.

4.2. Управление на данни

- Географски информационни системи (ГИС):

ГИС обединяват и анализират геопространствени данни, което позволява на градските управители да вземат информирани решения за развитие, транспорт и услуги.

- Интеграция на данни:

Събиране и анализ на данни от различни източници (като сензори и IoT устройства) за оптимизация на ресурсите.

Разработването на цифрови бази данни, свързани със земята, включва не само цялостно събиране на подходящи данни, но и тяхното интегриране в обща координатна система. След това тази интеграция трябва да се разшири до интегрирането на социални, икономически, екологични и географски фактори, така че да позволи извличане на данни, интерпретация и визуализация на различни стратегии за смекчаване на изменението на климата и адаптиране [5].

4.3. Мониторинг и управление

- Управление на транспорта:

Геодезията позволява оптимизация на транспортните мрежи чрез анализ на трафика и пътните условия. Пример за това е цифровият близък за пристанището на Хамбург - фокусиран върху изобразяване на физическите свойства на контейнерен терминал и всички негови операции в цифровия свят. Информацията трябва да тече добре и в двете посоки — цифровият близък трябва да интерпретира получените данни и да ги използва за вземане на решения. Те от своя страна влияят върху реални обекти и процеси. За да работи това, се използват различни технологии и методи като сензори и изкуствен интелект (AI) [5].

- Инфраструктурен мониторинг:

Чрез постоянен мониторинг на инфраструктурата (мостове, сгради) се осигурява безопасността и предотвратяването на аварии.

Прецизното пространствено измерване, което е най-традиционното и най-известно умение на геодезиста, помага не само при наблюдението на въздействието на изменението на климата, но също така е съществен елемент в стратегиите за адаптация. Например, анализите на промяната на морското ниво изискват прецизно пространствено наблюдение на мареографите, като се използват както конвенционални техники за нивелиране, така и GNNS позициониране. Решенията за използване на земята и контролът на ерозията обикновено се основават на детайлно топографско картографиране, което може да дойде от конвенционални техники за геодезическо заснемане на местността или от лазерно сканиране, или от анализ на цифрово изображение. Прецизното земеделие (важна техника за увеличаване на добивите) разчита на технологията за GNNS измерване. Изграждането на новата инженерна инфраструктура, необходима за подпомагане на адаптирането към изменението на климата, изисква използването на комбинирани иновативни технологии за картографиране [6].

4.4. Планиране и устойчиво развитие

- Анализ на пространствени данни — Геодезическите данни помагат за оценка на терени и планиране на нови зони за строителство, което е важно за устойчивото развитие.
- Управление на природни ресурси — Чрез геодезични методи се осигурява ефективно управление на водни ресурси, зелени площи и други важни ресурси.

Дългосрочното пространствено планиране е съществена част от намаляването на емисиите на парникови газове. В райони с високи нива на капацитет за поземлена администрация (обикновено развитите страни) спестяването на енергия се постига чрез подобрени процеси на проектиране. В райони с ниски нива на капацитет за администриране на земята, ограничено прилагане на политиките за използване на земята и лошо регулирани пазари на земя предизвикателството е да се намерят новаторски начини за предприемане на необходимото планиране на използването на земята. Ясно е, че в много отношения геодезистите са пазители на позволяващи технологии и системи, които са критично важни за бъдещето на човешката раса. Геодезистите предоставят подходяща географска информация за ранно предупреждение и свързано с климата картографиране, сигурни системи за владение на земя и природни ресурси за намаляване на уязвимостта към бедствия и системи за управление на градския растеж и използването на земята. По този начин работата на геодезиста подкрепя адаптирането към изменението на климата и смекчаването му, както и социалната справедливост, икономическия растеж и устойчивостта на околната среда. Въпреки това геодезистите признават, че дълбочината и обхватът на въпросите, включени в изследванията на изменението на климата (било то научни, социални, политически или екологични), са достатъчно сложни, така че интердисциплинарното сътрудничество е съществена предпоставка

за намиране на стабилни решения. Освен това партньорствата на местно, регионално, национално и международно ниво са от съществено значение, ако трябва да се намерят интегрирани цялостни общностни решения. Геодезистите се ангажират да си партнират с общности, професионални групи, правителствени агенции и глобални агенции, за да предоставят тези решения [6].

4.5. Предвиждане на рискове

- Природни бедствия — Геодезията помага за оценка на рисковете от наводнения, земетресения и други природни бедствия, позволявайки на градовете да планират предотвратителни мерки.
- Климатични промени — Мониторинг на промените в околната среда и оценка на техните въздействия върху градската среда.

Като дом на най-голямата част от световното население, влиянието на изменението на климата вероятно ще бъде най-силно в градската среда. Геодезистът е едновременно пазител и потребител на цифровите инструменти и цифровите бази данни, използвани в градското планиране. Те позволяват на геодезиста да анализира опциите за планиране и да взема политически решения. Никъде това не е по-очевидно, отколкото в развиващите се страни, където сигурността на владението на земята може да е слаба и където бързата урбанизация в застрашени от бедствия райони излага хората на риск от бедствия с последваща загуба на препитание. Много градски обитатели живеят в домове с лошо качество на неофициално заети или подразделени земи с малка или никаква защита срещу бедствия, свързани с климата. Геодезистът, който е опитен в дефинирането на земните граници и има познания за свързаните права на владение (независимо дали формални или неформални), може да интегрира информация с устойчивите на климата процеси на градско проектиране, като по този начин значително подобрява резултатите за много от хората в неравностойно положение по света [6].

4.6. Интерактивни приложения

- Интерактивни карти и платформи — Геодезичните данни могат да се интегрират в приложения за гражданите, които предлагат информация за транспорт, услуги и събития в реално време.
- Услуги на базата на местоположение — Системи, които предлагат персонализирани услуги в зависимост от местоположението на потребителя.

В концепцията за „умен град“ геодезията е основен елемент, който свързва технологии, данни и управление, осигурявайки основата за устойчиво и интелигентно градско развитие. Тя помага за оптимизация на ресурсите и подобряване на качеството на живот на гражданите.

5. ПОСТИЖЕНИЯ НА УМНИТЕ ГРАДОВЕ В СВЕТОВЕН МАЩАБ

Интернет платформата "Smart Cities World" помага на общността на интелигентните градове по целия свят да се свързват, споделят и учат един от друг. Предоставя новини, характеристики, интервюта, профили, подкасти, уебинари и други, обхващащи най-новите данни, свързаност, транспорт, енергия, управление, сгради и хора.

"SmartCitiesWorld City Profiles" изследват водещите градове в света, които използват технологии и по-интелигентни подходи за предоставяне на по-добри услуги и подобряване на качеството на живот на гражданите.

ООН прогнозира, че до 2050 г. 70 процента от населението на света ще живее в градски райони. Всяка седмица още 1,5 милиона души по света се преместват в даден град. За градските администратори този растеж, насърчаван и придружен от безпрецедентна технологична промяна, представя безброй предизвикателства и възможности, големи и малки, социални и икономически, човешки и технически, логистични и екологични [7].

5.1. Барселона, Испания



Фиг. 1. Град Барселона, Испания [12]

От появата на концепцията за интелигентен град, Барселона (фиг. 1) се позиционира като модел на интелигентно градско планиране, развитие на екосистемите и градски подобрения в полза на разнообразното си население. В началото на 21 век местното правителство на Барселона одобрява проект „22@ Иновативен район“, който се фокусира върху трансформацията на градска зона, пълна с изоставени фабрики и складове и икономически дейности с ниска добавена стойност. Целта на града „22@“ е да обнови Поблену, бивш индустриален квартал в квартал Сант Марти (известен някога като „Каталонския Манчестър“). Все още

продължаващ проект „22@ Иновативен район“ в крайна сметка трябва да създаде около четири милиона квадратни метра нова площ, 3,2 милиона от които ще бъдат използвани за „производствени дейности“ и 800 000 за жилища и услуги. Когато идеята за „интелигентен град“ е още в зародиш, Барселона се заема с внедряването на бързи технологии в градските системи като обществен транспорт, паркиране, улично осветление и управление на отпадъците. Чрез прилагането на тази визия в широк мащаб, градът възнамерява да даде повече власт на гражданите, като същевременно защитава техните цифрови права и прилага цифровите силни страни за решаване на градски проблеми. Тази стратегия, оглавявана от Франческа Бриа, бивш комисар на града за цифровите технологии и иновациите, поставя Барселона по пътя към дигиталната демокрация и демократичните иновации. Според Бриа: „Цифровата революция трябва да служи на мнозина, а не само на малцина.“ Придвижвайки се към новата визия, Барселона поема ангажимент да постави нуждите на гражданите „в центъра на цифровия дневен ред“. В първите години на движението за „интелигентен град“ Барселона е лидер във внедряването на сензорни мрежи и други градски технологии. След това идва период на визионерско мислене и създаване на политики относно цифровите права, суверенитета на данните, социалното включване, гражданското участие и демократичните иновации. Кметът на Барселона – Колау вярва, че 21-ви век трябва да бъде векът, „в който градовете играят главна роля и се справят с глобалните предизвикателства. Те обаче не трябва да правят това в конкуренция помежду си, а по-скоро в сътрудничество. Сътрудничеството е от съществено значение, ако искаме да разрешим големи глобални проблеми [8].“

5.2. Шенжен, Китай

оред правителството на Шенжен (фиг. 2) „градът възнамерява да се превърне в еталон за дигитален град от 2025 г.“ Архитектурата „Intelligent Twin“ на Huawei предлага предимството на отворена екосистема, която не включва преоткриване на съществуващите възможности за „интелигентен град“ на Шенжен [9]. Архитектурата използва силните страни на Huawei в 5G, изкуствения интелект и облачните изчисления. „Shenzhen Smart Cities Technology Development Group(SSC)“ и „AsiaInfo“, водещ доставчик на телекомуникационен софтуер в Китай, подписват стратегическо споразумение за сътрудничество и съвместно насърчаване на развитието на „Smart Shenzhen“. Шенжен става първият китайски град, който обявява планове за гигабитова мрежа от следващо поколение в сътрудничество с Huawei и China Telecom – с цел предоставяне на 100 процента гигабитово покритие на услугата, задоволяване на потребителското търсене за развиващи се интернет услуги и интелигентни домове и подкрепа на прехода на града към цифрова икономика.

За да потвърди ролята си на един от водещите китайските интелигентни градове, Шенжен предприема смели стъпки в разгръщането на инфраструктура за свързаност. Градът инсталира повече от 50 000 5G базови станции и 15 000 многофункционални интелигентни стълба, за да формира платформа за споделяне на данни за умни градски приложения. 5G покритието и гигабитовите оптични интернет услуги достигат до повече от 90 процента от домашните клиенти [9].



Фиг. 2. Шенжен, Китай [13]



Фиг. 3. Градът – държава Сингапур [14]

5.3. Сингапур

Singapore Land Authority (SLA), националната картографска агенция на Сингапур (Фиг. 3), започва проект за 3D национално картографиране през 2014 г., за да разработи усъвършенствана карта на Сингапур, която да представя сложната градска среда с високи детайли и да помогне за създаването на неограничено пространство от ограничена земя. Надеждните картографски данни с висока разделителна способност с отворен код, събрани като част от проекта, ще осигурят цифрова рамка за „умната нация“. Това също би помогнало при прехода към 3D-упълномощена „умна нация“, където данните се използват в приложения, свързани с националната сигурност, градското развитие, адаптирането към изменението на климата и т.н. Инициативата на стойност 8 милиона сингапурски долара за създаване и поддържане на 3D карта с висока разделителна способност на страната е водена от националната картографска агенция на Сингапур. Проектът е финансиран 50 процента от правителството на Сингапур и 50 процента от агенции, предимно Службата за гражданска авиация на Сингапур (CAAS) и Съвета за обществени услуги. Инициативата включва събиране на голямо количество данни в различни формати, възлизащи на повече от 50 терабайта. Проектът е разделен на две фази. В първата фаза е използвана въздушна фотограметрия и въздушен LiDAR за улавяне на терена и повърхностните данни на страната и изграждане на цифрови модели, които формират цялостната рамка на разширената карта на Сингапур. Като част от втората фаза на проекта, монтираните на превозни средства лазерни сканирания допълват въздушните изображения с данни на нивото на улицата, за да подобрят значително детайлите на картата. Проучване за мобилно картографиране, базирано на превозни средства, е проведено за 5500-километровата пътна мрежа на страната, за да заснеме повече от три милиона изображения и над 600 милиона LiDAR точки и да създаде много подробни 3D модели на гъстата градска пътна система. Най-бързите възможни техники за улавяне и манипулиране на данни на MicroStation на Bentley са използвани за постигане на точност на моделиране от 0,3 m и спестяване на над 3000 ресурсни дни и свързаните с това разходи. Целта на проекта за усъвършенствана карта на Сингапур е да отговори на изискванията на възможно най-много агенции с данни за 3D картографиране, да подпомогне ежедневните операции, планиране и управление на риска и е успешен в задоволяването на изискванията на партньорски агенции, като Съвета за обществени услуги (PUB) и Службата за гражданска авиация на Сингапур (CAAS), съответно за приложения като управление на наводнения и безопасност на полетите. 3D топографските данни на разширената карта на Сингапур формират рамката за разработването на платформата Virtual Singapore, която прави 3D картата на Сингапур достъпна за по-широк кръг от заинтересовани страни [10].

Визията на Сингапур за интелигентна нация е изградена върху сензорни мрежи от следващо поколение и усъвършенствани анализи на данни. Сензорите и камерите, разпръснати из Сингапур, означават, че данните се събират в мащаб, който кара критиците да го описват като държава за наблюдение. Градът работи с повече от 1000 сензора, свързани с кутии за събиране. Тук тези сензорни мрежи събират данни от целия град и ги предават обратно на съответните агенции за анализ и приложение в реалния свят за предоставяне на подобрени обществени услуги. Фокусът на това събиране на данни е изцяло върху това как да се подобрят обществените услуги и градът работи за това да направи събирането на тези данни възможно най-отворено и осъществимо. В момента Сингапур изгражда своята платформа Virtual Singapore, 3D модел на града и платформа за съвместни данни, която включва 3D карти на Сингапур. Когато бъде завършен, Виртуалният Сингапур ще бъде авторитетна 3D цифрова платформа, която ще се използва от публични, частни, граждани и изследователски организации. Това ще позволи на потребителите от различни сектори за разработване на усъвършенствани инструменти и приложения за тестови концепции и услуги, планиране и вземане на решения, плюс изследвания на технологии за решаване на възникващи и сложни предизвикателства пред страната. Внедряван на етапи от 2018 г., този инструмент за виртуализация интегрира различни източници на данни, включително тези от правителствени агенции, 3D модели, информация от интернет и динамични данни в реално време от IoT устройства. Различни агенции вече могат да споделят и преглеждат планове и дизайни на различните проекти в една и съща близост. Например, Виртуалният Сингапур дава възможност да се визуализира съществуващ пейзаж срещу текущи/бъдещи проекти за надграждане или обновяване, което ще позволи на агенциите да си сътрудничат по съответните им проекти и да оптимизират цялостния дизайн и изпълнение, което води до по-голяма ефективност. Отвореното споделяне на данни е една от приоритетните области за визията на Сингапур за интелигентна нация. Чрез оповестяването на данни правителството има за цел да отключи икономическа стойност, да даде възможност за качествени изследвания и да задълбочи общественото участие и ангажираност. Инициативата "Data.gov.sg" датира от 2011 г. като безплатен и отворен портал за данни, където всеки има достъп до масиви от данни в Сингапур, вариращи от образование, околна среда и здраве до транспорт [11].

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Статията разглежда опита на цифровите градски двойници в контекста на концепцията за „умни градове“ и предлага стратегии за тяхното приложение в България. Основната цел е оптимизация на градските функции и подобряване на качеството на живот чрез интелигентно използване на технологии и данни. Важно е да се осигурят данни в 3D формат за адекватно картографиране и моделиране на инфраструктурите, тъй като много от наличните услуги в България все още са ограничени до 2D. Стандартът "CityGML" е идентифициран като ключов инструмент за интеграция на геопространствени данни, подпомагащ градското планиране и управление. Съвременните геопространствени технологии и геодезията играят важна роля в развитието на умни градове, осигурявайки необходимите данни за ефективно управление на ресурсите и инфраструктурата. Подчертава се необходимостта от подобряване на данните и услугите от публичните органи за постигане на устойчиво и удобно градско развитие чрез интеграция на геопространствени данни и технологии.

7. ЛИТЕРАТУРА

1. <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/smart-cities-digital-solutions-for-a-more-livable-future#part1>
2. <https://www.gim-international.com/content/article/point-clouds-and-smart-cities-2>
3. <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-is-a-smart-city>
4. V Bobkina et al 2021 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 937 042068. Geodetic support of formation and development of modern urban environment
5. <https://www.uni-hamburg.de/en/newsroom/forschung/2022/0825-fv-11-projekt-hafenzwilling.html>
6. <https://www.fig.net/resources/publications/figpub/pub65/figpub65.asp>
7. <https://www.smartcitiesworld.net/city-profile>

8. <https://www.smartcitiesworld.net/city-profile/smart-cities-reports/smartcitiesworld-city-profile--barcelona-4800>
9. <https://www.smartcitiesworld.net/city-profile/smart-cities-reports/smartcitiesworld-city-profile-shenzhen-8187>
10. <https://www.geospatialworld.net/prime/case-study/national-mapping/virtual-singapore-building-a-3d-empowered-smart-nation/>
11. <https://www.smartcitiesworld.net/city-profile/smart-cities-reports/smartcitiesworld-profile--singapore-full-report-1767>
12. <https://www.posters.bg/park-guell-in-barcelona-spain-f39353446>
13. <https://leed.usgbc.org/node/106>
14. <https://www.noy.travel/images/azia/c-fakepath-singapore-1.jpg>

АДРЕС НА АВТОРА

Инж. Александра Тодорова

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“

Младост 1, бул. „Андрей Ляпчев“, 1784 София,

Телефон: +359897943537

E-mail: aleksis.ivanova98@gmail.com

СПОСОБИ ЗА УСТРОЙСТВЕНО ПЛАНИРАНЕ В КРАЙГРАДСКИТЕ ТЕРИТОРИИ

Д-р инж. Надежда Ярловска, УАСГ

METHODS OF SPATIAL PLANNING IN SUBURBAN TERRITORIES

PhD Mag. Eng. Nadezhda Yarlovska, UACG

SUMMARY

The article explores the features of suburban territories and the possibilities for their spatial planning. In the focus of the study are the characteristics of the suburban territories - scope, content, functions, as well as the appropriate methods for their regulation. The role of general development plans in choosing a method for regulating the suburban territories has also been studied. A specific research object has been selected to which spatial scenarios and solutions will be applied. The goal is to illustrate the possibilities of the Spatial Development Plans when choosing a method for Detailed Development Plans for suburban areas. Conclusions and recommendations for changes in the regulatory framework and organizational practice have been formulated.

Key words: suburban territories, spatial development plan, detailed development plan, unregulated land properties, legislation

РЕЗЮМЕ

В статията се разглеждат особеностите на крайградските територии и възможностите за тяхното устройствено планиране. Във фокуса на изследването са основните им характеристики- обхват, съдържание, функции, както и подходящите способности за тяхното урегулиране. Проучена е ролята на общите устройствени планове (ОУП) при избор на способ за урегулиране на крайградските територии. Избран е конкретен обект на изследване, към който да бъдат приложени устройствени изследвания и решения. Целта е да се илюстрират възможностите на ОУП при избор на способ за устройствено планиране, който следва задължително да се прилага при разработване на Подробни устройствени планове (ПУП) на крайградски територии. Формулирани са изводи и препоръки за промени в нормативната уредба и устройствената практика.

Ключови думи: крайградски територии, Общ устройствен план, Подробен устройствен план, неурегулирани поземлени имоти, нормативна уредба.

1. УВОД. ОБЩИ ПОСТАНОВКИ

Крайградските територии на населените места са зоните, в които обикновено се преплитат много функции, голяма част от които не са намерили място и решение в самата градска територия. От друга страна, това е една особена територия - „арена”, в която природната среда (или природно-антропогенната) се среща с антропогенната (населеното място). Може да се твърди, че тази територия носи особено предизвикателство за изследване, а след това и за

планиране, тъй като тя често възпроизвежда нерешените проблеми на града, които неизбежно са в конфликт с околната природа. Темата за нейното планиране, при което оптимално да се съчетават градските и природните елементи, в т.ч. да бъдат балансирани публичните и частните интереси е особено актуална днес. Често за тези територии липсват устройствени планове, или ако са налични, в тях липсва единно устройствено решение за града и неговия „двор“, а те функционират в единство. В подобни случаи, чрез решения „на парче“ или чрез неподходящи устройствени способи временно се разрешават техните нужди, но при всички липсва цялостно планиране на необходимите обекти на техническата, социалната инфраструктура, зелената система и т.н. В този контекст, възниква методическият въпрос: какви са необходимите устройствени мерки, които трябва да се предприемат на двете нива планиране – Общи и подробни устройствени планове, за да се разрешават тези ситуации. И по-конкретно: възможно ли е, и какви по-детайлни насоки за устройство на поземлените имоти за по-ниското ниво на планиране (ПУП), може да задава ОУП при планиране на крайградските територии.

2. ОСОБЕНОСТИ НА КРАЙГРАДСКИТЕ (СУБУРБАНИЗИРАНИ) ТЕРИТОРИИ – ДЕФИНИЦИЯ, ОБХВАТ, СЪДЪРЖАНИЕ, ФУНКЦИИ

Преходът на града към природата формира територия, без която градът не би могъл да функционира. Тя има своите особености, които следва да бъдат разграничени и изследвани. В процеса на разрастване на населеното място, могат да се определят две зони на влияние. Едната е зона на функционално влияние, която според големината и значението на града се простира в границата на общината или група общини. Другата е зоната на физическо влияние, която се намира непосредствено до града и също зависи от големината и развитието му. Тя е наричана крайселищна територия, или контактна зона, зона на преход, „двор на града“.[1] Определя се и като преходна зона, или гранична територия между града и селото, която се характеризира със специфични форми на земеползване.[9] Тази зона край града, в съвременната научна литература се определя с понятието крайградска (среща се и като полуградска) територия (Peri-urban area). Речникът на СЕМАТ⁶ прави опит да обхване и прецизира понятието, като ги определя като територии в преход от чисто селски към градски тип. Тези територии формират едновременно градско-селски характер и могат да се превърнат в такива с напълно градски характер. Крайградските територии са най-често резултат от процеса на субурбанизация⁷. В някои научни източници за вид крайградски територии се среща и термина *suburbs*, това също са територии, които са се формирали в резултат на субурбанизация – и са свързани с развитие и разрастване на големите градове.

Обхватът на крайградската среда се определя от съвкупност от фактори, характерни за тази зона, макар и нееднакви навсякъде. И вътрешната (външна за града) и външната граница на крайградската територия не са постоянни във времето и подлежат на непрекъсната еволюция. Често пъти физическият обхват на крайградската територия е много ясно ограничен от природните и теренните условия. Например при наличието на бряг (на море, езеро, река), стръмен хълм, границата на крайградската зона може да бъде много категорична. При равнинни условия, градският „двор“ е по-трудно четлив. [1] Именно в равнинните терени край градовете, които заради подходящите теренни условия се използват за земеделие, се наблюдава явлението *urban sprawl*. Явлението е особена форма на субурбанизация, при която дисперсно нараства градът, произволно и непланирано при което градските райони се увеличават по-бързо, от колкото градското население. Често се „прескачат“ фази в развитието на територията, например изграждане на даден обект, преди реализиране на довеждащата техническа инфраструктура. Резултатът е експанзия на града, предимно върху земеделска територия, изразяваща се в силно фрагментирана собственост върху земята, с различни видове земеползване, пространствено разделени или функционално зонирани в различни области. Това явление е световна тенденция, но процесите свързани с него са валидни и за българските градове.

⁶ Европейска конференция на министрите, отговарящи за териториалното устройство.

⁷ Процес на формиране и развитие на приградската зона около големите градове. Той улеснява съчетаването на по-големите възможности за избор на труд в големия град с живота в по-благоприятна природна среда. Характеризира се с по-високи темпове на нарастване на населението в предградията и прилежащите градове, отколкото самото ядро, около което са създадени. [8]

Основните причини за разрастването на градовете в глобален аспект са свързани с икономическият растеж, глобализацията, промените на индустриалните структури и др. Съществени са и демографските причини - ръст на населението, миграцията, увеличение на броя на домакинствата. Влияят и вътрешните проблеми на града, поради което хората търсят по-добри условия в крайградските територии. Съществен фактор е транспортът и възможностите за мобилност и достъпност, които осигурява.[13] Но освен споменатите, влияят и други специфични фактори. Разрастването на българския град най-често е в резултат от приложение на устройствени решения, взети „на парче“ от индивидуални, повечето пъти частни инвеститорски инициативи, след провеждане на процедура на промяна на трайно предназначение на земеделската земя⁸, и без съобразяване с решенията на ОУП (поради липса на такъв, или поради нормативна възможност той да бъде изменен отново „на парче“). Твърде рядко е в резултат на взети устройствени решения – прилагане на Общ или Подобен устройствен план в по-голям обхват, при което градът се разширява предимно компактно и процесът е регулиран.

Елементите, които присъстват в повечето крайградски територии са: залесени територии, терени за рекреация, производствени терени, терени за обществено обслужване, терени за техническа инфраструктура и селскостопански терени. По-рядко, но не са изключени: терени за обитаване, за защитени обекти, водни площи, специални терени, и други. С повишаване на функционалния тип на населеното място, спектърът от елементи на крайградската територия се увеличава, но при всички крайградски територии, най-голям дял заемат обработваемите земи. [1] По-актуалния анализ на процесите в крайградската територия също доказва, че в България този процес на субурбанизация е налице, предимно при градовете, в които се наблюдава по-значима социално-икономическа активност, тъй като при тях има по-отчетлива необходимост от нарастване на града и нужда да се планират мероприятия в крайградската територия. Тоест, може да се обобщи, че големината на крайградската територия е функция на големината на града.

В обобщение могат да се приемат следните тези, валидни за крайградска територия, които общо могат да бъдат считани за дефиниция: Крайградската територия е зона с по-ниска плътност и интензивност на застрояване, и с по-ниска гъстота на населението спрямо градската зона на големите и средни градове в България. Тя попада в зоната на физическо влияние на града, и тя може да бъде: в/или извън рамките на строителната им граница определена с Общ или Подобен устройствен план. Границата ѝ рядко съвпада със землищната граница на населеното място. Обвързана е с интензивни функционални връзки с града и често е приобщена в обща непрекъсната пространствена система. Характеризира се с разнообразни (жилищни, производствени, обществено обслужващи, земеделски, горски, рекреационни и др.) и изменящи се във времето форми на земеползване, които могат да са пространствено разделени или функционално зонирани в различни области. В крайградската територия на големите и средни градове в България може да се наблюдава особена форма на субурбанизация - явлението *urban sprawl*.

3. ПОДХОДЯЩИ СПОСОБИ ЗА УРЕГУЛИРАНЕ НА КРАЙГРАДСКИТЕ ТЕРИТОРИИ

Законът за устройство на територията определя способите на планиране, в т.ч. и за неурегулирани крайградски територии, като разграничава обстоятелствата, при които те са приложими. Поставя изискването, че урегулираните веднъж поземлени имоти не подлежат на последващо урегулиране⁹, освен ако не настъпят някои предвидени в закона случаи¹⁰.

3.1. Способът по чл. 16 от ЗУТ

Законовият регламент за способа по чл. 16 от ЗУТ е особено приложим за крайградските територии, тъй като изисква задължително наличие на територии с неурегулирани поземлени имоти, или територии с неприложена първа регулация по предходен устройствен план. При него се определят необходимите площи за изграждане на обектите на зелената система, на социалната и на техническата инфраструктура - публична собственост, каквито обикновено липсват в новоразвиващите се крайградски зони. За осъществяване на тези предвиждания с

⁸ по реда на Закона за опазване на земеделските земи (ЗОЗЗ)

⁹ Чл. 15, ал. 1 от ЗУТ

¹⁰ описани в чл. 134 от ЗУТ

влизането в сила на плана собствениците на недвижими имоти прехвърлят в полза на общината процентна част от площта на имотите си, определена с плана, но не повече от 25 на сто. На всеки собственик на недвижим имот общината определя равностоен урегулиран имот (имоти), като се съобразява с местоположението на имотите в местността, но не и с точните им кадастрални граници. И това е справедливо, тъй като урегулираните имоти са с пазарна стойност не по-малка от пазарната стойност на имотите преди урегулирането им, което се доказва с решение на комисията по чл. 210 от ЗУТ. Способът позволява и оптимално преструктуриране на планираните територии чрез укрощаване (комасиране) на имотите на един собственик на едно място, в т.ч. и делба. Може да се образува и съсобствен УПИ на различни лица, въз основа на общо заявление на собствениците с нотариално заверени подписи, с което се определят техните идеалните части.

Несъмнено „крачка назад“ е последващото законово изменение¹¹, с което законодателят даде устройствена „алтернатива“ за такива неурегулирани територии, като предвиди възможността вместо планът по чл. 16 да бъде създаден само план за улична регулация и имоти за обекти на публичната собственост¹². Това решение от една страна обезмисля цялостната концепция за споделена тежест, тъй като не са налице споменатите предимства на условията на чл. 16, а от друга не решава в пълна степен проблемите в крайградската територия (фрагментирана собственост, имоти с различно функционално предназначение, планирани „на парче“ и др.) Тук той не е разгледан като отделен способ, тъй като не осигурява цялостно устройствено решение за територията – липсва дворищната регулация.

3.2. Способът по чл. 17 от ЗУТ

За устройствени решения в крайградските територии е приложим и способът по чл. 17 от ЗУТ – урегулиране „по имотни граници“. С него също се уреждат неурегулирани дотогава поземлени имоти, но тук задължително условие е вътрешните им регулационни линии да съвпадат с имотните граници. ЗУТ определя и някои изключения от това правило за следване на точните имотни граници, като осигурява възможен изход от тези често регулационно трудно решими ситуации в следните случаи: при интерес за образуване на повече на брой самостоятелни урегулирани поземлени имоти на един собственик; при упълномеряване на УПИ (с части от други ПИ), поради размери не отговарящи на изискванията за минимална площ и лице. При желание за създаване на съсобствени урегулирани поземлени имоти, се изисква заявление до общината (в първия случай) и предварителен договор за прехвърляне на собственост с нотариално заверени подписи (във втория и третия случай)¹³. При тези хипотези задължително съгласието на засегнатите собственици трябва да бъде постигнато преди одобряването на подробния устройствен план, тъй като тяхната воля има пряко отражение върху предвижданията му.

В общия случай и двата устройствени способа за урегулиране на поземлени имоти са приложими при провеждане на първа регулация в крайградски територии, тъй като те като обхват, съдържание и функции могат да отговарят на техните законови условия.

4. РОЛЯ НА ОБЩИТЕ УСТРОЙСТВЕНИ ПЛАНОВЕ ПРИ ИЗБОР НА СПОСОБ ЗА УРЕГУЛИРАНЕ НА КРАЙГРАДСКИТЕ ТЕРИТОРИИ

С Общите устройствени планове се определят изискванията към устройството на териториите. Те задават преобладаващото предназначение и начина на устройство на отделните структурни части на териториите. Неразделна част, която се одобрява от компетентния орган едновременно с ОУП са Правилата и нормативите за устройството на територията, както и нормативите за необходимата земя при застрояване, с оглед ефективното използване на териториите, и поддържането на природното равновесие.¹⁴

Правилата и нормативите освен водещата си цел – да определят прилагането на ОУП, имат за изпълнение и редица други задачи. Една от тях е да задават задължителните изисквания

¹¹ ДВ, бр. 13 от 2017 г.

¹² по решение на общинския съвет

¹³ Чл. 17, ал. 2 и 3

¹⁴ се определят с Наредба 7 За правила и нормативи за устройство на отделните видове територии и устройствени зони

към по-ниските нива на планиране-ПУП. От своя страна, ПУП определят конкретното предназначение и начина на устройство на отделните поземлени имоти, обхванати от плана, като задължително се изработват в съответствие с действащия ОУП за дадената територия, и съответно с неговите правила и нормативи. А правилата и нормативите за прилагане на устройствените планове следва да са „съобразно местните и регионални характеристики на териториите“, да отчитат всички специфични природни и антропогенни условия и явления на територията, която е предмет на устройственото планиране. Тоест, на ниво разработване на ОУП, законовата уредба задава изискването правилата и нормативите му да съдържат и насоки за разработване на устройствени планове на по-ниското ниво на планиране - ПУП. Като за ПУП, те са задължителни.

В правилата и нормативите към ОУП обикновено се включват ясни регламенти за устройствените категории - устройственото и функционалното предназначение на зоните, устройствени параметри - плътност и интензивност на застрояване, плътност на озеленяване, основни и допълващи функции, ограничения при застрояването на видовете територии, устройствените зони и самостоятелните терени и т.н. В устройствената практика, към правилата и нормативите на ОУП се разработват раздели, които в различна степен на подробност и конкретика дават регламенти за устройство на териториите на по-ниското ниво на планиране (според преценка на възложител и проектант). Например, за Столична община такива насоки има в раздел „Прилагане на ОУП и режим на собствеността на недвижимите имоти“¹⁵, за Община Пловдив разделът е: „Последващо подробно устройствено планиране. Общи изисквания към ПУП“¹⁶; за община Хасково: „Последващи подробни устройствени планове“¹⁷ или за Община Златица: „Общи правила за допускане, възлагане и одобряване на ПУП“¹⁸ и т.н.

В различните случаи проектантският колектив на ОУП преценява до каква степен на детайл да заложи още на това ниво своите изисквания при разработване на ПУП. По отношение на степента на подробност и изчерпателност на тези насоки, нормативната уредба не дава изрични указания. И на тази база, възниква важен методичен въпрос, дали в правилата и нормативите към ОУП следва задължително да залегнат и по-конкретни изисквания към ПУП, например, свързани със способа на планиране, и съответно в какъв обхват да бъде приложен.

На практика, при разработване на ОУП има достатъчно налична информация на база на генерираните анализи и прогнози, за да се определят (още на това ниво) и подобни задължителни изисквания към разработване на ПУП. Има редица примери за това, че на това по-високото ниво на планиране може да бъде и определен способът, при който да бъдат урегулирани новоурбанизираните територии. И това следва да бъде задължително за възлагащия орган и проектантите на ПУП.

При разработване на ОУП няма изрично законово изискване да се дефинират границите (вътрешна и външна) на крайградската територия. Ориентировъчна роля за това имат само съществуващата строителна граница на населеното място и неговата нова строителна граница, доколкото тя обхваща новоурбанизираните територии. Землищната граница в редица случаи не обхваща реалния ареал на градската експанзия, в т.ч. и на всички необходими териториални елементи, за да могат градът и неговия „двор“ да функционират в единство. По отношение на правилата и нормативите, в повечето случаи в тях се разграничават устройствените показатели на зоните в градската и крайградската територия. (например, в завишени изисквания за плътност на озеленяване или намалена интензивност на застрояване в крайградската територия и т.н.). Но в общия случай, липсват детайлни анализи за тях, в т.ч. дадени препоръки за способа на устройствено планово планиране са рядко изключение (н.е. както е в ОУП на Столична община) [11].

5. ВЪЗМОЖНОСТИ ЧРЕЗ ОУП ДА СЕ ОПРЕДЕЛЯТ СПОСОБИТЕ ЗА ПЛАНИРАНЕ ПРИ ПУП ЗА КРАЙГРАДСКИТЕ ТЕРИТОРИИ НА АСЕНОВГРАД

а. Обект на изследване-общи положения

¹⁵ Глава III на Правила и нормативи към ЗУЗСО

¹⁶ Глава III на Правила и нормативи към ОУПО Пловдив

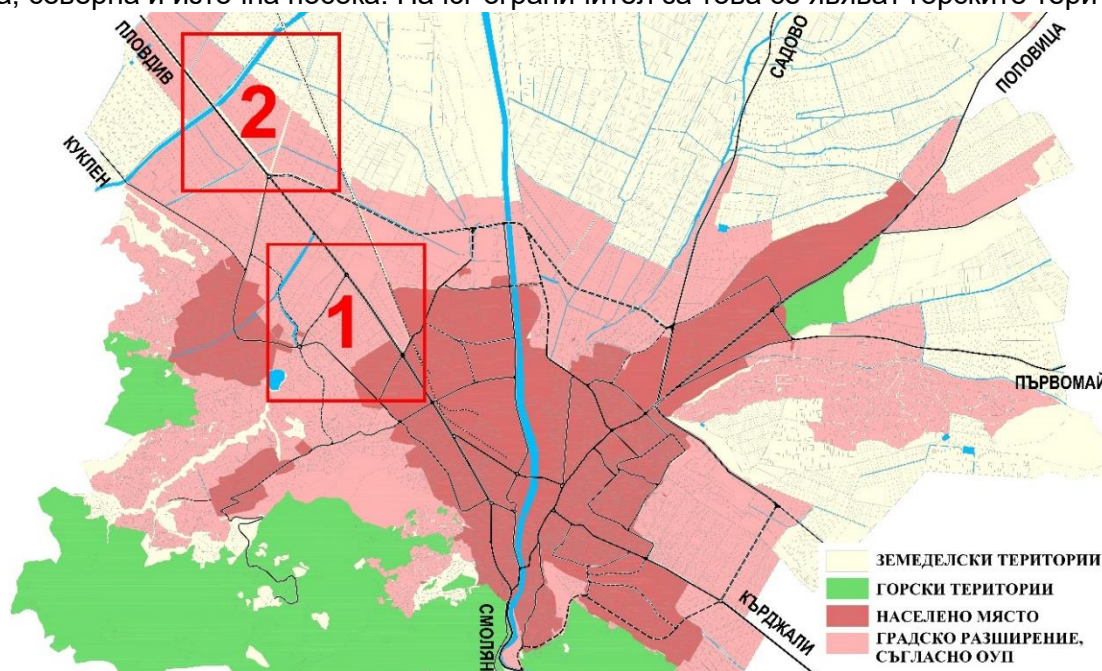
¹⁷ Глава III на Правила и нормативи ОУПО Хасково

¹⁸ Раздел XI на Правила и нормативи ОУПО Златица

С цел, да бъдат изследвани възможностите на ОУП да определят (или да дават насоки за) способите за планиране при ПУП е разгледан примерът на Асеновград и крайградските му територии на база на приетия „ОУП на град Асеновград и прилежащите му землища“.¹⁹

Градът е център на община Асеновград. Той²⁰ е един от градовете, които формират основната опорна мрежа от урбанистични центрове в националната ни територия. Икономическото значение на тези градове се изразява във факта, че в тях се формира основният дял на брутния вътрешен продукт и се реализира икономическия растеж. На тях се пада и основната роля за осъществяване на публичните услуги от високо ниво. Те са важни центрове на културата и средоточия на основните административни услуги. От друга страна, Асеновград попада в ареала на град Пловдив, това формира положителни импулси по отношение на заетост, обществено обслужване, производствени връзки и т.н. В самия Асеновград има развита многоотраслова икономика, като индустриалното производство е концентрирано изключително в градската структура и неговата крайградска територия. Градът се явява и важен транспортен кръстопът, през землището му минава Първокласен път II-86 (I–8), свързващ граница Сърбия–Драгоман–София–Пловдив–Свиленград–граница Турция“. Друга характерна особеност е богатото културно историческо наследство²¹.

Всички тези действащи фактори и условия предполагат и обосновават пространственото развитие на града, чрез усвояването на нови територии за обитаване, труд, отдих и туризъм. За тези нужди ОУП, именно в крайградските си територии, предвижда терени за нови съвременни технологични производства, и редица други икономически активности. Това се осигурява чрез доуплътняване на двете съществуващи производствени зони и усвояване на нови терени в посока градовете Пловдив, Първомай и Кърджали. Новопредложените терени са за производствени, складови и смесени устройствени зони т.е. с бизнес значение. Предвижда се нова транспортна връзка – обход на града в посока град Смолян, чрез който ще се предотврати преминаването на транзитния поток през централната градска част, но която допълнително усилва и измества икономическата активност в крайградските зони. Решения са отделени и на съхраняването и експонирането на недвижимото културно наследство на града с придружаващата го туристическа инфраструктура. Основна част от тези нужди са решени именно в крайградската му територия, чрез градско разрастване върху земеделски земи в западна, северна и източна посока. На юг ограничител за това се явяват горските територии.



Фиг. 1. Градско разширение на Асеновград

Източник: ОУП на град Асеновград и прилежащите му землища

б. Характеристика на земеделски земи-обект на урбанизация

¹⁹ Одобрен с Решение на ОбС Асеновград от 2021 г.

²⁰ заедно с градовете от първите 3 йерархични нива (общо 35 бр.)

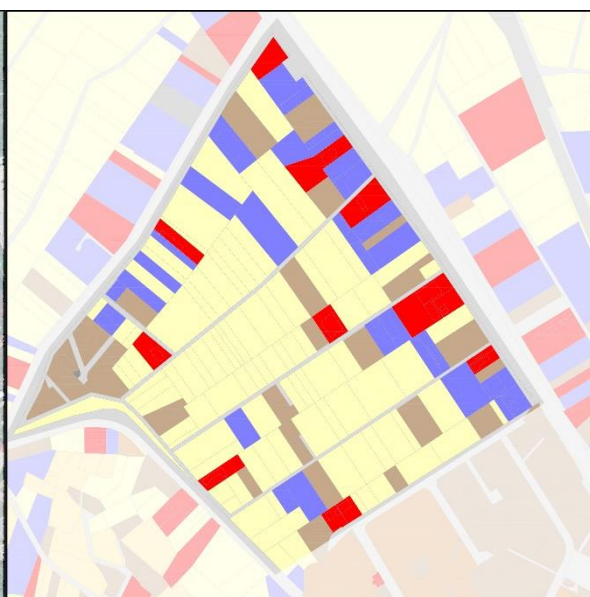
²¹ включващо 115 обявени и регистрирани недвижими културни ценности - паметници на културата, като 7 са с национално значение;

За да бъдат проучени конкретните характеристики на предвидените за урбанизация земеделски земи, са избрани два показателни примера от крайградската територия на Асеновград:

- Фрагмент 1: (фиг. 1 и фиг. 2 и 3) Масивът се намира в западната част, в непосредствена близост до града по протежение на пътя, свързващ Асеновград с град Пловдив. За последните 20 години, градът естествено се разширява в тази посока, като транспортната връзка е своеобразен стимулатор за това развитие. При липса на действащ ОУП (в този период), безпланово се е променяло основното предназначение на земеделските имоти, и към настоящия момент, масивът се характеризира с разнообразни функции – жилищна (кафяв цвят), обществено-обслужваща (червен цвят), складово-производствена (лилав цвят), в т.ч. някои имоти се ползват за земеделие (жълт цвят). (Фиг. 3). Техническата инфраструктура е неразвита, липсва представяне и на важни публични функции. Разработваните ПУП за тази територия „на парче“ са решавали въпросите за транспортния достъп и довеждащите инженерни мрежи. Преобладаващите ПУП са само със съставка План за застрояване, като за транспортно обслужване са приемани съществуващите селскостопански пътища. В случаите, в които има одобрен План за регулация, прилаганият способ е по условията на чл. 17 от ЗУТ-по имотни граници.



Фиг. 2. Фрагмент 1
Източник: МЗХГ - Ортофото снимка



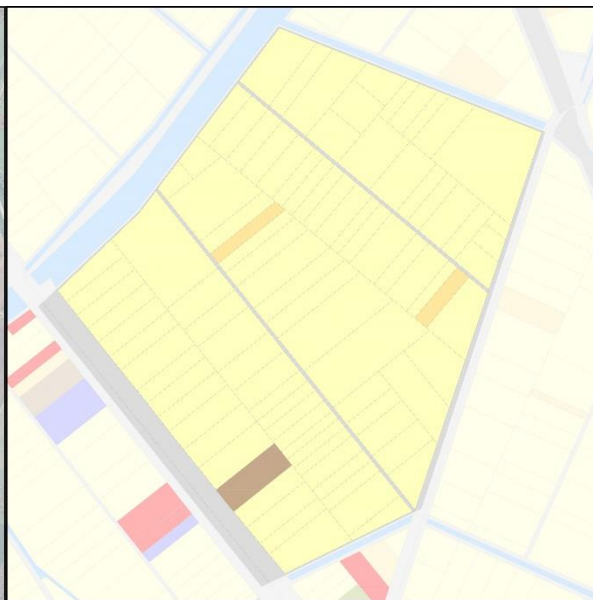
Фиг. 3. Фрагмент 1
Източник: Опорен план към ОУП на град Асеновград и прилежащите му землища

- Фрагмент 2: (фиг. 1 и фиг. 4 и 5) Масивът се намира на северозапад и е сравнително по-отдалечен от града, отново по протежение на пътя, свързващ Асеновград с град Пловдив. На пътя е ситуиран и единствения поземлен имот променил основното си предназначение – за жилищни нужди (в кафяв цвят). Останалите земеделските земи се използват по предназначение, с НТП: ниви и трайни насаждения.



Фиг. 4. Фрагмент 2

Източник: МЗХГ - Ортофото снимка



Фиг. 5. Фрагмент 5

Източник: Опорен план към ОУП на град Асеновград и прилежащите му землища

с. Възможни предвиждания на ОУП за способът на устройствено планиране

Анализът на състоянието на двата масива земеделска земя, подлежащи на урбанизация показва, че има законовата възможност да се приложат и двата способа на устройствено планиране.

- И в двата масива има налични неурегулирани поземлени имоти и територии с неприложена първа регулация по предходен устройствен план;
- И в двата случая липсва реализирана необходимата публична инфраструктура, тоест има необходимост от нейното цялостно и единно планиране;
- При Фрагмент 1: около 30% от територията е усвоена, т.е. взети са устройствени решения за частни инициативи, и те са реализирани. При евентуално прилагане на способа по чл. 16 от ЗУТ, тези поземлени имоти следва да бъдат изключени и сравнително трудно би се осигурило преструктуриране и комасиране на останалите неусвоени имоти в масива. Поради вече утвърдения транспортен достъп до застроените поземлени имоти, бъдещата транспортна организация, следва да я отрази, което отново не дава много възможности, за оптимизиране на уличната мрежа. В тази устройствена ситуация, целесъобразен способ се явява този по чл. 17 от ЗУТ, тоест да се продължи прилагането на регулация по имотни граници, като се предвидят и необходимите терени за публични дейности за обслужване на територията. За целта, недвижимите имоти - собственост на юридически и физически лица, следва да бъдат отчуждавани по реда на ЗДС/ЗОС за обектите - публична собственост на държавата и общините.
- При Фрагмент 2: територията все още е неусвоена и бъдещ обхват на планиране, лесно би изключил единствения застроен имот. Целесъобразен способ за устройствено планиране се явява този по реда на чл. 16 от ЗУТ. Той ще осигури единно решение и възможност за предвиждане и реализация на необходимата публична инфраструктура с минимална икономическа тежест за общината от една страна, а от друга всеки собственик на поземлен имот ще получи добавена стойност към своята собственост, чрез осигурена оптимална форма за застрояване и обслужване на урегулирания си поземлен имот (в т.ч. комасиране/делба), и непосредствен достъп до обектите на техническата, социалната инфраструктура и обектите на зелената система.

6. ИЗВОДИ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Прегледът на законовите норми и устройствена практика при разработване на ОУП показва, че при него задължително се проучва състоянието на поземлените ресурси по територии и тяхната планова обезпеченост, и се прогнозира тяхното развитие. На тази база

лесно могат да се определят особеностите на териториите и техните бъдещи устройствени нужди. Видимо и от произволно подбраните, но показателни примери, може в достатъчна степен да се обосноват препоръки за способ на устройствено планиране и неговия обхват, още на ниво Общ устройствен план. Тоест, еднозначно могат да бъдат определени подходящите крайградски територии с приоритетно или задължително прилагане на конкретен способ. Нещо повече, определяйки подходящите територии за това, сравнително ясно може да бъде и дефиниран и обхватът им – например да позволява реализация на заложените в ОУП решения, в т.ч. и необходимата им публична инфраструктура. За тази цел е целесъобразно да бъде разширена ролята на Правилата и нормативите за прилагане на ОУП (в т.ч. и подкрепено с ясни законови регламенти), за да съдържат и по-конкретни насоки за по-ниското ниво на планиране - разработване на ПУП. В т.ч. възложителите още на ниво задание на ОУП могат да формулират изискванията си за допълнителни устройствени проучвания и разработване на специализирани графични материали-схеми, с които да се представят границите на зони с необходимост от изготвяне на цялостен ПУП (н.е. обхват на територии със задължително/приоритетно прилагане на способа на чл. 16 от ЗУТ). Това би било адекватно средство за общината да осигури цялостно и осмислено устройствено планиране на крайградските територии (а не решения „на парче“), и да обезпечи достатъчно терени за публичните мероприятия, без необходимост от отчуждителни процедури и допълнителна икономическа тежест. И не на последно място, единното планиране на растежа на града и неговата крайградска територия с ясни указания на способа и обхвата би ограничило явлениято на дисперсното и непланирано градско разрастване (urban sprawl), при което загубите са предимно в дела на земеделските земи.

Устройствената практиката показва, че за устойчиво планиране на териториите са необходими синхронизирани и последователни решения едновременно и на ниво: общи устройствени планове и на ниво: подробни устройствени планове. Следва да се прилагат всички устройствени възможности, които осигурява нормативната уредба при планиране на първа регулация, но и чрез изпитване в практиката да се търсят възможности за тяхното развитие и надграждане.

7. ЛИТЕРАТУРА

1. Еврев, П., Славкова Й., Стефанова Н., Диков П., Петров Д. и др., 1989, Анализ на изследване на крайселищната територия, КНИПИТУГА, Известия, кн. 1, София
2. Колектив на „Булплан“. 2007. Общ устройствен план на община Пловдив, <https://www.plovdiv.bg/item/building/oup>
3. Колектив на ДЗЗД „Заедно за община Хасково“ с ръководител арх. И. Кънева. 2022. Общ устройствен план на община Хасково-Предварителен проект
4. Колектив на Ерта Консулт“ ЕООД с ръководител арх. Б. Георгиев. 2014. Общ устройствен план на община Златица
5. Колектив на НЦТР ЕАД с ръководител арх. И. Кънева. 2021. Общ устройствен план на Асеновград и прилежащите му землища
6. Наредба № 7 за правила и нормативи за устройство на отделните видове територии и устройствени зони, обн. ДВ 3/13.01.2004 г.
7. Наредба № 8 за обема и съдържанието на устройствените планове, обн. ДВ 57/14.06.01г.
8. Национален институт по геофизика, геодезия и география при Българска академия на науките. Географски терминологичен речник. София, Академично издателство „Проф. Марин Дринов“, 2011. ISBN 978-954-322-217-9. 252
9. Закон за устройство и застрояване на Столична община, обн., ДВ, бр. 106 от 2006 г.
10. Закон за Устройство на територията, обн. ДВ бр. 1 от 2 януари 2001 г.
11. Схема „Насоки за детайлни разработки“ към ОУП Столична община, https://sofiaplan.bg/Images/web_maps19112009/54.pdf (активен към 19.07)
12. Хопфер А. “Земеустройствени работи в преходната зона между града и селото” Геодезия, картография и земеустройство. 1981, 6 бр. ISSN 0324-1610
13. Gargiulo V., Sateriano A., Bartolomei R., Salvati L., 2012, URBAN SPRAWL AND THE ENVIRONMENT. GEOGRAPHY, ENVIRONMENT, SUSTAINABILITY No. 04 [v. 05], Urban sprawl in Europe. The ignored challenge. EEA Report No 10/2006. ISSN 1725-9177.

АДРЕС НА АВТОРА

Д-р инж. Надежда Ярловска

Университет по архитектура строителство и геодезия

Гр. София, бул. „Христо Смирненски“ 1

+359885653323

njarlovska@mail.bg

МОНИТОРИНГ НА ПРИРОДНИ БЕДСТВИЯ, СЪГЛАСНО НАЦИОНАЛНИ И СВЕТОВНИ ДИРЕКТИВИ

Инж. Елия Стоянова, докторант, УАСГ

MONITORING OF NATURAL DISASTERS, ACCORDING TO NATIONAL AND GLOBAL DIRECTIVES

Eng. Elia Stoyanova, PhD student, UACG

SUMMARY

This article examines the methods and strategies for monitoring natural disasters in Bulgaria, in line with national, European, and international directives and frameworks. The key documents and laws that cover the main objectives of disaster monitoring, including early detection, risk assessment, and coordination for effective response, are discussed. The article emphasizes the applications of remote sensing and GIS in the presented documents. Various systems for rapid response to disasters and accidents are also presented, which can be activated by the state and used in emergencies to assist in managing the disasters that have occurred.

Keywords: natural disasters, directives, Sendai Framework, INSPIRE, GIS, remote sensing.

РЕЗЮМЕ

В тази статия се разглеждат методите и стратегиите за мониторинг на природни бедствия в България, съобразени както с националните и европейските, така и с международните директиви и рамки. Засегнати са ключовите документи и закони, които обхващат основните цели на мониторинга на бедствия, като включват ранно откриване, оценка на риска и координация за ефективна реакция. Статията акцентира на приложенията на дистанционните изследвания и ГИС в представените документи. Представени са и различни системи за бързо реагиране при бедствия и аварии, които могат да се активират от държавата и да се използват при извънредни ситуации, за да се подпомогне управлението на възникналите бедствия.

Ключови думи: природни бедствия, директиви, Sendai Framework, INSPIRE, ГИС, дистанционни изследвания.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Мониторингът на природните бедствия е критичен компонент от намаляването на риска от бедствия и реагирането при извънредни ситуации, особено след като честотата и интензивността на тези събития продължават да нарастват в световен мащаб. В България национални и международни директиви предоставят рамки и протоколи, насочени към повишаване на устойчивостта към природни бедствия. Тези насоки подчертават значението на навременното събиране на данни, оценката на риска и наблюдението в реално време, което позволява на властите да се подготвят и смекчат въздействието на бедствия като земетресения, наводнения, пожари и свлачища. Тази статия проучва стратегиите и технологиите, описани в

българските, европейските и в международните директиви, като разглежда как тези политики имат за цел да защитят живота, инфраструктурата и природните ресурси. Като сравняваме националните рамки с глобалните стандарти, можем да разберем по-добре как страни като България могат да се приведат и да се възползват от най-добрите международни практики, за да засилят своите способности за наблюдение на бедствия и да реагират ефективно на потенциални кризи.

2. ДОКУМЕНТИ В БЪЛГАРИЯ

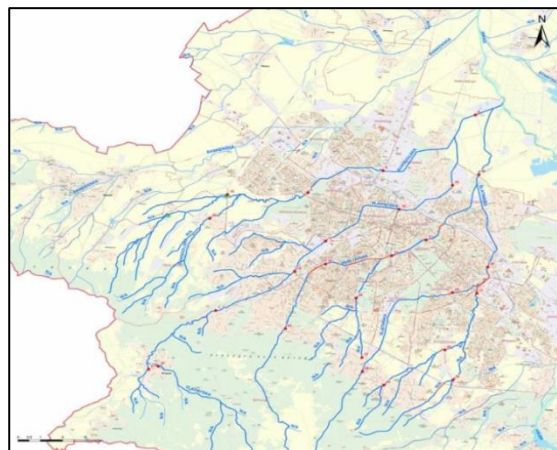
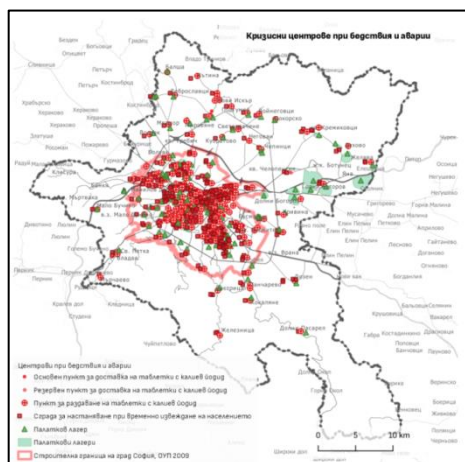
За целите на изследването основните документи, приети и използвани в България, са разделени на три основни групи: на общинско ниво, на областно ниво и на национално ниво.

2.1. Общинско ниво

Основният документ на общинско ниво, свързан с мониторинга на бедствия, е “План за защита при бедствия на община”. Той е свързан с предоставяне на възможност за ефикасно и ефективно управление на опасностите и рисковете чрез координиран подход. Тези планове за бедствия се съставят в съответствие с Националната стратегия за намаляване на риска от бедствия (НСНРБ). Част от целите, които участват в тях включват:

- Определяне на опасностите и рисковете от бедствия, както и мерките за тяхното предотвратяване;
- Намаляване на рисковете от природни опасности и такива, причинени от човека, по разходно-ефективен начин;
- Насърчаване на съвместното планиране и действия за защита при бедствия между отделните институции/ведомства и общности;
- Създаване и укрепване на взаимодействието и координацията в партньорството между организациите, ведомствата, институциите, съставните части на единната спасителна система (ЕСС);
- Свеждане до минимум неблагоприятното въздействие на опасностите върху човешкия живот, социалната и икономическата структура на общности, инфраструктура, собственост и природната среда;
- Създаване на способности за реагиране и възстановяване от природни бедствия.

За пример на фиг. 1 и 2 са представени извадки от “План за защита при бедствия на Столична община” [1]. Той е разделен на три основни части: “Защита при земетресения”, “Защита при наводнения” и “Ядрена или радиационна авария, трансграничен пренос на радиоактивни вещества и аварии с радиоактивни източници и материали”. При него се използват ГИС и дистанционни изследвания за: създаване на електронен регистър на данни, свързан с управлението на риска от наводнения, горски пожари и земетресения; използване на минали и актуални спътникови изображения; интеграция на снимков материал – суров (спътникови снимки) и обработен в процедури за управление на риска в България; експертни анализи на информацията и създаване на готови продукти за конкретни опасности.



Фиг. 1. Кризисни центрове в Столична община [1] Фиг. 2. Речни участъци в София [1]

2.2 Областно ниво

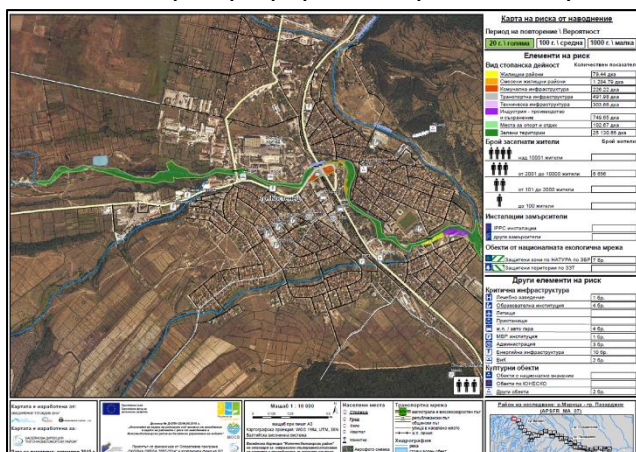
За целите на изследването са подбрани два основни документа, които са свързани с мониторинга на бедствия на областно ниво: “План за защита при бедствия на област ...” и “Областна програма за намаляване на риска от бедствия”.

2.2.1 “План за защита при бедствия на област ...”

Част от целите и задачи на този тип планове включват:

- Осигуряване на ефективно и ефикасно управление на риска от бедствия чрез партньорство и по-добра координация;
- Свеждане до минимум неблагоприятното въздействие на опасностите върху човешкия живот, социалната и икономическата структура на общности, инфраструктура, собственост и природната среда;
- Определяне на опасностите и рисковете от бедствия;
- Определяне на мерките за предотвратяване или намаляване на риска от бедствия;
- Определяне на мерките за защита на населението;
- Определяне на средствата и ресурсите за изпълнение на дейностите по защита;
- Определяне на мерките за възстановяване и др.

За пример на фиг. 3 и 4 са представени извадки от “План за защита при бедствия на област Пазарджик” [2]. При него се използват ГИС и дистанционни изследвания за: създаване и контролиране на прилагането на мерки при устройственото планиране на територията, инвестиционното проектиране, изграждането и експлоатацията на строежите за намаляване на риска от бедствия; поддържане и актуализиране в ГИС по отношение на геоложкия и сеизмичния риск; поддържане на държавния геодезически, картографски и кадастрален фонд; анализ, оценка и картографиране на риска от горски пожари и др.



ОБЩИНА	Населено място	Пункт за водни таблетки
1	2	3
БАТАК	гр.Батак	-Сградата на Общината
Място за съхранение на таблетките калиев йодид – в пунктчето за раздаване.	с.Фотинново	-Сградата на кметството
Мястото за съхранение на други ИСЗ – помещен в сградата на общината.	с.Нова махала	-Сградата на кметството
БРАЦИГОВО	гр.Брацигово	-КСУДС “Васил Петлев”
Място за съхранение на таблетките калиев йодид – сградата на Младежки дом – втори етаж.	с.Жребичко	-Сградата на Общината
Мястото за съхранение на други ИСЗ – Бившата сграда на ОС на ОВТН.	с.Розово	-Сградата на кметството
	с.Козарско	-Сградата на кметството
	с.Равногор	-Сградата на кметството
	с.Бяга	-Сградата на кметството
	с.Исперихово	-Сградата на кметството

Фиг. 3. Карта на риска от наводнения [2] Фиг. 4. Пунктове при радиационна авария [2]

2.2.2 Областна програма за намаляване на риска от бедствия

Областната програма за намаляване на риска от бедствия се разработва на основание от Закона за защита при бедствия за изпълнение на целите на Националната програма за намаляване на риска от бедствия 2021 – 2025 г. и за изпълнение на целите на Националната стратегия за намаляване на риска от бедствия. Тя съдържа оперативни цели и дейности за реализирането на тези цели. Тя има за цел да спомогне и за осигуряването на цялостен, всеобхватен и интегриран подход към управлението на риска и постигането на устойчивост при бедствия [3]. При нея се използват ГИС и дистанционни изследвания за:

- Разработване, публикуване и периодично актуализиране на карти на риска чрез използване на ГИС;
- Създаване на карти с обекти на критичната инфраструктура; горски масиви в близост до урбанизирани територии, производствени мощности или инфраструктурни съоръжения; свлачища и срутища, и периодичното им актуализиране;
- Създаване и актуализиране на карти за риска от наводнения и заливните зони;

- Извършване на периодична оценка на риска от бедствия и оценка на способностите за управление на риска;
- Извършване на оценка на риска при: представяне на годишни отчети за оценка на риска и актуализация на картите на риска чрез използване на ГИС и др.

2.3. Национално ниво

На национално ниво има много документи, които са свързани с управлението на риска от бедствия, както и използването на ГИС, и дистанционни изследвания за техния мониторинг:

- Закон за защита при бедствия
- Закон за геодезията и картографията
- Закон за опазване на околната среда
- Закон за достъп до пространствени данни
- Национален профил на риска от бедствия в България
- Национален план за защита при бедствия
- Национална програма за намаляване на риска от бедствия 2021 – 2025 г.
- План за управление на риска от бедствия
- Планове за управление на риска от наводнения 2022 – 2027 г.
- Национална стратегия за намаляване на риска от бедствия 2018 – 2030 г.
- Извършване на оценка и картографиране на риска от горски пожари на територията на страната – ПРСР
- Наредба № 20 от 18.11.2016 г. за съдържанието, условията и реда за създаването и поддържането на горскостопанските карти
- Наредба № 8 от 11.05.2012 г. за условията и реда за защита на горските територии от пожари
- Изпълнителна агенция по горите – годишни програми.

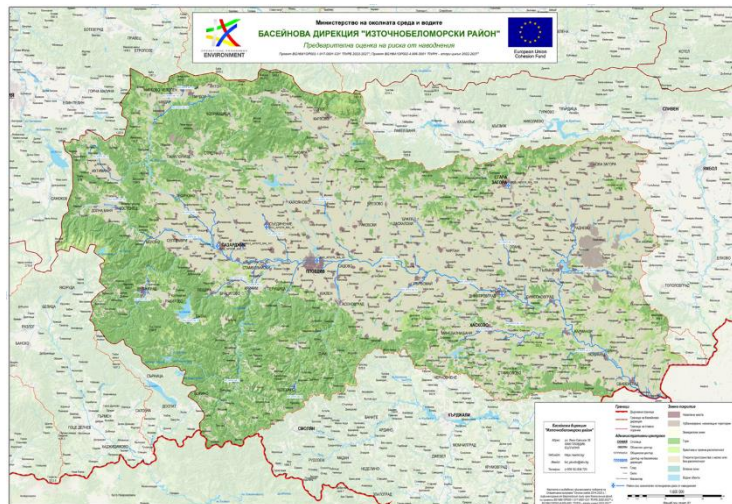
За целите на изследването е акцентирано основно върху „Национален план за защита при бедствия“ [4]. Целта на плана е да се извършат анализи и оценки за риска от възникване на бедствия на територията на Република България и набиеляване на превантивни мерки за намаляване на неблагоприятните последици в резултат от бедствията, организиране и координиране на действията за предотвратяване или намаляване на последиците от бедствия. Част от задачите по него включват:

- Анализиране на възможните бедствия и прогнозиране на последиците от тях;
- Планиране на мерки за предотвратяване/намаляване на последиците от бедствията;
- Разпределение на задълженията и отговорностите между органите на изпълнителната власт за изпълнение на планираните мерки;
- Осигуряване на средствата и ресурсите, предвидени за ликвидиране на последиците от бедствия;
- Определяне на начина на взаимодействие между органите на изпълнителната власт;
- Определяне на реда за навременното уведомяване на органите на изпълнителната власт и населението при заплахата или възникване на бедствие.

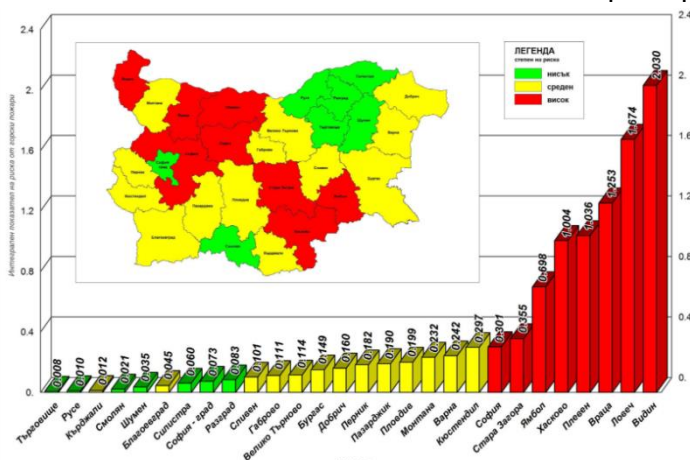
При него се използват ГИС и дистанционни изследвания за:

- Изготвяне на: карти на райони под заплахата от наводнения; карти на райони в риск от наводнения; карти на районите за басейново управление на водите, указващи топографията и предназначението на земята, включително границите на: речните басейни и подбасейни и крайбрежни райони, където съществуват такива;
- Изследване, анализ и оценка на риска за възникване на големи пожари в горския фонд на територията на страната;
- Изработване на карти, класифициращи горския фонд по степен на пожарна опасност;
- Изследване, анализ и оценка на риска от големи пожари в земеделските площи, засети със зърнено-житни култури, маслодайни и влакнодайни култури;
- Изработване на карти, класифициращи земеделските масиви според степента на пожарна опасност;
- Създаване на база данни за възможните водоизточници на територията на страната, които да бъдат използвани в случай на гасене с въздухоплавателни средства.

Извадки от „Национален план за защита при бедствия“ са представени на фиг. 5, 6 и 7.



Фиг. 5. Карта на райони със значителен потенциален риск от наводнения за басейна на р. Марица [4]



Фиг. 6. Подреждане на областите по риск от горски пожари [4] Фиг. 7. Сеизмично райониране [4]

3. ЕВРОПЕЙСКИ СИСТЕМИ И ДИРЕКТИВИ

За целите на изследването е акцентирано върху три директиви и системи на европейско ниво: Директива 2007/2/ЕО на Европейския парламент и на Съвета за създаване на инфраструктура за пространствена информация в Европейската общност (INSPIRE); Copernicus Emergency Management Service (EMS) и Механизъм за гражданска защита на ЕС - EU Civil Protection Mechanism.

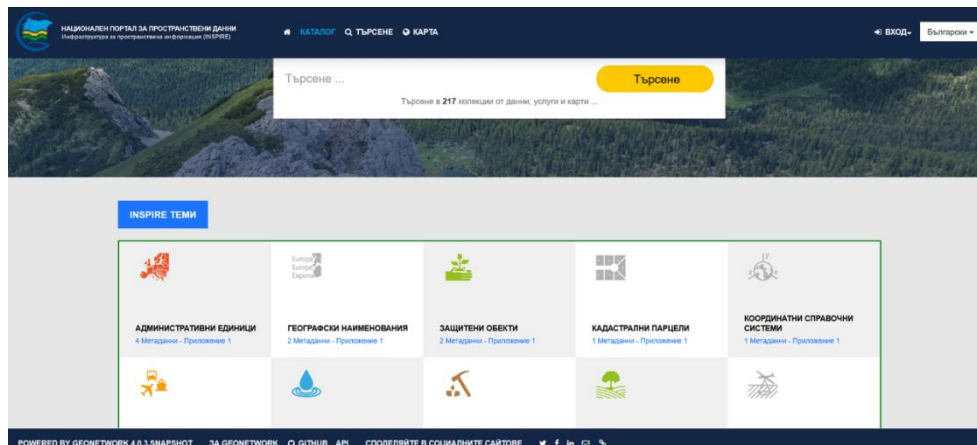
3.1. Директивата INSPIRE

Директивата INSPIRE (Инфраструктура за пространствена информация в Европейската общност) е инициатива на Европейския съюз, насочена към създаване на единна инфраструктура за пространствени данни в държавите членки [5]. Създадена през 2007 г., целта на директивата е да подобри достъпността, споделянето и оперативната съвместимост на географски и екологични данни, за да подпомогне вземането на информирани решения, особено за политиките за околната среда. Като стандартизира данните и ги прави лесно достъпни (фиг. 8), INSPIRE помага на правителствените органи, бизнеса и гражданите да се справят с трансгранични екологични и пространствени проблеми, като изменение на климата, опазване на биоразнообразието и градско планиране, с надеждна и хармонизирана информация.

Основни принципи на директивата INSPIRE:

- Пространствените данни да се съхраняват, да са достъпни и да са поддържани на най-подходящото ниво;

- Позволяват последователно комбиниране на пространствени данни от различни източници в целия Европейски съюз и съвместното им използване между различни потребители и приложения;
- Пространствените данни, събрани на едно ниво на правителството, се споделят с други държавни органи;
- Пространствените данни трябва да са налични при условия, които не ограничават по-широкото им използване без причина;
- Позволяване на лесно откриване на наличните пространствени данни, оценка на тяхната пригодност за постигане на целите и разбиране на условията, приложими за тяхното използване.



Фиг. 8. Национален портал за пространствени данни на България, съгласно Директива INSPIRE

Основни компоненти на директивата INSPIRE:

- Метаданни;
- Оперативна съвместимост на пространствени данни и услуги;
- Услуги (откриване, преглед, изтегляне, трансформиране и извикване);
- Съвместно използване на пространствени данни и услуги;
- Мерки за координация и надзор, и докладване.

Данни, включени в директивата INSPIRE:

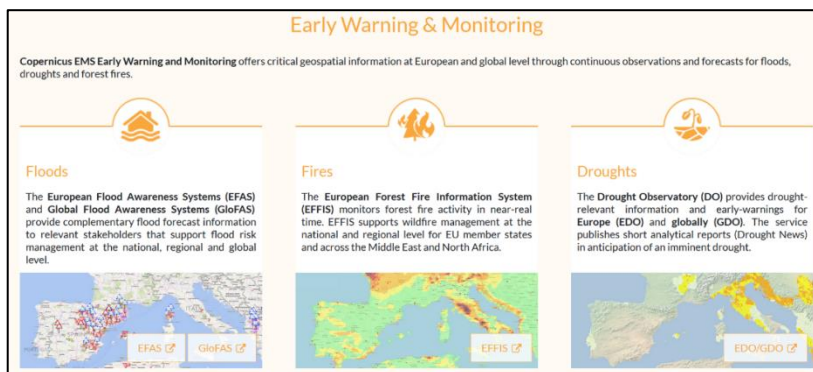
- 34 теми от пространствени данни, подредени в три приложения (I, II и III), необходими за успешно изграждане на информационна система за околната среда;
- Пространствени данни, притежавани от държавни органи или от други институции за държавни органи и пространствени данни, използвани от държавни органи за изпълнение на техните обществени задължения.

3.2. Copernicus Emergency Management Service (EMS)

Службата за управление на извънредни ситуации на Copernicus (EMS) [6] е програма в рамките на инициативата Copernicus на Европейския съюз, която предоставя навременна и точна геопропространствена информация за реагиране при извънредни ситуации. Чрез използване на сателитни изображения и други източници на данни EMS подкрепя органите за управление на бедствия в ЕС и по света при реагиране на природни и причинени от човека извънредни ситуации, като наводнения, горски пожари, земетресения и промишлени аварии. Услугата предлага бързо картографиране, оценка на риска и системи за ранно предупреждение, подпомагащи както незабавната реакция при кризи, така и дългосрочното планиране за смекчаване на въздействията от бедствия и повишаване на устойчивостта. Службата работи в три основни направления, свързани с ранното предупреждение и мониторинг (фиг. 9):

- Наводнения: Европейските системи за информираност за наводнения (EFAS) и глобалните системи за информираност за наводнения (GloFAS) предоставят допълнителна информация за прогнозиране на наводнения на съответните заинтересовани страни, които подпомагат управлението на риска от наводнения на национално, регионално и глобално ниво.

- **Пожари:** Европейската информационна система за горски пожари (EFFIS) наблюдава активността на горските пожари в почти реално време. EFFIS подпомага управлението на горски пожари на национално и регионално ниво за държавите членки на ЕС и в Близкия изток, и Северна Африка.
- **Засушавания:** Обсерваторията за засушаване (DO) предоставя информация свързана със засушаването и ранни предупреждения за Европа (EDO), и в световен мащаб (GDO). Услугата публикува кратки аналитични доклади (Drought News) в очакване на предстояща суша.



Фиг. 9. Copernicus Emergency Management Service (EMS)

3.3 Механизъм за гражданска защита на ЕС - EU Civil Protection Mechanism

През октомври 2001 г. Европейската комисия създава Механизъм за гражданска защита на ЕС [7]. Той има за цел да засили сътрудничеството между страните от ЕС и 10 участващи държави (Албания, Босна и Херцеговина, Исландия, Молдова, Черна гора, Северна Македония, Норвегия, Сърбия, Турция и Украйна) по гражданска защита за подобряване на превенцията, готовността и реакцията при бедствия. Когато извънредна ситуация надхвърля възможностите за реагиране на държава в Европа и извън нея, тя може да поиска помощ чрез Механизма. Комисията играе ключова роля в координирането на реакцията при бедствия в световен мащаб, като допринася за поне 75% от транспортните и/или оперативните разходи за разполагане. Той координира усилията в държавите членки на ЕС и използва данни от дистанционно наблюдение, за да подобри осведомеността за ситуацията и вземането на решения по време на извънредни ситуации.

4. СВЕТОВНИ СИСТЕМИ И ДИРЕКТИВИ

За целите на изследването е акцентирано върху четири директиви и системи на световно ниво: UN-SPIDER; International Charter on Space and Major Disasters; Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015 – 2030 и Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development.

4.1. UN-SPIDER (United Nations Platform for Space-based Information for Disaster Management and Emergency Response)

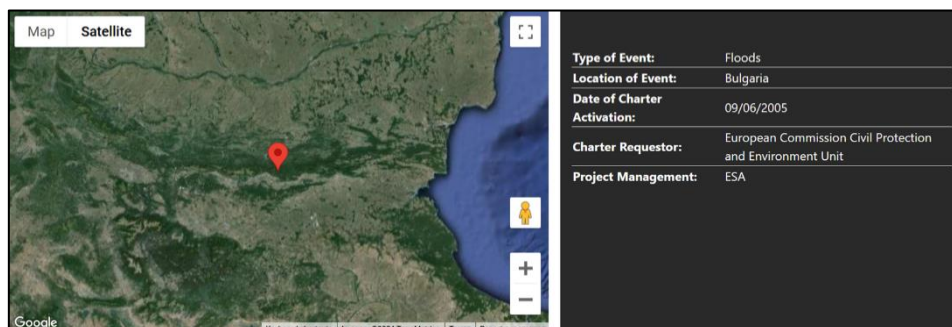
Платформата на ООН за използване на сателитна информация за предупреждение и борба с природните бедствия, и бързо реагиране (UN-SPIDER) [8] е инициатива на Службата на ООН по въпросите на космическото пространство (UNOOSA), насочена към предоставяне на всички държави и международни организации на достъп до космическа информация в подкрепа на управлението на бедствия. UN-SPIDER играе решаваща роля в използването на дистанционно наблюдение и други космически технологии за подобряване на реакцията при бедствия и усилията за намаляване на риска в световен мащаб.

4.2. International Charter on Space and Major Disasters

Международната харта за космоса и големи бедствия е международно споразумение между космически агенции и сателитни оператори, насочено към предоставяне на бърз достъп

до сателитни данни за реакция при бедствия. Хартата е инициирана от Европейската и Френската космическа агенция през 1999 г. [9]. Нейната основна цел е да използва базираните на космоса технологии, особено дистанционните изследвания, за подпомагане на управлението и смекчаването на природните и причинени от човека бедствия.

Когато възникне голямо бедствие, оторизиран потребител, обикновено национална агенция за гражданска защита или управление на извънредни ситуации, може да поиска активирането на Хартата. Веднъж активирана (фиг. 10), Хартата координира събирането и разпространението на сателитни изображения и данни от различни участващи космически агенции. Предоставените данни включват изображения с висока разделителна способност и друга информация от дистанционно наблюдение, които са от съществено значение за картографиране на засегнатите райони, оценка на щетите и наблюдение на развитието на бедствията.



Фиг. 10. Последно искане за активиране на Международната харта от България (2005 г.)

4.3 Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015 – 2030

Рамката от Сендай за намаляване на риска от бедствия 2015 – 2030 г. очертава седем ясни цели и четири приоритета на действие за предотвратяване на нови и намаляване на съществуващи рискове от бедствия. Тя има за цел да постигне значително намаляване на риска от бедствия и загубите в живота, поминъка и здравето, и в икономическите, физическите, социалните, културните и екологичните активи на хора, предприятия, общности и държави през следващите 15 години. Рамката е приета на Третата световна конференция на ООН за намаляване на риска от бедствия в Сендай, Япония, на 18 март 2015 г. [10].

4.4 Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development

„Трансформирането на нашия свят: Програма до 2030 г. за устойчиво развитие“ е важен документ, приет от всички държави членки на ООН през септември 2015 г. [11]. Той служи като план за глобални усилия за развитие през следващите 15 години, като определя всеобхватна и амбициозна рамка за справяне с належащите глобални предизвикателства и постигане на устойчиво развитие в икономически, социални и екологични измерения.

Програмата включва 17 цели за устойчиво развитие (ЦУР), които са интегрирани и неделими цели и балансират трите измерения на устойчивото развитие: икономическо, социално и екологично. Те обхващат широк кръг от въпроси, включително изкореняване на бедността, образование, равенство между половете, чиста вода и канализация, достъпна и чиста енергия, действия в областта на климата, устойчиви градове и общности, отговорно потребление и производство и опазване на биоразнообразието, наред с други. Всяка SDG е придружена от конкретни цели (общо 169 цели) за насочване и измерване на напредъка към постигането на целите до 2030 г.



Фиг. 11. Цели за устойчиво развитие

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение, ефективният мониторинг на природните бедствия, ръководен както от националните български политики, така и от глобалните директиви, е от решаващо значение за минимизиране на въздействието на екологичните кризи. Чрез привеждане в съответствие с рамки като Директивата INSPIRE и използване на инструменти като Службата за управление на извънредни ситуации Коперник, България може да подобри своята готовност, реакция и устойчивост на природни бедствия. Тези интегрирани усилия насърчават по-добро споделяне на данни, оперативна съвместимост и координация, като в крайна сметка спомагат за защитата на общностите и екосистемите. Продължаването на инвестициите в такива технологии и сътрудничеството на национално и международно ниво ще укрепи способността на България да реагира бързо и ефективно на природни бедствия, гарантирайки по-безопасно и по-устойчиво бъдеще.

6. ЛИТЕРАТУРА

1. План за защита при бедствия на Столична община
2. План за защита при бедствия на област Пазарджик
3. Областната програма за намаляване на риска от бедствия в област Хасково за периода 2021 – 2025 г.
4. Национален план за защита при бедствия
5. ДИРЕКТИВА 2007/2/ЕО НА ЕВРОПЕЙСКИЯ ПАРЛАМЕНТ И НА СЪВЕТА от 14 март 2007 година за създаване на инфраструктура за пространствена информация в Европейската общност (INSPIRE)
6. Copernicus Emergency Management Service (EMS) - <https://emergency.copernicus.eu/>
7. EU Civil Protection Mechanism - Официален уебсайт - https://civil-protection-humanitarian-aid.ec.europa.eu/what/civil-protection/eu-civil-protection-mechanism_en
8. UN-SPIDER (United Nations Platform for Space-based Information for Disaster Management and Emergency Response) - Официален уебсайт - <https://www.unoosa.org>
9. International Charter on Space and Major Disasters - Официален уебсайт - <https://disasterscharter.org/>
10. Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015–2030 - Официален уебсайт - <https://www.undrr.org/publication/sendai-framework-disaster-risk-reduction-2015-2030>
11. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development - Официален уебсайт - <https://sdgs.un.org/2030agenda>.

АДРЕС НА АВТОРА

Инж. Елия Стоянова – докторант
 Университет по архитектура, строителство и геодезия
 бул. Христо Смирненски № 1, гр. София
 E-mail: stoyanova.elia@gmail.com.

4. ДОКЛАДИ И ДИСКУСИИ (IV) – ФОТОГРАМЕТРИЯ, ЛАЗЕРНО СКАНИРАНЕ

Докладът е включен тук и е свързано с възможност за докладване от страна на автора!

25. XXXIV МЕЖДУНАРОДЕН СИМПОЗИУМ
СЪВРЕМЕННИТЕ ТЕХНОЛОГИИ, ОБРАЗОВАНИЕТО И ПРОФЕСИОНАЛНАТА ПРАКТИКА В
ГЕОДЕЗИЯТА И СВЪРЗАНИТЕ С НЕЯ ОБЛАСТИ
София, 06 – 08 ноември 2024 г.

XXXIV INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON
MODERN TECHNOLOGIES, EDUCATION AND PROFESSIONAL PRACTICE IN
GEODESY AND RELATED FIELDS
Sofia, 06 – 08 November 2024

ЦИФРОВИ ДВОЙНИЦИ НА ГРАДОВЕ, БАЗИРАНИ НА ГЕОПРОСТРАНСТВЕНИ ДАННИ

Доц. д-р инж. Мила Коева (NL)

DIGITAL TWINS OF CITIES BASED ON GEOSPASTIAL DATA

Assoc. Prof. Dr. Eng. Мила Коева (NL)

ADRES OF THE AUTOR

Assoc. Prof. Dr. Eng. Мила Коева (NL)

University of Twente, ITC Faculty / Department of Urban and Regional Planning and
Geo-information Management (PGM) | ITC building, T: +31 (0)53 4874410

E mail: m.n.koeva@utwente.nl

**ПРИЛОЖЕНИЕ НА БЛИЗКООБХВАТНАТА ФОТОГРАМЕТРИЯ В
ИНВЕСТИЦИОННОТО ПРОЕКТИРАНЕ**

Проф. д-р инж. Пламен Малджански, УАСГ

APPLICATION OF CLOSE-RANGE PHOTOGRAMMETRY IN INVESTMENT DESIGN

Prof. Dr Eng. Plamen Maldzhanski

SUMMARY

The article examines the features and requirements for obtaining spatial data using the methods of close-range photogrammetry with the necessary accuracy for the purposes of investment design. The role of pixel physical size (GSD), angular coverage, and color depth is argued. The use of appropriate digital models to obtain a digital orthophoto with the required accuracy is justified and the important features to be considered when planning the acquisition are indicated. The necessary prerequisites for obtaining data with sufficient accuracy in three-dimensional vectorization are indicated.

Keywords: close-range photogrammetry, digital orthophoto, investment planning.

РЕЗЮМЕ

В статията се разглеждат особеностите и изискванията за получаване на пространствени данни чрез методите на блискообхватната фотограмметрия с необходимата точност за целите на инвестиционното проектиране. Аргументира се ролята на физическата големина на пиксела (GSD), ъгловото покритие и дълбочината на цвета. Обосновава се използването на подходящи цифрови модели за получаване на цифрово ортофото с необходима точност и се посочват важните характеристики, които трябва да се отчитат при планиране на заснемането. Посочват се необходимите предпоставки за получаване на данни с достатъчна точност при тримерно векторизиране.

Ключови думи: блискообхватна фотограмметрия, цифрово ортофото, инвестиционно планиране.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Развитието на методите и усъвършенстване на апаратните средства в блискообхватната цифрова фотограмметрия позволяват да се разшири приложението и в сфери, в които до този момент тя не бе често използвана. Такива са инвестиционните проекти. В инвестиционното проектиране важен момент е получаване на геометрична и семантична информация за обектите с необходимата точност. Най-често използваните мащаби в инвестиционното проектиране,

касаещи геодезическите дейности са 1:200 и 1:100. Изхождайки от необходимата и очаквана планова точност за тези мащаби може да се прогнозира необходимата позиционна точност в определяне на геометрията на обектите, която за М 1:200 по формула (1) е 4 cm. Във височинно отношение може да се очаква необходимостта от същата точност:

$$(1) \quad m = 0.2 \text{ mm}. 200 = 40 \text{ mm} = 4 \text{ cm}.$$

2. МЕТОДИ НА БЛИЗКООБХВАТНАТА ЦИФРОВА ФОТОГРАМЕТРИЯ

Методите на близообхватната цифрова фотограметрия могат да осигурят тази точност, ако постигнат пиксел с големина поне 8 cm (GSD). Това е така, защото в цифровата фотограметрия при стереометода се постига подпикселна точност. За да се постигне малък пиксел е необходимо да се вземат под внимание при планиране на заснемането няколко характерни елементи [2]:

Ъгловото покритие, "наблюдавано" от сензора, се нарича FieldView (FoV). В хипотезата на централна перспектива то може да се определи по следната формула:

$$(2) \quad FoV = 2 \cdot \arctan \frac{p}{2f},$$

където p е размера на сензора по посоката на изчисляване на FoV, а f е фокусното разстояние на камерата. Вижда се, че отпечатъкът върху земята на рамката на изображението е тясно свързан с относителната височина и FoV.

Докато при аналоговите камери познаването на фокусното разстояние е достатъчно, за да се направи полетен план, в съвременните цифрови въздушни камери (DAC) комбинацията от фокусно разстояние, размер на пикселите (обикновено квадрат) и сензорния формат определят неговия оперативен профил. Всъщност, в DAC тези параметри може да се различават от един прототип на камера до друг. Най-важният параметър сега е физическата големина на пиксела (GSD), който се определя по формулата:

$$(3) \quad GSD = \frac{z}{f} CCD \text{ pixel size},$$

като z е височина на летене над земята. Установено е, че за постигане на позиционна точност GSD = 10 cm, летателната височина над земната повърхност може да варира от 938 m до 2000 m. За изчисляване на абсолютната височина над морското ниво (ASL) на полета е необходимо да се знае височината на терена или по-добре средната височина над нивото на земята (AGL) [1]. Следователно, след като е известна височината на терена и височината на летене над земята, необходима за гарантиране на дадено GSD, е възможно да се изчисли ASL по следната формула:

$$(4) \quad ASL = H = Z + AGL.$$

Дълбочината на цвета е втората изключително важна характеристика за фотограметричните камери. От количеството нива на квантоване, с които се създава растерното изображение, се определя възможността за детайлно разглеждане на сенките и полусенките на обектите. При цифровата обработка на аероснимките този показател е в основата както на стратегията за автоматичен избор на свързващи точки между съседните стереодвойки, така и в основата на критериите за създаване на съвкупността от точки, чрез които се формира TIN моделът на релефа. Колкото битовото описание на пиксела е по-високо, толкова фотограметричните качества на получената снимка и постиганата точност при нейната обработка са по-високи. Болшинството съвременни цифрови камери позволяват получаване на снимки с дълбочина на цвета повече от 8 бита. Важно е да се подчертае, че при проекти, при които се изисква висока геометрична разделителна способност, както в случая с използване на

БЛС (UAS), цифрови модели, необходими за изготвяне на цифрово ортофото трябва да са в състояние да осигурят достатъчна точност при оценката на AGL.

2.1. Точност на цифровите модели

Гъстотата на точките, които моделират релефната повърхнина, определя точността на модела. В сила е теоремата на Котелников (критерий на Нойкуист) [3], която определя точността на едно дискретно представяне от едно изходно аналогово (непрекъснато). Тя гласи: "Един аналогов сигнал (разбирай теренната повърхнина) се дискретизира (представя като съвкупност от краен брой елементи) тогава и само тогава, когато стъпката (апертурата) на дискретизация е по-малка или най-много равна на максималната амплитуда на сигнала.

$$(5) \quad \Delta t \leq 2H.$$

Това означава, че при набиране на данни за теренната повърхнина е важна както гъстотата на дискретните елементи (в частност теренни точки), така и тяхното разположение (топология). В това отношение системите за цифрова фотограметрия предлагат функции за класификация на облака от точки на базата на използване на филтри, така че за генериране на определени повърхнини да се използват определени класове точки. По този начин се увеличава възможността за контролиране качеството на цифровите модели и съгласуване на фасетката (елементарната повърхнина) с гъстотата на дискретните елементи (примитивите от точковия облак). В резултат на експериментални изследвания е установено, че ако за представяне на теренната повърхнина се използва квадратна мрежа със страна D и разстоянието между разпръснатите точки е $Scp.$, то за да има адекватност между реалната повърхнина и моделната е необходимо да е в сила зависимостта :

$$(6) \quad \frac{Scp}{5} \leq D \leq \frac{Scp}{3}.$$

Горната граница на D се използва при равнинен терен а долната при хълмист.

2.2. Особености при планиране на заснемането

Придобиването на една и съща сцена от две различни гледни точки и по-точно от поне две метрични снимки позволява стереоскопично 3D виждане. Разстоянието B между перспективните центрове на две последователни снимки в смисъл на движението на самолета се нарича базова линия. Чрез промяна на дължината на базовата линия, различна надлъжна (т.е. по посока на FL), може да се постигне припокриване. Традиционните стойности на припокриване варират от 60% до 80% [4]. Припокриване от 80% обикновено се избира в градските централни райони, за да проникнат по-добре лъчите в образуваните своеобразни каньони. В традиционния подход (или нормален случай) теоретичните точности (σ_x , σ_y) по двете оси (X , Y), които са приблизително успоредни на земята, се определят по формули [2]:

$$(7) \quad \sigma_x = \sqrt{\left(\xi \cdot \frac{Z}{f} \cdot \frac{Z}{B} \cdot \sigma_{p\xi}\right)^2 + \left(\frac{Z}{f} \cdot \sigma_\xi\right)^2} \quad \sigma_y = \sqrt{\left(\eta \cdot \frac{Z}{f} \cdot \frac{Z}{B} \cdot \sigma_{p\xi}\right)^2 + \left(\frac{Z}{f} \cdot \sigma_\eta\right)^2},$$

където σ_ξ и σ_η са преценените точности на измерванията на координатите на изображението (ξ, η), $\sigma_{p\xi}$ е точността на измерване на паралакса, Z е относителната височина на летене над земята, f е фокусното разстояние на приетата камера и B е базата между последователни центрове на проектиране. Теоретичната точност (σ_z) по вертикалната посока (Z) може да бъде определена като:

$$(8) \quad \sigma_z = \frac{Z^2}{f \cdot B} \cdot \sigma_{p\xi}.$$

От горните формули се вижда, че при B и f константи малки изменения в Z пресичането на съответните лъчи ще бъде слабо и по този начин точността в посоката на гледане ще е малка. С други думи, колкото по-голямо е надлъжното припокриване, толкова по-голяма е грешката по Z компонента.

Практическият аспект, който може да контролира правилното стереоскопично придобиване на две последователни кадри, е времето за придобиване. В действителност, при въздушни проучвания ролята на импортиране се поема от скоростта на затвора и времето за експониране. Първият се отнася до броя отделни кадри, които могат да се придобият за единица време (обикновено се изразява в "кадри на секунда" – FPS). Например, големият кадър DAC UltraCamD, произведен от Vexcel Co., предлага честота на кадрите от повече от 1 FPS.

Всеки сензор има своя собствена стойност на честотата. Скоростта на затвора се отнася до времето, за което е изложен всеки отделен кадър. Скоростта на кадрите и скоростта на затвора налагат минималното време, необходимо за заснемане на две последователни кадри. След като надлъжното припокриване е фиксирано колкото по-висока е относителната височина, толкова по-дълъг е интервалът на снимане. Настройката на тези два параметъра (честота на кадрите и скоростта на затвора) е много важна, особено при полети с ниска надморска височина или в полети с големи припокривания.

2.3. Особености при изпълнение на технологичните схеми в блискообхватната цифрова фотограметрия

При технологични схеми на блискообхватната цифрова фотограметрия, при които се използва корелационен анализ за разпознаване на идентични точки от припокриващи се изображения и регистриране на част от елементите на външното ориентиране при формиране на изображенията е характерно позиционната точност да се формира от начина на разпознаване на идентичните точки.

При цифровото ортотрансформиране от съществено значение е правилното определяне размера на елементите от матрицата, които съответстват на размера на елементарния участък за трансформиране от местността Δp [5]. Определянето на Δp най-често е обвързано с пространствената разделителна способност на суровото изображение и мащабът, в който се изработва ортоплана. Така например "Размерът на елементарния участък за трансформиране от местността" се определя по формулата:

$$(9) \quad \Delta p = \Delta \cdot m,$$

където: Δ - геометрическото разрешение на суровото изображение;

За да е възможно създаването на ортотрансформирано изображение по цифрови аероснимки с помощта на определен математически апарат и алгоритми е необходимо изпълнението на следните две условия:

- Да са известни елементите на външно ориентиране за всяка от единичните снимки;
- Да е наличен цифров модел на релефа в пределите на снимките.

Следователно точността на цифровото ортофото ще е в зависимост от точността на определяне на ЕВО (елементите на външното ориентиране) и точността на цифровия модел. Пространственото разрешение на цифровото изображение се свързва с разрешението на непрекъснатото изображение чрез зависимостта:

$$(10) \quad \Delta \xi = \frac{1000}{2R} [\mu m],$$

където пространственото разрешение R на непрекъснатото изображение се измерва в брой линии на (lin/mm).

Както е известно пространственото разрешение на непрекъснатото фотографско изображение зависи от разрешението на обектива и от разрешението на емулсията. От практическа гледна точка се ползва известно презапасяване по точност, което се обосновава с

анализ на подпикелната точност на цифровите изображения, която обикновено се оценява на $0.7 \cdot \Delta\xi$. В съответствие с това практическата формула за определяна на стъпката на сканиране добива вида:

$$(11) \quad \Delta\xi = \frac{700}{2R} [\mu\text{m}].$$

Оценките по формула (11) дават съответно стойности на растера (таблица 1).

Таблица 2. Стойности на растера

R[lin/mm]	$\Delta\xi[\mu\text{m}]$
35	10.0
50	7.0
100	3.5
150	2.3

Получените оценки показват, че за да се получи точност, съизмерима с непрекъснатото изображение е необходимо да се ползва малък размер на стъпката на сканиране. Зависимостта, която свързва растера на сканиране и пространственото разрешение има вида:

$$(12) \quad \Delta X = m \cdot \Delta\xi = \frac{m \cdot 25.4}{1000 \cdot r} = \frac{H \cdot 25.4}{1000 \cdot f \cdot r},$$

където H е височината на летене над съответния обект, а f – фокусното разстояние на камерата, r е разрешението.

При планиране на заснемания за целите на инвестиционни проекти следва да се осигури подходящо ΔX , отговарящо на необходимата точност.

При тримерно векторизиране (при стереонаблюдение), за да се постигне планова и височинна точност в положението на обектите е необходимо да бъде постигнат GSD от порядъка на 8-10 см. При определяне на плановото положение на обекти от формиране на ортофотоплан физическата големина на пиксела следва да бъде 2 пъти по-малка (фиг.1). Удачно е при изготвяне на планове за вертикално планиране по данни от заснемания с близокообхватна фотограметрия да се използва съчетание от филтриран облак от точки и ортофотоизображение (фиг.2).

ОРТОФОТОПЛАН

координатна система: 2005-кадастрална
височинна система: Балтийска

квартали: 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 190 от КРП на гр. Силистра



М 1:1000

основно сечение на релефа 1м

Фиг. 12. Ортофотоплан, получен от близкообхватна фотограметрия за целите на инвестиционен проект



Фиг. 2. Съчетание от филтриран облак от точки и ортофотоизображение

3. ИЗВОДИ

- Близкообхватната цифрова фотограмметрия е подходяща за осигуряване на необходимата векторна информация за целите на инвестиционното планиране при осигуряване на подходяща теренна големина на пиксела (GSD), използване на подходящ сензор за създаване на оптимални дълбочинни карти (подходяща дълбочина на цвета) и подходящо съгласуване между гъстотата на дискретните елементи (стъпката на дискретизация) и размера на фасетката, използвана за създаване на цифровия модел.
- Векторизирането в планово положение може да се извършва върху ортофотоплан, при осигурен подходящ размер на пиксела за съответния мащаб.
- Подходящо улеснение е използването на комбинирани данни от филтриран точков облак и ортоизображение в случаите, когато не се използва тримерно векторизиране в системата за цифрова фотограмметрия при осъществяване на режим на стереонаблюдение.

4. ЛИТЕРАТУРА

1. Малджански, Пл. Прецизна близкообхватна фотограмметрия. 2017, <https://e-learn.uacg.bg/course/view.php?id=857>
2. Малджански, Пл. Цифрова фотограмметрия. 2017, <http://e-learn.uacg.bg/mmu/view/mmu/index.php?mid=101&id=1381>
3. Малджански, Пл. Близкообхватна фотограмметрия и лазерно сканиране. <https://e-learn.uacg.bg/enrol/index.php?id=636>
4. Малджански, Пл., "Close Range photogrammetry and Laser scanning. <https://e-learn.uacg.bg/course/view.php?id=651>

5. Luhmann, T., W. Tecklenburg– 3D Object Reconstruction from Multiple-Station Panorama Imagery - ISPRS Archive. 2004. Vol. XXXIV, part 5/W16.
6. Schneider, D., H.-G. Maas. Application and Accuracy Potential of a Strict Geometric Model for rotating Lines Cameras –ISPRS Archives. 2004. Vol. XXXIV, part 5/W16.
7. Klaus HANKE & Pierre GRUSSENMEYER Corfu, ARCHITECTURAL PHOTOGRAMMETRY: Basic theory, Procedures, Tools, September 2002 ISPRSCommission, <http://www3.itu.edu.tr/~seker/files/architectural-photogrammetry.doc>

АДРЕС НА АВТОРА

1. Проф. д-р инж. Пламен Малджански
Университет по архитектура, строителство и геодезия
бул. „Хр.Смирненски №1“, София 1046, Р. България
Тел. + 359 877779059
Maldjanp_fgs@uacg.bg

ИЗПОЛЗВАНЕ НА ФОТОГРАМЕТРИЧНИ ДРОНОВЕ ЗА НУЖДИТЕ НА АРМИЯТА

Доц. д-р инж. Димитър Петров, НВУ „ВТ“

USE OF PHOTOGRAMMETRIC DRONES FOR THE NEEDS OF THE ARMY

**Assoc. Prof. Ph.D., Eng. Dimitar Petrov, Vasil Levski National University,
V. Tarnovo**

SUMMARY

Providing troops with adequate volume and accuracy of geospatial data is essential to the successful planning and conduct of combat operations. This particularly applies to the combat use of artillery and missile troops. The complex activities related to the acquisition and delivery to the military headquarters and subdivisions of the necessary materials and arrays containing geospatial data for the theater of combat operations are called Topogeodesic provided to the troops.

Keywords: Geo-information provision, Unmanned aircraft systems, Digital photogrammetry, Artillery and missile troops.

РЕЗЮМЕ

Снабдяването на войските с подходящи по обем и точност геопространствени данни е от съществено значение за успешното планиране и водене на бойните действия. Това с особена важност се отнася за бойното използване на артилерията и ракетните войски. Комплексът от дейности, свързани с придобиването и доставката до войсковите щабове и подразделения на необходимите материали и масиви, съдържащи геопространствени данни за театъра на бойните действия се нарича топогеодезическо осигуряване на войските.

Ключови думи: геоинформационно осигуряване, безпилотни летателни системи, цифрова фотограмметрия, артилерия и ракетни войски.

1. СЪЩНОСТ И СЪДЪРЖАНИЕ В ОСИГУРЯВАНЕТО НА ВОЙКИТЕ С ГЕОПРОСТРАНСТВЕНИ ДАННИ

Снабдяването на войските с подходящи по обем и точност геопространствени данни е от съществено значение за успешното планиране и водене на бойните действия. По своето предназначение и съдържание, геопространствените данни трябва да осигурят възможност на командирите да получат конкретни и ясни отговори на следните въпроси: Къде се намираме ние, къде се намира противника, и неговите цели, които трябва да бъдат поразени, на къде трябва да се придвижваме и какви препятствия ще срещнем по време на нашето придвижване?

За постигането на тази цел в армията и войските са създадени специални органи и подразделения централно място, от които заема Военно-географската служба. Основната задача на тези специализирани звена е изпълнението на специализирани геодезически дейности, насочени към създаването на мрежи от геодезически пунктове, топографски и

специални планове и карти, придобиване на масиви от геопространствени данни в т.ч. и гравиметрични такива, и др.

Общият комплекс от осигуряване с геопространствени данни носи названието Геоинформационно осигуряване на армията и сухопътните сили. То условно може да се раздели на две основни направления:

- Първото направление е насочено към удовлетворяване нуждите на въоръжените сили, държавните органи и структури, отговорни за отбраната и националната сигурност, от географска информация (карти, схеми, анализи на терена, цифрова информация за местността и др.). Това направление, условно наречено Военно-географско осигуряване (ВГО), се развива и реализира със силите и средствата на Военно-географската служба;

- Второто направление е насочено към осигуряване на войските с актуална топогеодезическа информация, необходима за планиране и непосредствено водене на боя и стрелбата, особено на полевата артилерия. Това направление носи общото название топогеодезическо осигуряване (ТГО) и се изпълнява от специални армейски звена и структури.

Артилерията и ракетните войски са едни от основните потребители на топогеодезически данни в армията. По тази причина, с цел осигуряването на геодезически кадри, подготвени за изпълнението на поставените задачи пред Топогеодезическото осигуряване, във факултета по Артилерия ПВО и КИС към НВУ „Васил Левски“, е създадена специалност „Артилерийско инструментално разузнаване“ (АИР). В катедра „Геодезия“ към факултета се подготвят курсанти – бъдещи офицери – инженери по геодезия, фотограмметрия и картография.

При придобиването на Топогеодезическите данни за нуждите на артилерията и тук, както и за граждански нужди, се прилагат най-съвременните технологии и специална геодезическа апаратура (фиг. 1) такива като: GPS приемници, тотални станции, специални технически средства – бусоли, жироскомпаси и др. съвременния бой.



Фиг.1. Работа със съвременна геодезическа апаратура при ТГО на войските
Независимо от това обаче, изхождайки от особеностите и динамиката на

Ефективността от използването на тези технически средства е недостатъчна. Проблемът е, че използването на тази съвременна техника се базира на прилагането на стари и непроизводителни класически методи за измерване и изчислителна обработка. Този проблем рефлектира преди всичко по отношение на скоростта за получаването на крайните резултати и тяхното доставяне до крайния потребител и дълговечност в използването. В този смисъл, ако времето за получаването на координатите на пунктовете от РГО или обектите от кадастралната карта, при приложението им за граждански нужди, не е от съществено значение, то при водене на реални бойни действия времето за геодезическата подготовка на огневата позиция - т.н. „топогеодезически привързване“, получаването на координатите на противниковата цел, подготовката на данните за стрелба и т.н. са от изключително важно значение за успеха или неуспеха в боя.

2. СПЕЦИАЛИЗИРАНИ ФОТОГРАМЕТРИЧНИ ДРОНОВЕ, ПРЕДНАЗНАЧЕНИЕ И ОСНОВНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Усъвършенстването на безпилотните летателни системи (БЛС) в направление въздушно фотографиране и получаване на въздушни снимки, притежаващи специални качества, а така

също и развитието на фотограметричната технология в направление на нейната цифровизация създават нови предизвикателства пред органите призвани да осигуряват армията с високоточни, актуални и оперативни геопространствени данни. Това се отнася както по отношение на цялостното осигуряване на полосата за водене на бойните действия, така и за тактическата зона за разполагане на бойните редове на войските и особено на артилерията.

Възникването на безпилотните летателни апарати (БЛА), като системи за бойно използване, води началото си още от 1849 г., когато Австрия атакува Венеция с над 200 безпилотни балона, оборудвани с експлозиви.

В настоящия момент съществуват редица модификации от БЛА, притежаващи различни летателни, товароподемни и други възможности, които намират все по-широко приложение в качеството си на ударни и разузнавателни бойни средства. Особено място между всички тях, по отношение на геоинформационното осигуряване на войските обаче, заемат т.н. „фотограметрични“ дроне.

Под „фотограметричен дрон“ се разбира безпилотен летателен апарат снабден със специализирана фоторегистрираща и аеронавигационна апаратура, обединени в единна функционална система позволяваща:

- Провеждане на полети с цел въздушно фотографирание по предварително зададен маршрут;
- Въздушното фотографирание от различни височини, при различни проценти на застъпване на аероснимките и с различни ъгли на наклона на оптичната ос на аерофотоапарата;
- Регистрация на точните геодезически координати на центъра на обектива и ъгли на наклона на главната оптична ос в момента на експонацията.



Фиг. 2. Полет на фотограметричен дрон по предварително зададен маршрут с цел аерофотографиране на зона за заемане от артилерийска батарея в района на „Бештепе“ – гр. Шумен.

Предназначението на фотограметричните дроне е за изпълнение на задачи по аерофотографиране на определени територии или маршрути, с цел получаване на аерофотоснимки, пригодни за последваща фотограметрична обработка и формиране на високо точни и детайлни цифрови модели на земната повърхност DSM (Digital Surface Model) и цифрови модели на терена DEM (Digital Elevation Model), и ортофото изображения. Основното преимущество на цитираните по-горе фотограметрични продукти е тяхното цифрово представяне във вид на файлове с формати, достъпни за повечето софтуерни продукти, работещи с 3D данни – такива като Global Mapper например. Това разкрива изключително големи възможности за все по-широкото прилагане на цифрови технологии както при управление на маньовъра на войските, така и при планирането и управлението на огъня – особено от закрити огневи позиции.

От фотограметрична гледна точка към аерокамерите, монтирани на този тип БЛА, използвани за военни цели, се предявяват следните основни изисквания, които ги отличават от тези монтирани на обикновените разузнавателни дроне:

1. Да са метрични, форматни (frame) камери;

2. Да са снабдени с цифрови светочувствителни матрици с висока резолюция и най-малко 12-bit спектрална разделителна способност;

3. Обективът да осигурява получаването на снимки с минимални стойности на дисторзия и възможности за калибриране.

От друга страна към носителите на снимачна апаратура се предявяват следните специфични особености:

1. Да са снабдени с високоточна геопозиционираща и аеронавигационна апаратура – GPS/IMU;

2. Да позволяват управление в ръчен и автоматичен режим по предварително зададен маршрут;

3. Да осигуряват предаване на снимковите изображения от камерата до пункта за обработка в online режим по време на полета;

4. Аерокамерата да е монтирана на специална жироустойчива Gimbal люлка, позволяваща въздушното фотографиране при различни ъгли на наклона на главната оптична ос.

3. ВЪЗМОЖНОСТИ НА БЛС ЗА ИЗПЪЛНЕНИЕ НА ЗАДАЧИТЕ ПО ТГО НА АРТИЛЕРИЯТА

За нуждите на войските могат да се прилагат два подхода по отношение на организацията и изпълнението на въздушното фотографиране – тографирането с БЛА:

Първи подход – Планово аерофотографиране на територията на собствените войски;

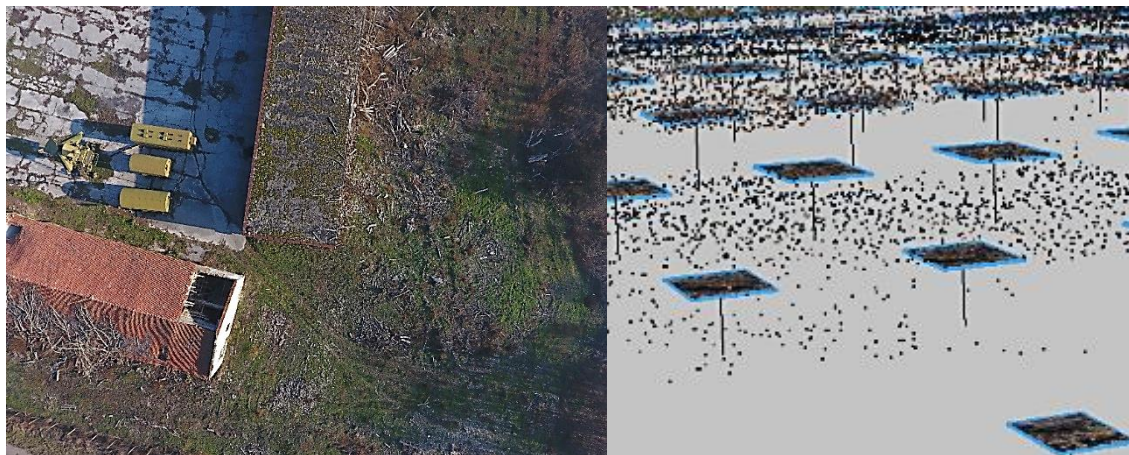
Втори подход – перспективно аерофотографиране – за територията на противника, изпълнявано без пресичане на линията на съприкосновение.

И двата подхода имат своята приложимост в зависимост от конкретната бойна обстановка. Първият подход (фиг. 3) е целесъобразно да се прилага както преди началото, така и по време на водене на бойните действия. Поради факта, че в този случай БЛА лети над собствената територия, вероятността за неговото поразяване от противника е сравнително малка. Вторият подход (фиг. 4) е целесъобразно да се използва за откриване и координиране на цели, разположени в дълбочина на противниковата отбрана преди началото на артилерийската подготовка. В този случай с цел съблюдаване на изискването за стриктност на топогеодезическата подготовка, а така също и с цел предпазване от поразяване и унищожение, БЛА лети над собствената територия, но фотографира в дълбочината на противниковата отбрана. Дълбочината на откриване на целите и ефективността на този тип фотографиране е в зависимост от получавания GSD на перспективните аероснимки.

Първи вариант. Въздушното фотографиране на собствена територия.

Този вариант е приложим при изпълнение на задачи по топогеодезическото привързване на елементите от бойния ред такива като: огневи позиции, наблюдателни пунктове, постове за наблюдение и др. При него летателното средство облита представляващата интерес територия, която чрез аерофотографирането се покрива с поредица планови снимки (фиг. 3). В резултат на тяхната фотограметричната обработка се създават редица цифрови продукти, съдържащи актуална към момента на фотографиране, подробна и високо точна топографогеодезична информация – ортофотоизображения и цифрови модели на релефа.

Създаваните цифрови продукти позволяват с достатъчна точност – 10-20 cm, да бъдат определени не само координатите на елементите от бойния ред, но и тези на които подробна точка от земната повърхност. Това е предпоставка за осигуряване на мобилност и динамика в маньовъра на огневите средства.



Фиг. 3. Планово аерофотографиране на собствена територия

Опирайки се на опита, получен при все по-широкото използване на БЛА за създаване на различни модели на земната повърхност практическото изпълнение на този вид аерофотографиране по същество представлява добре отработена и изучена практика.

Втори вариант. Въздушното фотографиране на противникова територия.

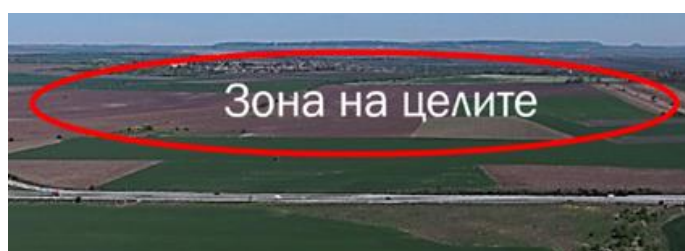
Този вариант е приложим при изпълнение на задачи по топогеодезическото привързване на обекти, представляващи цели за поразяване такива като огневи установки, командни пунктове, фортификационни съоръжения, заграждения и т.н., разположени на противникова територия в зоната за огнево въздействие на артилерията:

По разбираеми причини, успешното прелитане на БЛС над зоната на противника е свързано със значителни рискове, което категорично води до неприложимост на разгледания по-горе вариант за планово въздушно фотографиране.

Именно тук се проявяват достоинства, които предлагат БЛА и цифровата фотограметрична технология, а именно – възможност за добиване и фотограметрична обработка на перспективни снимки, т.е. снимки, получени за зоната на интерес без пресичане на линията на съприкосновение с противника.

Идеята е следната:

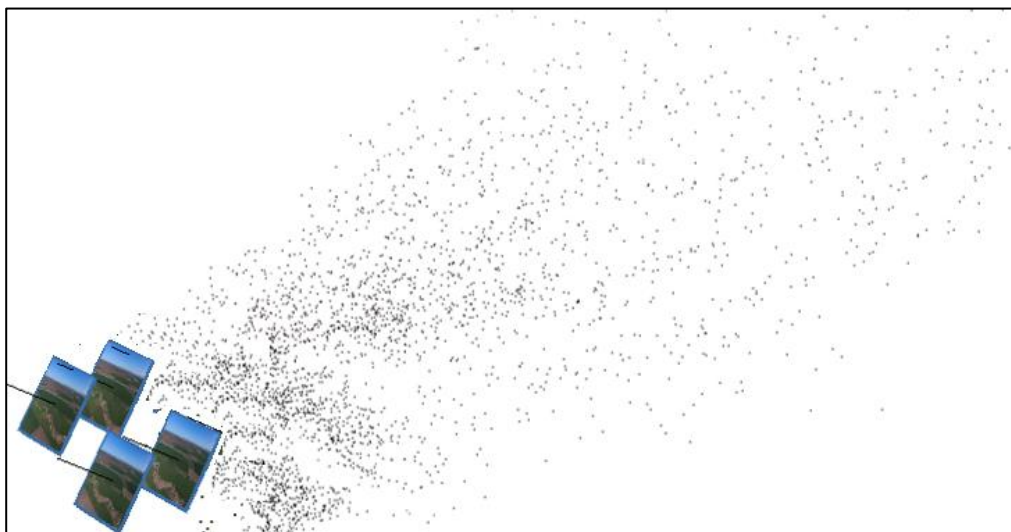
1. С помощта на БЛА, при подходящи параметри на полета, се изпълнява перспективно аерофотографиране в посока към противника, без да се преминава линията на съприкосновение с него (фиг. 4). В резултат се придобиват стереодвойки аерофотоснимки на противниковата територия с различна дълбочина на обхвата.





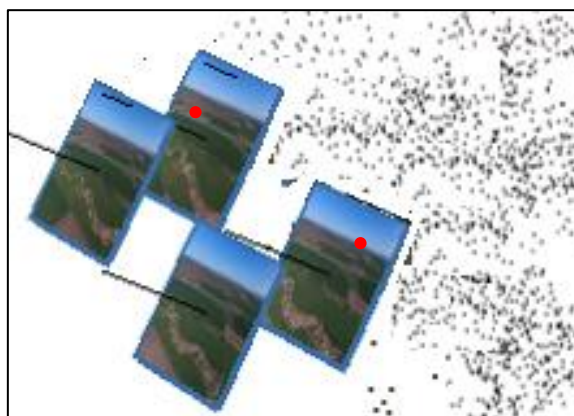
Фиг. 4. Перспективно аерофотографиране на противникова територия

2. По известните елементи на външно ориентиране се извършва точно взаимно ориентиране на получените стереодвойки снимки (фиг. 5), с което се създават условия за приложение на правата фотограметрична засечка.



Фиг. 5. Облак, свързващ (Tie) точки, получен при взаимно ориентиране на стереодвойка перспективни снимки

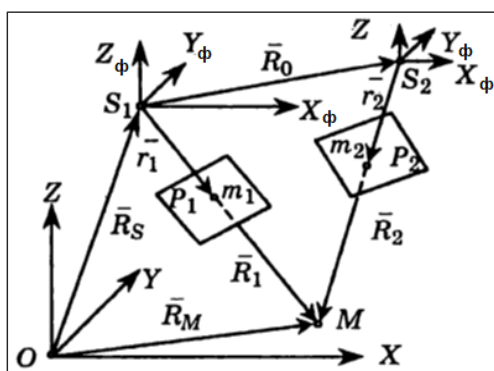
3. Върху получените аерофотоснимки (въздушни снимки) се дешифрират противниковите обекти, представляващи интерес за огнево поразяване от артилерията и се измерват техните образни координати на т. m_1 и m_2 (фиг. 6);



$m_1(x_1, y_1)$
 $m_2(x_2, y_2)$

Фиг. 6. Измерени образни координати на целите върху стереодвойка перспективни снимки

4. Прилагане на формулите на правата фотограметрична засечка (фиг. 7) и определяне геодезическите координати на съответната цел по нейните измерени образни координати.



Фиг. 7. Принцип на правата фотограметрична засечка и формули нейното решаване

$$\begin{aligned} X_M &= X_{SI} + N_1 X_{\phi} \quad m1 = X_{SI} + B_X + N_2 X_{\phi} m2 \\ Y_M &= Y_{SI} + N_1 Y_{\phi} \quad m1 = Y_{SI} + B_Y + N_2 Y_{\phi} m2 \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} Z_M &= Z_{SI} + N_1 Z_{\phi} \quad m1 = Z_{SI} + B_Z + N_2 Z_{\phi} m2 \\ X_{\phi m} &= a_1 \cdot x_m + a_2 \cdot y_m - a_3 \cdot f \\ Y_{\phi m} &= b_1 \cdot x_m + b_2 \cdot y_m - b_3 \cdot f \\ Z_{\phi m} &= c_1 \cdot x_m + c_2 \cdot y_m - c_3 \cdot f \end{aligned} \quad (2)$$

където:

- X_M, Y_M, Z_M – местни (геодезически) координати на т. М;

- x_m, y_m – образни координати на т. m_1, m_2 ;

- a_i, b_i, c_i – направляващи косинуси - за функция на елементите на взаимно ориентиране за лявата и дясната снимка.

4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ

За проверка на приложимостта на перспективното аерофотографиране на недостъпни територии за нуждите на артилерията, в катедра „Геодезия“ на Факултета по Артилерия ПВО и КИС – гр. Шумен към НВУ „Васил Левски“ е направено изследване в рамките на дипломно проектиране в областта на разглежданата проблематика.

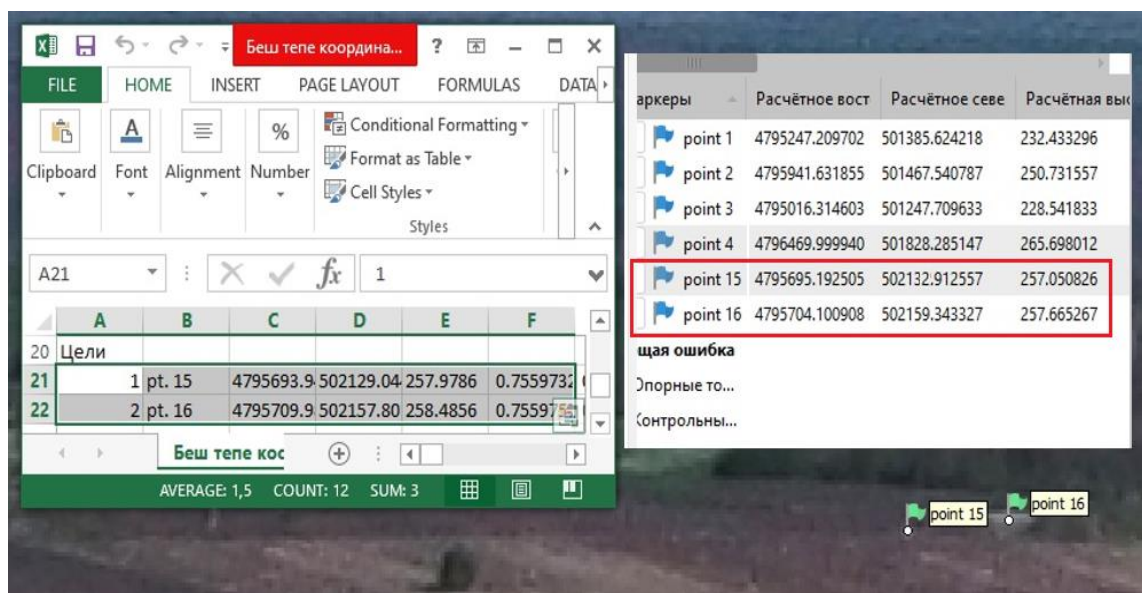
Проведеният експеримент включва следните основни моменти:

1. Материализиране на „противниковите цели“ в дълбочина на противниковата отбрана с размери 60x60 cm и определяне на техните контролни координати с помощта на GPS;
2. Перспективно аерофотографиране (въздушно снимане);
3. Цифрова фотограметрична обработка на получените аерофотоснимки (въздушни снимки).

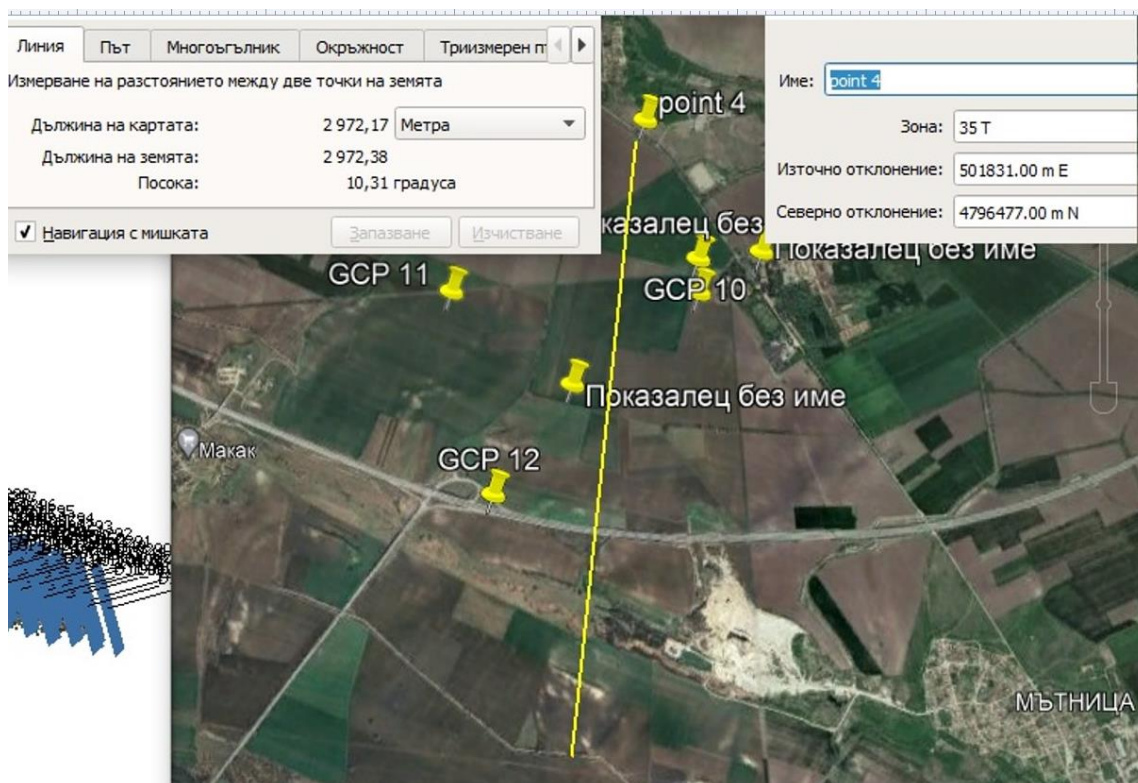
За нуждите на експеримента са придобити перспективни снимки с безпилотен летателен апарат – индустриален фотограметричен дрон DJI Phantom 4 Pro.

Аерофотографирането е извършено от максимално допустимата височина за полет на БЛА – 120 m, при наклон на камерата – 51.5°. Кадрите на получените снимки обхващат територия с дълбочина до няколко километра (фиг. 4). Основните моменти от процеса на

фотограмметричната обработка, изпълняван с цел определяне координатите на целите са показани на фиг. 8 и 9.



Фиг. 8. Измерване на цели № 15 и № 16



Фиг. 9. Дълбочина на координиране в противниковата отбрана с БЛА „Phantom 4 Pro“

Оценка на получените резултати – сравнение на координати на точките, получени чрез фотограмметрични измервания върху перспективни аероснимки на дълбочина 3 km и високоточни GPS измервания (табл. 1).

Таблица 1. Оценка на получените резултати

№ цел	Координати измерени по фотограметричен способ (m)		Координати измерени с помощта на GPS система (m)		Координатни разлики (m)	
	X ₁	Y ₁	X ₂	Y ₂	X ₁ - X ₂	Y ₁ -Y ₂
1	502132.9	4795695.2	502129.0	4795693.9	3,9	1.3
2	502159.3	4795704.1	502157.8	4795709.9	1,5	-5,8
3	501828.3	4796470.0	501831.0	4796477.0	-2,7	-7.0

5. ИЗВОДИ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитието на цифровата фотограметрична технология като метод за получаване на геопространствена информация за местността, в комбинация с използването на БЛА – фотограметрични дроне, притежава следните изключително важни предимства по отношение на нейното приложение за нуждите на армията:

Първо. Оперативност и своевременност. Добиването на аерофотоснимки, с помощта на БЛА, и тяхната обработка с високо производителните фотограметрични станции позволява получаването на изключително актуални (почти в online) режим геопространствени данни. Това води до значително подобряване на показателите, свързани с изпълнението на изискването за своевременност на топогеодезическото осигуряване на войските;

Второ. Скритност при осигуряване с геопространствени данни за обекти, разположени дълбоко в тила на противника. Възможността на цифровата технология за обработка на аерофотоснимки с ъгли на наклона по-големи от общоприетите и използването на безпилотни летателни апарати позволяват перспективно аерофотографиране на противникова територия без нарушение на линията за съприкосновение;

Трето. При наличието на подходящи аерофотоснимки и фотограметричен софтуер цифровата фотограметрична технология може да бъде алтернатива на използването на класическите линейно-ъглови методи за топогеодезическо привързване – такива като засечки и ходове, а така също и GPS определенията с всички произтичащи от това преимущества.

6. ЛИТЕРАТУРА

1. Гордън, П. „БЛА във Великобритания“. „Геомедия“, 2013, 3
2. Петров, Д. И, Михайлов П. М. „Съвременни технически средства и технологии за събиране на геопространствени данни за местността“. Издателство ШУ „Еп. Константин Преславски“. 2014 г.
3. Ръководство за бойната работа на топогеодезичните подразделения на ракетните войски и артилерията на сухопътните войски. София. Военно издателство. 1987 г.
- 4 Топогеодезична подготовка на ракетните войски и артилерията на сухопътните войски- Военно издателство София 1986 г.

АДРЕС НА АВТОРА

Доц. д-р инж. Димитър Петров
 Национален Военен Университет „Васил Левски“, гр. Велико Търново
 Гр. Варна, ул. „Каймакчалан“ № 7
 Е-mail: petrov_2@abv.bg
 Моб.: +359 887 928412.

XXXIV INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON
MODERN TECHNOLOGIES, EDUCATION AND PROFESSIONAL PRACTICE IN
GEODESY AND RELATED FIELDS
Sofia, 06 – 08 November 2024

НОВОСТИ В LiDAR ТЕХНОЛОГИИТЕ НА RIEGL, АВСТРИЯ

Инж. Петър Тодоров, ИОЕС ЕООД

NOVELTIES IN THE LIDAR TECHNOLOGIES OF RIEGL, AUSTRIA

Eng Peter Todorov, IOES, Ltd

SUMMARY

Ground-based, mobile, airborne, including unmanned and bathymetric, LiDAR laser scanning systems provide innovative technology that provides different professionals with a wide range of applications. Although these devices have been commercially available for twenty years, their application and adoption in most industries is still in its infancy. LiDAR manufacturers continue to improve the process automation, accuracy, range, efficiency, etc. of LiDAR devices, but ultimately it will be up to the specialists in the various application areas to further the ability to work with the data streams, coming from these systems. Here we will explain what *RIEGL* LiDAR laser scanning is and can offer in capturing and further processing data in most application areas for 2024 - most recently presented at the Intergeo 2024 exhibition in Stuttgart, Germany.

Keywords: ground-based, mobile, airborne, unmanned, bathymetric LiDAR laser scanning systems.

РЕЗЮМЕ

Наземните, мобилните, въздушните, в това число безпилотните и батиметричните, LiDAR лазерни сканиращи системи предоставят иновативна технология, която осигурява на различните специалисти широка гама от приложения. Въпреки че тези устройства са търговски налични от двайсетина години, тяхното приложение и усвояване в повечето индустрии все още са в крехка възраст. LiDAR производителите продължават да подобряват автоматизацията на процесите, точността, обхвата на действие, ефективността и пр. на LiDAR устройствата, но в крайна сметка от специалистите в различните области на приложение ще зависи по-нататък способността за работа с информационните потоци от данни идващи от тези системи. Тук ще обясним какво представлява и какво може да предложи *RIEGL* LiDAR лазерното сканиране при заснемането и по-нататъшната обработка на данните в повечето области на приложение за 2024 г. — последно представени на изложението Intergeo 2024 в Щутгарт, Германия.

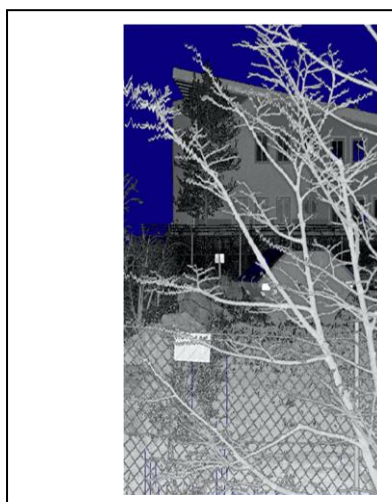
Ключови думи: наземни, мобилни, въздушни, безпилотни, батиметричните LiDAR лазерни сканиращи системи.

1. ОБЩА ИНФОРМАЦИЯ

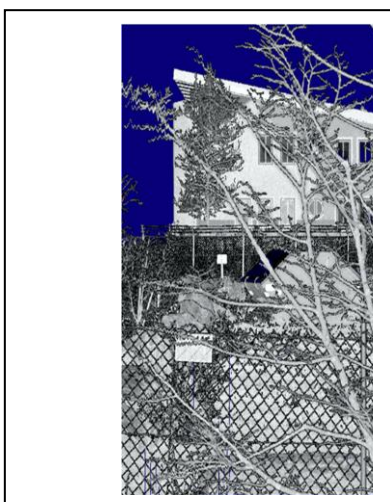
LiDAR — **Light Detection And Ranging** (откриване на отразена светлина и измерване на разстояние) представлява активна дистанционна технология за наблюдение, която използва

оптико-електронни измервания на отразената светлина (в случая лазерна) за определяне на разстояние (Young, 2006). При импулсните сензори разстоянието до различните обекти се определя от времето на закъснение между излъчения и отразения лазерен импулс. Точността и прецизността при различните сензори, на база само на единично измерване, варира от няколко милиметра до няколко сантиметра. Лазерните сканиращи системи могат да се онагледят като свърхбързи базорефлекторни геодезически тотални станции – свърхбързи, защото могат да излъчат и приемат вече и милиони импулси по същия брой направления за една секунда. Резултатът представлява така наречения “облак от точки”, където всяка точка е описана със своите пространствени координати **и не само**. На базата на получения точков модел може да бъде генерирана с изключителна прецизност повърхнината на изследвания обект. През последното десетилетие импулсните лазерни сканиращи системи постигнаха много голям напредък в своето развитие и намериха добър прием в различните индустрии. Тук ще се спрем само на най-новите LiDAR системи на фирмата “*RIEGL*” [4] от Австрия, като най-успешно развиващ се производител и все още ненадминат в реалновременната обработка на резултатите от сканирането – по-долу кратко описание на важни характеристики:

Относителната отразателна способност — Последните иновации в LiDAR технологията на *RIEGL* проправиха пътя за получаване на допълнителна информация едновременно с всяко лазерно измерване. Важно е сега тук да се разберат иновациите, които дават възможност за реалновременното обработване и записване на тази допълнителна информация. Фотографията, получена едновременно с LiDAR данните, също представлява допълнителен източник на информация за използване при анализиране на повърхностните характеристики и други точки на интерес. Калибрираната амплитуда на сигнала (наречена интензитет) и отразяващата способност (наречена рефлексивност) дават възможност да се отделят стойности от обхвата на сканираната област, което от своя страна позволява материалите да бъдат класифицирани въз основа на информацията за относителната (за основа служи бяла цел) отразателна способност на различните обекти [1].



Фиг. 1. . Лазерна снимка (скан) по интензитет на сигнала



Фиг. 2. Лазерна снимка (скан) по рефлексивност на сигнала

Encoding by calibrated amplitude
(0 dB to 50 dB above detection threshold)
Brightness decreases from near objects to far objects

$$A_{dB} = 10 \cdot \log \left(\frac{P_{echo}}{P_{DL}} \right)$$

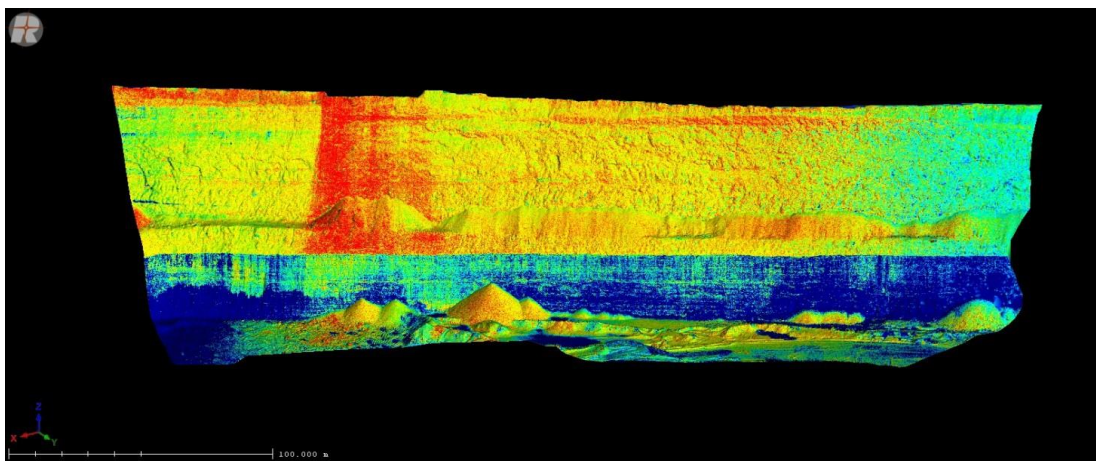
$A_{dB} \dots$ calibrated amplitude [dB]
 $P_{echo} \dots$ echo signal power [W]
 $P_{DL} \dots$ detection limit [W]

Encoding by reflectance (-20 dB to 3 dB, with respect to diffuse white target)
Brightness independent of object distance.

$$\rho_{rel,T} = A_{dB,T} - A_{dB,White}(R_T)$$

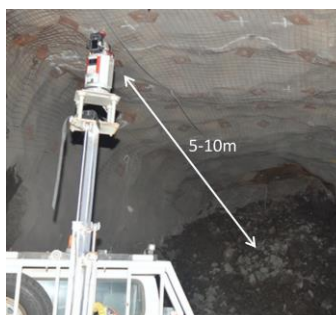
$R_T \dots$ target range

Фиг. 3. Определения

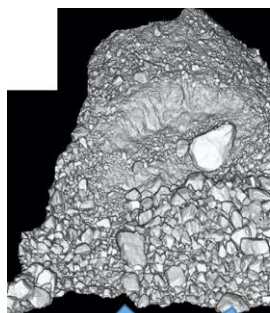


Фиг. 4. Част от скан на въглищна мина, допълнително оцветен на база рефлексивност на обектите

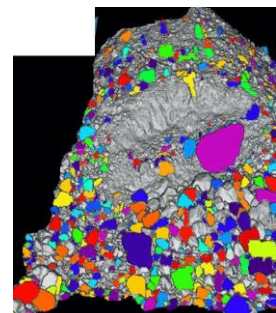
Този метод на класификация на материалите се използва успешно в ситуации, при които традиционните методи биха изисквали твърде много време, за да работят ефективно. Типът на материала, който представлява интерес, след като бъде определена относителната му стойност на отражение, може да се филтрира, за да се извлече информация за местоположението на един тип материал. Това важи за всякакви обекти, които определят или са част от дадена повърхност. Както ще видим по-нататък, отражателната способност на обектите като 16 битово полутоново изображение ще легне в основата на **автоматичната регистрация** (събирането на отделните сканове в единен точков модел в реално време).



Фиг. 5. Позиция на сканиране

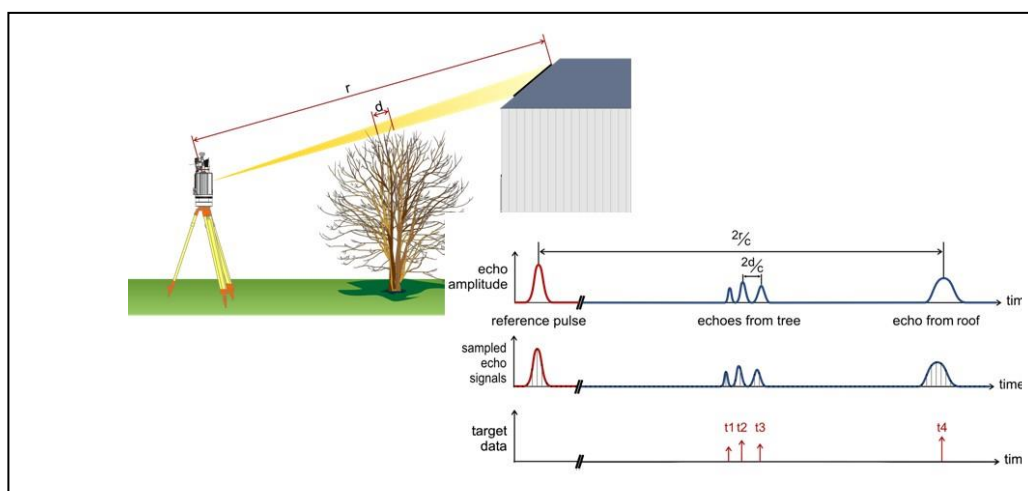


Фиг. 6. Скан по рефлексивност

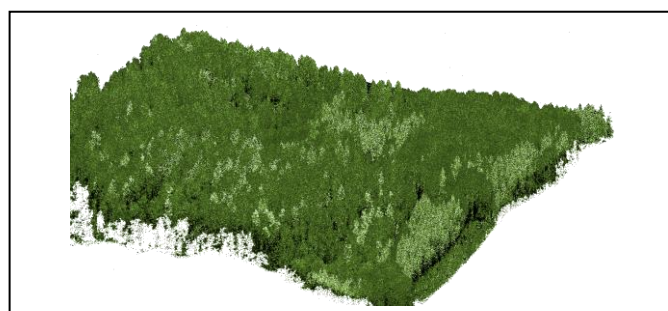


Фиг. 7. Скан оцветен по големина на фракцията

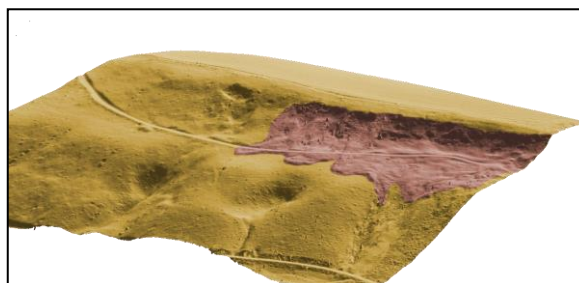
Реалновременна обработка на вълновата форма на сигнала — Лазерните скенери от V-серията на *RIEGL* използват усъвършенствана технология за обработка на сигнала, наречена онлайн или реалновременна обработка на сигнала. Тази технология дава възможност в реално време, на борда на самия скенер, да се извърши пълен анализ на формата на вълната, на всеки излъчен и върнат лазерен импулс и строго многоцелево откриване и заснемане на обектите, без необходимостта от допълнителна последваща обработка на данните. Всеки излъчен лазерен импулс може да срещне множество обекти по своя пряк път. Технологията на *RIEGL* дава възможност за изчисляване и регистриране на всеки обект, с който се среща или засича всеки отделен лазерен лъч. Онлайн обработката на вълновата форма позволява да се определи разстоянието до всеки обект, частично засегнат от един лазерен импулс, или иначе казано, по направлението на един лазерен импулс можем да заснемем до 15 цели.



Фиг. 8. Реалновременна обработка на вълновата форма на 1 бр. изл. импулс = 4 бр. заснети цели



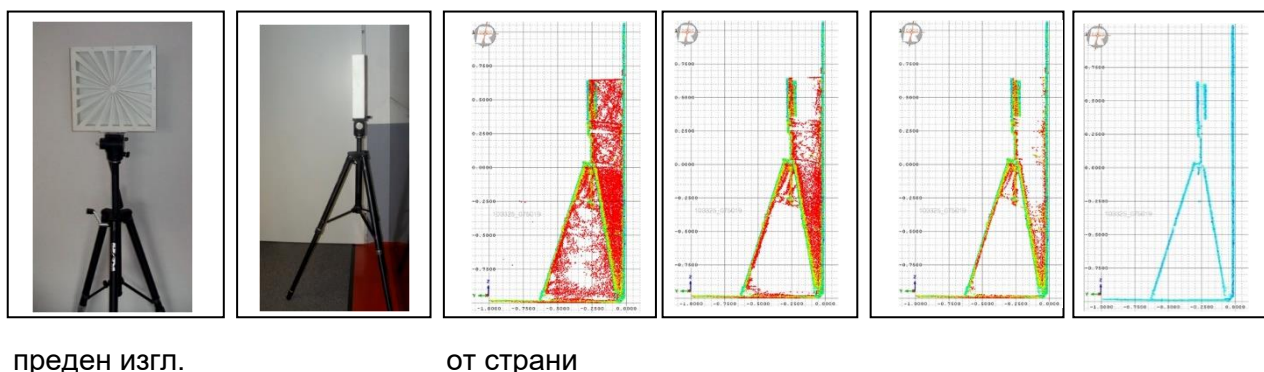
Фиг. 9. Оцветена лазерна снимка на гора



Фиг.10. Гол терен след премахване на растителността

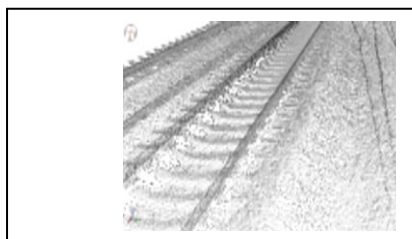
При повторно сканиране след едногодишен интервал от време се установява и бърз ерозиен процес.

Реалновременна обработка на отклоненията във вълновата форма на отразения сигнал – това е друга много важна характеристика на лазерните сканиращи системи на *RIEGL*, която дава възможност да бъдат изчистени “шумовете” в точковия облак.



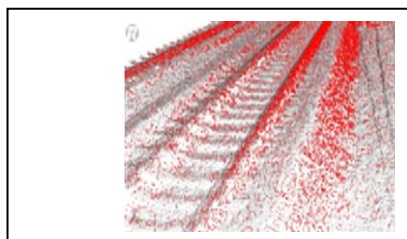
Фиг. 11. Тестов панел
Фиг. 12. Тестов панел
Фиг. 13. $dev_{unlimited}$
Фиг. 14. $dev_{max} = 50$
Фиг. 15. $dev_{max} = 25$
Фиг. 16. $dev_{max} = 6$

Практиката показва, че скенерите, които не контролират вълновата форма на отразения сигнал дори и при последваща обработка, показват резултати от рода на $dev_{max} = 50$, в най-добрия случай — $dev_{max} = 25$, за разлика от скенерите на *RIEGL*, които работят с $dev_{max} = 6$ и по-добра ($dev = deviation$ или отклонение). Дори ако разстоянието между две цели е твърде малко, за да бъдат еднозначно разпознати два върнати сигнала, то се обработва ценната информация от формата на сигнала на връщащите се импулси. Това позволява да се разграничи дали върнатият сигнал произлиза от една цел или от две близки цели. Определени прагови стойности по отношение на информацията за формата на импулса могат автоматично да премахнат повечето „невалидни“ точки и да запазят само надеждните „истински“ цели. Така на практика се получава един прецизен точков модел на изследваната повърхност.



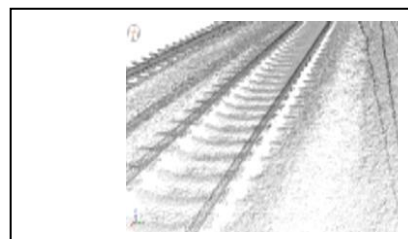
Фиг. 17.

Оригинален обхват данни от сканиране при бл. 90 м ъглова резолюция 125 сс



Фиг. 18.

Автоматичен избор на „невалидни“ точки



Фиг. 19.

Данни след елиминирание на „невалидните“ точки

Най-новите разработки на *RIEGL* – при наземните скенери VZ-400i, VZ-600i, VZ-2000i и VZ-4000i (с обхват на действие респективно 800, 1000, 2500 и 4600 m) предлагат авангардни 3D системи за лазерно сканиране, които съчетават в себе си иновативна нова обработваща процесорна архитектура и интернет свързаност заедно с най-новата технология LiDAR за обработка на сигналите. Потокът от данни в реално време е активиран чрез две платформи за двойна едновременна обработка:

- специализирана система за обработка за едновременно получаване на сканирани данни, данни от изображения, реалновременна обработка на формата на вълната и други системни операции;

- втора платформа позволява **автоматична регистрация** (събиране на отделните сканове в единен точков модел) на борда на скенера, **георефериране** на база данни от RTK GNSS и пълен анализ, които действия се извършват **автоматично и паралелно**.

При подготовката за регистриране на нова позиция, данните от предходното сканиране се коригират за отклонения във формата на сигнала чрез така наречения „ръбест“ шум. Същите подготвени данни чрез една равномерна пространствена растеризация на средата се извеждат към един регулярен набор от данни, който се нарича **воксел** набор от данни. Тук един воксел обикновено включва в себе си множество точки от точковия облак. **Всеки воксел съдържа рефлексивността (отразяващата способност)** на точките, от които е съставен и така получава „стойност на функцията“ рефлексивност. По този начин този набор от вокселни данни може да се разбира като "пространствен сигнал" и представлява основата за преход от пространствената зона към спектралната област чрез Фурие трансформация, която от своя страна позволява избирателна независима ротация и транслация. С тази процедура от две стъпки се постига високо прецизно, автоматично последователно регистриране на сканираните данни [2].

Интегрираните сензори за ориентация MEMS (Micro Electro - Mechanical Systems) като IMU (инерциално измервателно устройство), 3-осов магнитометър (компас), 3-осов акселерометър, 3-осов жирокоп и барометър се използват за оптимален избор на референтни данни и по този начин дават възможност за автоматизирана регистрация, дори при трудни условия на заобикалящата среда. Това позволява на оператора да извърши до 600 последователни скана със скенера *RIEGL VZ-600i* на обект за един работен ден без необходимостта от изключване и хоризонтиране на инструмента. След приключване на последния скан се разполага с готов, прецизно регистриран, георефериран, оцветен и почистен от „шумове“ точков модел на обектите, които са представлявали интерес. Работата може да се продължи с последваща обработка в офиса, като на разположение са многобройни програмни продукти на производителя, насочени в различни направления. За да се създадат надеждни източници на данни, основно за мрежестия (триангулиран) модел на голата повърхност, всички изкуствени обекти трябва да бъдат елиминирани от облака на точки. Различните софтуери осигуряват автоматизиран алгоритъм за филтриране и премахване на тези обекти. Предвидени са заводски зададени настройки за изкуствени предмети, растителност, дъжд, прах и пр., и точки под и над реалната повърхност, но тези настройки могат да се конфигурират и от потребителя. Друг пример е използването на конвенционални отразителни трепел призми като цели за сравнение. Моделът на всеки един рефлектор може да бъде въведен в специализираните софтуери или върху самия скенер при настройката на работния процес. Приложните програми предлагат раздел за копиране на модели на рефлектори от и към скенера. Всяка фино сканирана цел (призма) получава нов атрибут за качество в списъка с връзки. Резултатите показват, че може да се очаква сравнима **прецизност и точност** с прецизна тоталната станция за проведените многократни измервания. Разстоянията, на които са провеждани тестовете, са в обхвата 200-1600 m, което е позволило извеждането на отлични сравними резултати **под един милиметър** [3]. Друг пример за оптималното използване на вградените в наземните скенери **сензори за ориентация** MEMS е това, че можем да ги превърнем в мобилни скенери с условието – за сега да се движим до 20 km/h. За по-високи скорости е желателно да използваме чисто мобилните скенери на *RIEGL*.

И сега за някои от новостите при *RIEGL* показани за първи път на Intergeo 2024 в Щутгарт, Германия.

1. НАЗЕМНИ ЛАЗЕРНИ СКАНИРАЩИ СИСТЕМИ



Фиг. 20. *RIEGL VZ-4000i* ²⁵

С VZ-4000i²⁵ сега **RIEGL** представя скенер за дълги разстояния на тяхното последно поколение професионални наземни лазерни скенери. Това означава повишаване на продуктивността, надеждност на производителността, изключителна гъвкавост и нови форми на свързаност – което води до отлична възвръщаемост на инвестицията. Вградената обработка, работата с едно докосване на бутон, персонализираните работни потоци и предварителните настройки, както и регистрацията в реално време, активирана от GNSS/IMU, осигуряват бърз и ефективен работен процес от събиране на данни до резултати от последваща обработка. Този скенер осигурява забележителна производителност на дълги разстояния до 4600 m при безопасна за очите работа в лазерен клас 1. Сертификатът IP64 гарантира, че може да се използва в тежки среди. Технологиите Ultimate LiDAR на **RIEGL** осигурява възможност за заснемане на множество цели и ценни атрибути на данните за всяко измерване. Гъвкавостта на скенера позволява използването му в различни приложения и рутинни проучвания. Вътрешна камера, вътрешен IMU за оценка на позицията, допълнителен външен GNSS RTK приемник, поддръжка за потребителски приложения и предварително инсталирани **RIEGL** приложения са допълнителни ключови характеристики. Интегриран WiFi, високоскоростно изтегляне на данни чрез TCP/IP, автоматичен и бърз трансфер на данни с CF-express карта, синхронизиране на облачни данни през интернет и формати за обмен за допълнителен анализ осигуряват брилянтна свързаност. За работа със скенера и за обработка на данни **RIEGL** предлага утвърдения софтуерен пакет **RiSCAN PRO**. Различните нива на лиценз и лицензите за плагин модул позволяват адаптиране към специфичните изисквания на потребителя. Допълнително се предлагат специални софтуерни пакети и инструменти, като **RiPANO**, който позволява да изследвате вашия проект и да извличате графики във вашия браузър. За геотехнически анализ на сканирани скални повърхности **RIEGL** предоставя **LIS GeoTec Plugin**. Той улеснява изчисляването на нормалната повърхност за определена област. Тези нормали на повърхността се анализират допълнително, за да се открият клъстери с преобладаващи повърхностни ориентации, които се използват за класифициране на данни и визуализация на полярна диаграма. В горските приложения приставката **RIEGL LIS TreeAnalyzer** позволява автоматичното извличане на различни индивидуални параметри на дърветата – като геореферирана позиция на дървото, ID на дървото, диаметър на гръдна височина, височина на дървото, площ на короната или диаметър на короната – от облаци от наземни лазерни точки и техните други обработки в съответните софтуерни пакети на трети страни. Освен това **RIEGL** представя четири приложения за 3D наземни лазерни скенери от серията VZ-i, които позволяват анализ в реално време и обработка на данни в различни приложения за наблюдение, между другото при наблюдение на свлачища, но също и в открити минни операции. Въз основа на надеждни данни в реално време приложението за непрекъснат мониторинг **Monitor+**, приложението за сравнение на дизайна и приложението за ъгъла на наклона позволяват бързи адекватни решения в критични ситуации [5].

2. ВЪЗДУШНИ - В ТОВА ЧИСЛО БАТИМЕТРИЧНИ И БЕЗПИЛОТНИ ЛАЗЕРНИ СКАНИРАЩИ СИСТЕМИ



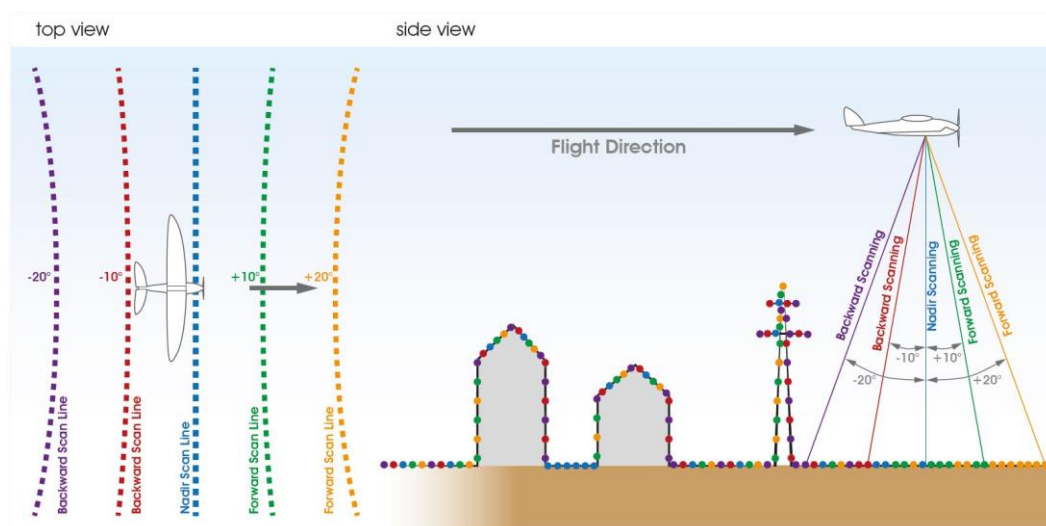
Фиг. 21. **RIEGL VQ-1560 III-S**

VQ-1560 III-S е най-новият наследник в доказалата се серия двуканални лазерни системи за сканиране на **RIEGL** — подходяща за широка област от приложения във въздушното картографиране. Добре установеният модел на сканиране с кръстосано насочване на лазерните импулси позволява изглед напред и назад към краищата на ивицата и изглед в най-добра степен в средата на ивицата, което води до най-добро разпределение на точките за оптимално вземане на проби от целта. Високите честоти на повторение на импулса до 4,4 MHz позволяват оперативни височини на летене. Високоэффективно IMU/GNSS устройство и една или

две опционални RGB/NIR камери с висока разделителна способност са безпроблемно интегрирани в компактия и удобен за потребителя проектиран корпус. Отличният модел на сканиране и широкият му работен диапазон правят инструмента един от най-универсалните въздушни лазерни скенери на пазара днес. Перфектно е подходящ за всякакъв вид приложение; от ултра-плътно картографиране на ивици от малка надморска височина, през градско картографиране с висока разделителна способност с минимални ефекти на засенчване в тесни улични пространства, до широкомащабно картографиране на широки площи с максимална ефективност от 130 до 1130 km² на час [6].

RIEGL VQ-680 е компактен въздушен лазерен скенер, оптимизиран за градско картографиране, горско стопанство и приложения за проучване на електропроводи или навсякъде, където се изисква високопрецизно, високоточно изследване на сложни среди. Вертикалният дизайн на скенера и малките размери на апертурата позволяват компактна интеграция с цифрови камери в комбинация с жироустойчива платформа за монтиране в типични люкове на самолети.

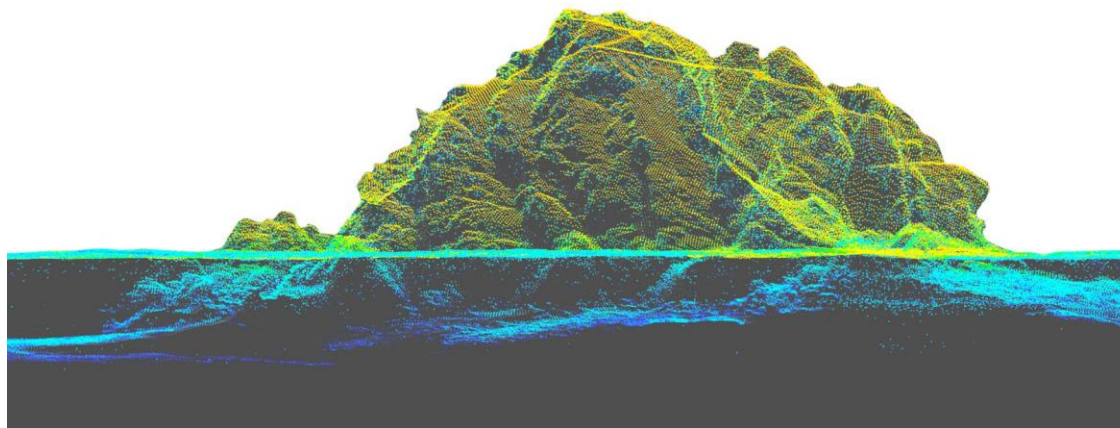
Модулът на лазерния скенер включва иновативен механизъм за сканиране, който осигурява линии за сканиране напред, надир и назад при +20° / +10° / 0° / -10° / -20° в посоката на полета. В комбинация с широко хоризонтално зрително поле от 60° се генерира редовно разстояние между точките за всяка посока на гледане, което позволява изключително покритие на вертикални структури като фасади на сгради, както и покритие в дъното на тесни улични каньони с малко или никакво засенчване. Оперативната обвивка варира от типични височини на летене от 1000 m AGL при честота на повторение на импулса от 2,4 MHz (~ 24 точки/m² при 120 kts), до 2300 m AGL при PRR от 300 kHz за цели с отразяваща способност над 20 % [7].



Фиг. 22. RIEGL VQ-680 иновативен механизъм за сканиране напред, надир и назад

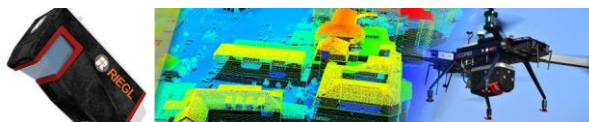
Въздушният лазерен скенер **RIEGL VQ-860-G** с повишена производителност подобрява проникването в дълбочина при изследване на вътрешни води и крайбрежни води за още по-голяма ефективност при батиметрични приложения. Цялата система се предлага с опционално интегрирана и фабрично калибрирана IMU/GNSS система и цифрова камера. RIEGL VQ-860-G е компактна и многофункционална система, проектирана за директна интеграция в самолети с екипаж. С тегло само 15 kg (33 lbs), интегрирането в дронове също е възможно. Параметризирането на инструмента позволява висока оперативна гъвкавост, за да се адаптира идеално работата му към проекта за изследване, по отношение на височината и скоростта на самолета носител, както и целта на мисията. Здравата вътрешна механична структура заедно с корпуса, устойчив на прах и вода, позволяват дългосрочна работа на тези въздушни платформи. Скенерът извършва лазерни измервания с обхват на заснемане на подводна топография с висока разделителна способност с тесен, видим зелен лазерен лъч, излъчван от импулсен лазерен източник. За яснота, при тази конкретна дължина на вълната, лазерният лъч прониква във водата, позволявайки измерване на потопени цели на морското

дъно при височина на водния стълб от 10 до 30 m и гъстота на измерените точки до 500 на m² [8].



Фиг. 23. Лазерна снимка от *RIEGL VQ-860-G*

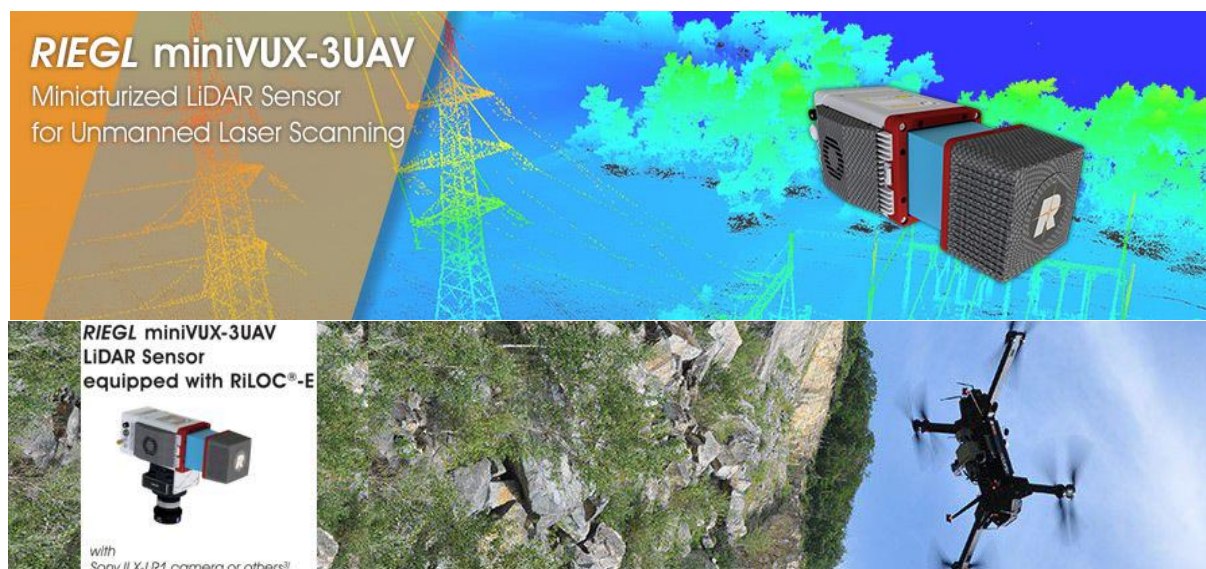
С *VUX-100*²⁵ *RIEGL* предлага лек и многофункционален въздушен лазерен скенер с голямо зрително поле от 160° и висока честота на повторение на импулса до 1500 kHz. В комбинация със скорост на измерване до 1,3 милиона измервания/сек, скорост на сканиране до 200 реда/секунда и работна височина на полета до 360 m / 1200 фута, сензорът осигурява изключително широко покритие на зоната, което е особено изгодно за приложения като картографиране на сложен терен и тесни каньони. Усъвършенстваният дизайн и ниското тегло от 2,36 kg / 4,4 lbs позволява плавна интеграция на дронове, но също и на малки самолети с екипаж (като жирокоптери) и хеликоптери. За специфични за клиента системни решения от професионални системни интегратори е осигурена **специална OEM-версия** на *RIEGL VUX-100*²⁵, която предоставя специфични за клиента интерфейси и по-ниско тегло. Скенерът се предлага като самостоятелен UAV-LiDAR сензор, но също така и в различни конфигурации на напълно интегрирана система за лазерно сканиране с подходяща IMU/GNSS система и допълнителни камери. *RIEGL* предлага напълно интегрирано решение за LiDAR от серия *VUX* с високопрецизна инерциална подсистема за локализация и ориентация (модул за локализация/ориентация) — **RiLOC-F**. Версията на *RIEGL VUX-100*²⁵ включва високопрецизна инерциална измервателна система (IMU) с микро електромеханична система (MEMS), GNSS и подходящ софтуер. Всички компоненти са включени в компактен и лек корпус, който е директно прикрепен към скенера. Комбинацията от LiDAR сензор и RiLOC-F в компактна цялостна LiDAR система е идеалното решение за маломасщабно LiDAR проучване с дронове. В такива приложения използването на близка локална базова станция гарантира най-късата базова дължина и по този начин максимална точност при геореферирането на прецизните LiDAR данни от високопрецизния LiDAR сензор от серията *RIEGL VUX* [9].



Фиг. 24. *RIEGL VUX-100*²⁵

RIEGL miniVUX-3UAV е изключително лек въздушен лазерен скенер, проектиран специално за интеграция с UAS/UAV/RPAS. Сензорът предлага избираема честота на повторение на лазерния импулс (PRR) от 100 kHz, 200 kHz и 300 kHz. С 300 kHz PRR той осигурява до 100 000 измервания в секунда при 120° зрително поле и по този начин плътен матричен точков модел на земната повърхност за приложения, базирани на БЛА, които изискват заснемане на средни и малки обекти. Малкият и изтънчен дизайн на стабилния алуминиев корпус предлага различни възможности за интегриране с платформи, които предлагат ограничено пространство или възможности за полезен товар. 360-градусовото

зрително поле позволява пълно усвояване на околната среда. Лесната за премахване SD карта за съхранение на данни и/или опцията за поточно предаване на сканирани данни през LAN-TCP/IP интерфейс, в комбинация със скромната консумация на енергия на скенера, позволяват директна интеграция с повечето комерсиални БЛА. RIEGL miniVUX-3UAV използва уникалната *Waveform -LiDAR технология* на RIEGL, позволяваща дигитализация на отразения сигнал и онлайн обработка на формата на вълната. Многоцелевата разделителна способност е основата за проникване дори в гъста зеленина. Като допълнителна специална характеристика, дължината на вълната е оптимизирана за измерване на заснежен и заледен терен. В допълнение към самостоятелната версия на miniVUX-3UAV, RIEGL предлага и системни решения с IMU/GNSS системи и камери, напълно интегрирани. RIEGL предлага свое собствено решение за система LiDAR от серията miniVUX с напълно интегрирана подсистема за локализация и ориентация **RiLOC-E** [9]. Тази версия на miniVUX-SYS включва инерциално измервателно устройство (IMU) с микро електромеханична система (MEMS), GNSS устройство и подходящ софтуер. Всички компоненти са включени в компактен и лек корпус, който е директно прикрепен към лазерния скенер RIEGL miniVUX-1UAV/-3UAV. Комбинацията от LiDAR сензор от серия miniVUX и RiLOC-E в компактна цялостна LiDAR система е идеалното решение за LiDAR проучване в малък мащаб с дроне. В такива приложения използването на близка локална базова станция гарантира най-късата базова дължина и по този начин максимална точност при геореференцията на високопрецизните LiDAR данни от LiDAR сензора от серията RIEGL miniVUX [10].



Фиг. 25. RIEGL miniVUX-3UAV

3. ЛИТЕРАТУРА

1. Тодоров, П. "Състояние и развитие на техниките за LiDAR мониторинг на бордовете в открити рудници". Минно дело и геология, 2021, 5-6
2. Andreas Ullrich, Christoph Fürst „Vollautomatischer Ansatz für die Onboard-Datenregistrierung im terrestrischen Laserscanning" - DVW – Gesellschaft für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement e. V.
3. Thomas Gaisecker, Daniel Schröder: "RIEGL V-Line Scanners for Permanent Monitoring Applications and Integration Capabilities into Customers Risk Management" – Version 2, 11.09.2023
4. RIEGL web www.riegl.com October 2024
5. RIEGL web <http://www.riegl.com/nc/products/terrestrial-scanning/produktdetail/product/scanner/92/> Oct24

6. RIEGL web <http://www.riegl.com/nc/products/airborne-scanning/produktdetail/product/scanner/91/>
Oct24
7. RIEGL web <http://www.riegl.com/nc/products/airborne-scanning/produktdetail/product/scanner/87/>
Oct24
8. RIEGL web <http://www.riegl.com/nc/products/airborne-scanning/produktdetail/product/scanner/89/>
Oct24
9. RIEGL web <http://www.riegl.com/products/unmanned-scanning/newriegl-vux-10025/> Oct24
10. RIEGL web <http://www.riegl.com/products/unmanned-scanning/riegl-minivux-3uav/> Oct24

АДРЕС НА АВТОРА

Инж. Петър Тодоров

Иновационни Оптико Електронни Системи – ИОЕС ЕООД

Ул. Криволак №2, 1164-София, България

E-mail p.todorov@ioes-co.com

ПОДОБРЯВАНЕ НА ТОЧНОСТТА НА ГЕОРЕФЕРИРАНЕТО ПРИ РЕГИСТРАЦИЯ НА ОБЛАК ОТ ТОЧКИ С ИЗПОЛЗВАНЕ НА СФЕРИЧНИ СИГНАЛИ

Доц. д-р инж. Гергана Антова

INVESTIGATION OF GEOREFERENCING ACCURACY USING SCANNING SPHERES IN POINT CLOUD REGISTRATION

Assoc. Prof. Dr. Eng. Gergana Antova

SUMMARY

This paper discusses the feasibility of georeferencing point clouds derived from terrestrial laser scanning (TLS) using scanning spheres. A common practice when performing TLS measurements is to use different watermarks to register and georeference the resulting point cloud. Typically, these marks are placed at random points and coordinated using conventional surveying methods. They are then used to transform the point cloud into a desired global coordinate system. However, if scanning spheres were used that could be centred on points on the working geodetic datum, this would increase the efficiency of the measurements. The accuracies achieved with different sphere placement configurations are discussed and evaluated. Conclusions and recommendations on the accuracy of georeferencing point clouds based on three projects are made.

Keywords: scanning spheres, georeferencing, point clouds, accuracy, registration

РЕЗЮМЕ

Тази статия обсъжда реализирането на георефериране на облаци от точки, получени от наземно лазерно сканиране (НЛС) с помощта на сферични сигнали. Често срещана практика при извършване на измервания с наземен лазерен скенер е използването на различни марки за регистриране и георефериране на получения облак от точки. Обикновено тези марки се поставят в произволни точки и се координират с помощта на конвенционални геодезически методи. След това те се използват за трансформиране на облака от точки в желана глобална координатна система. Ако обаче се използват сферични сигнали, които могат да бъдат центрирани върху точки от работната геодезическа основа, това би увеличило ефективността на измерванията. Обсъдени са и оценени точностите, постигнати с различни конфигурации на разположение на сферични сигнали. Направени са изводи и препоръки относно точността на геореферирането на облаци от точки въз основа на три проекта.

Ключови думи: сферични сигнали, георефериране, облаци от точки, точност, регистраия

АДРЕС НА АВТОРА

Доц. д-р инж. Гергана Антова

Университет по архитектура, строителство и геодезия
бул. „Хр.Смирненски №1“, София 1046, Р. България
antova_fgs@uacg.bg

СЪЗДАВАНЕ НА ДИГИТАЛЕН ДВОЙНИК ЗА НУЖДИТЕ НА СТРОИТЕЛНО-ИНФОРМАЦИОНЕН МОДЕЛ

**Ас. инж. Мариян Генчев, гл. ас. д-р инж. Добромир Филипов, УАСГ,
гл. ас. д-р инж. Михал Краус, ас. инж. Алеш Канковски, ITB CB**

DIGITAL TWIN FOR THE NEEDS OF A BUILDING INFORMATION MODEL

Mariyan Genchev, Dobromir Filipov, Michal Kraus, Aleš Kaňkovský

SUMMARY

The article discusses methods for creating digital twins of objects with their entire design in building information modeling. Methods for determining spatial characteristics of properties and facilities and obtaining a cloud of points are presented. The possibility of combining point clouds, obtained by using different methods to improve the detail of the result, is considered. An essential part of the process of applying the results is in building information modeling and analyzing the point clouds and creating a vector object of the model. With this data, the target is considered with software for processing the raw data as well as file formats for storing the results. The article presents methods for extracting information from the point cloud and creating a property and facility database. Objects in the database are dimensions, materials, surfaces, structures and other components of BIM modeling elements. The object of the study is the dam wall, the spillway and part of the surroundings of Pancharevsko Lake, surveyed under CEEPUS summer school "Introduction to 3D BIM: creating a digital twin of a dam and facilities".

Keywords: point cloud, BIM, digital twin, laser scanning.

РЕЗЮМЕ

В статията са разгледани методи за създаване на дигитални двойници на обекти с цел използването им в строително-информационното моделиране. Представени са методи за определяне пространствени характеристики на сгради и съоръжения и получаване на облак от точки. Разгледана е възможността за комбиниране на облаци от точки, получени от използване на различни методи, с цел подобряване на детайлността на крайния резултат. Съществена част от процеса на прилагане на резултата в строително-информационното моделиране е анализиране на облаците от точки и създаване на векторен модел на обекта. С тази цел са разгледани софтуери за обработка на суровите данни, както и файлови формати за съхранение на готовия продукт. В статията са представени методи за извличане на информация от облака от точки и за създаване на база данни за сгради и съоръжения. Обектите в базата данни са размери, материали, повърхнини, конструкции и други компоненти на елементите на СИМ моделирането. Обект на изследването са язовирната стена, преливника и част от околността на

Панчаревското езеро, заснети по време на международния CEEPUS проект „Въведение в 3D BIM: Създаване на дигитален близък на язовирна стена и съоръжения“.

Ключови думи: облак от точки, СИМ, дигитален двойник, лазерно сканиране.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Дигиталните двойници са ключов елемент от настоящето и бъдещето в строителството и мониторинга на съществуващи сгради и съоръжения. Те играят съществена роля както в процеса на проектиране, така и в управлението на жизнения цикъл на инфраструктурни обекти. В настоящата статия се разглеждат методи за събиране на данни, обработка и създаване на дигитални двойници, като се акцентира върху тяхното приложение в Строително-информационното моделиране (СИМ).

Обект на изследването са язовирната стена и преливникът на Панчаревското езеро, които са анализирани чрез геодезически, фотограметрични и хидрографски методи. Въз основа на тези методи са представени подходи за обработка на данни, включително извличане на облаци от точки с цел създаване на детайлен модел. Важна част от изследването е процесът на обработка на тези данни с помощта на специализирани програмни продукти, както и възможността за комбиниране на различни видове заснемания за създаване на по-точен и детайлен дигитален модел, който обхваща целия обект в детайли.

В статията се разглежда и метод за извличане на TIN повърхнина от модел и комбинирането ѝ с хидрографски измервания, за да се получи теренна повърхнина на обекта, включително подводната част на езерото.

Друг аспект на изследването е интеграцията на дигиталните двойници в строително-информационни модели, което е основен подход за оптимизиране на управлението и експлоатацията на строителни обекти. Този процес не само повишава ефективността и качеството на работа, но също така улеснява съвместната работа между различните участници в строителния процес – архитекти, инженери, строители и инвеститори. Чрез обединяването на данни и процеси в една обща цифрова платформа, строително-информационните модели (СИМ) позволяват по-ефективно проектиране, рехабилитация и мониторинг на сградите и съоръженията.

1.1. Строително-информационен модел

Строително-информационният модел (СИМ), по-широко известен като Building Information Modeling (BIM), представлява цифрово копие на физическите и функционални характеристики на сгради и съоръжения. Той интегрира геометрични, структурни и технически данни, които са от съществено значение за всички фази на жизнения цикъл на обектите – от проектирането и изграждането до управлението и поддръжката. Чрез използването на СИМ/BIM технология различните участници в строителния процес – архитекти, инженери, строители и инвеститори – могат да работят едновременно и съвместно върху един и същ цифров модел. Това не само подобрява координацията между екипите, но също така води до по-високо качество на крайните продукти, намаляване на разходите и по-ефективно управление на ресурсите.

2. СЪБИРАНЕ НА ДАННИ

Изследваният обект е Панчаревското езеро, разположено на 12 km югоизточно от гр. София, в близост до с. Панчарево и с. Кокаляне. Езерото е с дължина 3 km, ширина до 700 m и максимална дълбочина до 30 m. Основната цел на изследването е да се създаде дигитален двойник на язовирната стена и преливника, разположени в северозападния край на езерото, както и на част от дъното около тях. Този модел може да послужи за анализ и мониторинг на обекта и внедряване в строително-информационен модел (СИМ).

2.1. Наземно лазерно сканиране

Наземното лазерно сканиране е един от основните методи, използвани за събиране на детайлни пространствени данни. За да се генерира точен модел в желаната координатна и

височинна система, процесът на сканиране изисква извършването на няколко предварителни стъпки.

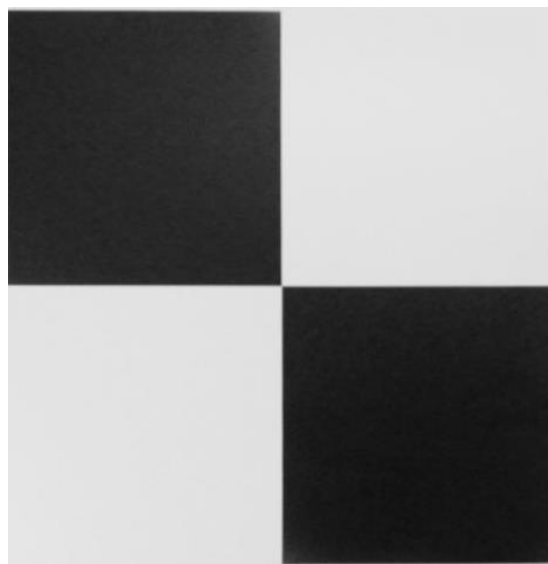
Първата стъпка е изграждането на работна геодезическа основа (РГО), която е необходима за геореферирането на данните от лазерното сканиране. В настоящия случай РГО е създадена на базата на съществуващи и новопроектирани точки, които са прецизно измерени с помощта на глобална навигационна спътникова система (GNSS) в RTK режим. Тези точки служат като референтни за по-късното координиране на марките, необходими за георефериране на облака от точки, генериран от сканирането.

След изграждането на работната геодезическа основа, на терена се разполагат черно-бели марки на подходящи места (фиг. 2). Марките се координират с помощта на тотална станция, чрез ъглово-дължинни измервания, извършени от съществуващата РГО. Това координиране е от решаващо значение за правилното позициониране в пространството и сливане на отделните сканирани участъци в общ модел.

След като всички марки са координирани, се преминава към същинското сканиране с наземния лазерен скенер Trimble TX6 (фиг. 1). Сканирането се извършва от няколко станции с частично застъпване между тях, което гарантира обхващането на целия обект и подобрява качеството на получените данни. Тази техника позволява детайлно събиране на пространствена информация, включително за сложни обекти, като преливници, язовирни стени и съоръженията около тях.



Фиг. 3. Trimble TX6



Фиг. 2. Черно-бяла марка

2.2. Фотограметрия

Вторият основен метод за събиране на пространствени данни за генериране на модел е въздушната фотограметрия, осъществена с помощта на безпилотна летателна система (БЛС). Тази технология предоставя възможност за точна визуализация и моделиране на големи и труднодостъпни обекти, като същевременно позволява генериране на облаци от точки и триизмерни повърхности с висока детайлност, като новите технологии имат възможност за премахване на растителност.

Подобно на наземното лазерно сканиране, процесът на фотограметрично заснемане изисква няколко предварителни стъпки за постигане на максимална точност при генерирането на крайния продукт. Първата от тези стъпки е анализ на обекта и планиране на заснемането. За целите на геореферирането на модела при последващата обработка се изгражда мрежа от наземни контролни точки (Ground Control Points, GCP). Част от тези точки са от вече съществуващата работна геодезическа основа (РГО), използвана при наземното лазерно сканиране, за да се осигури съвместимост на изходните данни. Това е от съществено значение, тъй като в крайния етап двата модела ще бъдат обединени.

Контролните точки, сходни на черно-белите марки, използвани при лазерното сканиране, се координират с помощта на глобална навигационна спътникова система (GNSS) в RTK режим. Марките са по-големи, за да се улесни тяхното откриване върху въздушните снимки и да се гарантира точността на геореферирването при създаване на модела (фиг. 4).

Следваща ключова стъпка е проектирането на летателен план. Това включва определяне на параметри като височина на полета, наклон на камерата, както и застъпване на изображенията, за да се осигури пълно покритие на обекта. В конкретния случай е използван дрон DJI Mavic Mini 3 Pro, оборудван с 48 MP камера (фиг.3). Заснемането е извършено в режим на надирно фотографиране (без наклон на камерата), на височина от 30 m, като е осигурено 75% надлъжно и 70% напречно застъпване между снимките. Тези параметри са избрани, за да се постигне необходимата детайлност на крайния модел, особено при сложни обекти като язовирната стена и преливника на Панчаревското езеро.



Фиг. 4. DJI Mavic Mini 3 Pro



Фиг. 5. Наземна контролна точка (GCP)

Фотограмметрията осигурява обширен набор от данни, включително цифрови модели на терена (Digital Terrain Models, DTM) и ортофото изображения, които след обработка могат да бъдат интегрирани с данните от наземното лазерно сканиране. Това комбиниране подобрява точността и детайлността на триизмерните модели, като позволява пълно и подробно представяне на изследвания обект.

2.3. Хидрографни измервания

Хидрографните измервания са третият метод, използван в процеса на събиране на данни, като основната им цел е да се създаде триизмерен теренен модел (TIN повърхнина) на дъното на Панчаревското езеро, в района около преливника и язовирната стена. Изследването на батиметрията на езерото дава възможност за определяне на важни за техническата експлоатация на язовира характеристики [1], [2]. Подобно на наземното лазерно сканиране и въздушната фотограмметрия, хидрографските измервания изискват предварителна подготовка преди самото измерване. За целта на изследването са използвани следните основни средства и инструменти: Моторна лодка, еднолъчев хидрографен ехолот, за измерване на дълбочини, лаптоп снабден с хидрографен софтуер за планиране и запис на данните, цифров термометър за измерване на температурата на водата и глобална навигационна спътникова система (GNSS) в RTK режим, за определяне на координатите на измерванията.

Важен етап от подготовката за хидрографните измервания е проектирането на маршрутите, наричани галсове, по които ще се движи лодката и ще се извършват измерванията с ехолота. Галсовете представляват успоредни линии, по които се извършват измерванията, като разстоянието между тях е от ключово значение за детайлността на крайния модел. В настоящия случай, разстоянието между галсовете е избрано да бъде между 20 и 40 m, което осигурява достатъчна точност за целите на заснемането.

Освен това, трябва да се зададе честотата на измерванията с ехолота и GNSS приемника, така че те да бъдат синхронизирани. Честотата на измерване обикновено е 1 измерване на секунда, което позволява събиране на достатъчно гъста мрежа от точки, координирани планоно с точните им координати и дълбочини.

След като проектът за хидрографските измервания е завършен, се преминава към настройката на необходимото оборудване. GNSS приемникът се монтира на лодката, за да осигури непрекъснато позициониране на измерванията, докато ехолотът се конфигурира за улавяне на дълбочините в реално време. Лаптопът, оборудван със специализиран софтуер за хидрографски измервания, се използва за планиране на маршрута, мониторинг на данните и записване на резултатите. В допълнение, измерването на температурата на водата е важна част от процеса, тъй като тя оказва влияние върху скоростта на звука във водата, което от своя страна може да повлияе на точността на измерванията с ехолота.

3. ОБРАБОТКА НА ДАННИ

3.1. Наземно лазерно сканиране

Обработката на данни от наземното лазерно сканиране е ключов етап в създаването на цифров двойник на обекта. Тя започва с извличане на суровите данни от използваните инструменти – глобална навигационна спътникова система (GNSS), тотална станция и наземен лазерен скенер.

Първа стъпка е трансформирането на данните от GNSS в избраната координатна и височинна система. За конкретния проект се използват координатната система БГС 2005 (кадастрална) и Черноморската височинна система. Трансформирания данни се записват в *.kog файл, който служи за последващата обработка. Следваща стъпка е обработката на данните от тоталната станция. Ъглово-дължинните измервания се извличат в *.dri файлов формат. С помощта на софтуера TPlan тези измервания се обработват, за да се получат координатите на черно-белите марки, които ще се използват за георефериране на данните от наземното сканиране.

Третият етап е обработката на облака от точки, събрани от наземния лазерен скенер, като за целта се използва софтуерният продукт Trimble RealWorks. Тъй като сканираните са записани във форматите *.gwi и *.gwr, тези файлове се отварят в RealWorks, където се създава нов проект. Основен етап в обработката е обединяването на данните от различните сканиращи станции. Това се осъществява чрез функцията *Cloud based registration*, която позволява обединяването на отделни облаци от точки. За всеки облак трябва да се изберат поне три идентични точки, които служат като референтни за свързването на сканираните. Процедурата се повтаря за всяка станция, докато всички облаци се обединят в един общ облак от точки. Следващата стъпка е откриване и отбождане на марките чрез *Target-based registration*, като софтуерът предоставя възможност за автоматично или ръчно идентифициране на черно-белите марки, използвани за геореферирането. Точността на отбождането е от критично значение, като в настоящия проект грешката при откриването на марките е в рамките на 28 mm. Геореферирането на облака от точки е ключова стъпка, в която облакът се трансформира в желаната координатна и височинна система. След това може да се пристъпи към почистване и филтриране на облака.

Дори и при висококачествено сканиране, в облака от точки често се включват нежелани елементи, като хора, автомобили, растителност или шумове от околната среда. За да се изчистят тези елементи, се използват различни видове филтри:

- Sampling – за намаляване на броя на точките в гъсто населени области;
- Segmentation – за разделяне на облака по различни параметри;
- Auto-classify – за автоматично класифициране на точките според техния тип (земя, сгради, растителност и др.).

Крайният продукт е изчистен и филтриран триизмерен модел на преливника и язовирната стена на язовир „Панчарево“, готов за по-нататъшни анализи, интеграция с данни от други източници и внедряване в строително-информационни модели (фиг. 5).



Фиг. 5. Част от крайният модел

3.2. Фотограметрия

Обработката на данните от фотограметричното заснемане следва сходни стъпки с тези при наземното лазерно сканиране. Първата стъпка е сваляне на данните от ГНСС приемника и трансформация на координатите в избраната координатна система – БГС 2005 (кадастрална) и Черноморска височинна система. Тези данни ще бъдат използвани за координиране на наземните контролни точки (GCP), които служат като референтни за привързване на фотограметричния модел към реалните координати на терена.

Основната обработка на фотограметричните данни се извършва с помощта на софтуера Agisoft Metashape, въпреки че алтернативи като Pix4D и DJI Terra също могат да се използват за тази цел. Първата стъпка в процеса е създаване на нов проект, след което се импортират снимките, направени по време на полета с дрона. Калибрирането на камерата е следващата важна стъпка. В Agisoft Metashape това може да стане автоматично, но при необходимост могат да се направят ръчни настройки, за да се постигне по-точна калибрация според спецификите на проекта. След това се пристъпва към align photos – процесът на изравняване на снимките, при който се избира точността на обработката (обикновено висока или средна точност). В тази стъпка снимките се комбинират, за да се генерира начален облак от точки.

Геореферирането е ключова стъпка в процеса. Първо се импортират наземните контролни точки (GCP) чрез менюто File > Import > Import Markers, като GCP-тата могат да бъдат в различни формати, включително .csv и .txt. След това GCP-тата се отбелязват на няколко от снимките в проекта, което позволява на софтуера автоматично да ги разпознае на останалите кадри. От менюто Reference се задава координатната система (CRS) на проекта, съответстваща на координатната система, използвана за GCP-тата (фиг. 6). Важно е да се следи и грешката при привързването на GCP-тата към облака от точки, като в този проект най-голямата грешка е 1.2 cm, което е в рамките на допустимото за този тип заснемания. След като данните са привързани, се пристъпва към генерирането на плътен облак от точки чрез менюто Workflow. Този плътен облак може да се използва за създаване на 3D мрежа (mesh), която да бъде текстурирана за създаването на фотореалистичен модел на терена. В допълнение към 3D модела, софтуерът предоставя възможност за генериране на различни деривативни продукти, като цифров модел на релефа (DEM), ортофотомозайка (orthomosaic) и ортофотото (orthophoto). Тези продукти са изключително полезни за различни видове анализи, свързани с теренните условия и инфраструктурата.



Фиг. 6. Схема с GCP и елипси на грешките

3.3. Хидрографни измервания

При обработката на данните от хидрографските измервания крайната цел е създаване на триизмерен теренен модел (TIN) на дъното на част от Панчаревското езеро, в района около преливника и язовирната стена (фиг. 7). За да се постигне този резултат, е необходимо да се извършат няколко последователни стъпки, започвайки с обработката на данните от ехолота и ГНСС.

Първата стъпка е изчисляване на скоростта на звука във водата, което е ключово за точността на измерените дълбочини. Скоростта на звука се променя в зависимост от дълбочината и характеристиките на водата, поради което е необходимо да се създаде профил на скоростта на звука. Този профил представлява таблица с две колони: дълбочина и съответстваща средна скорост на звука за всяка дълбочина. Следва корекция на измерените дълбочини с оглед на промените в скоростта на звука, както и промяната на водното ниво по време на измерванията. За целта се подготвя файл, който съдържа данни за ниво на водата и време (час и минута), като тези стойности се използват за коригиране на дълбочините. Допълнително се прави и корекция на дълбочината на потапяне на ехолота, която може да варира по време на плаването.



Фиг. 7. Схема на галсовете

След като всички корекции са приложени, се извършва филтриране на съмнителни данни, като това включва премахването на неточни или аномални измервания, които могат да бъдат резултат от шумове или грешки при записване на дълбочините. Извършва се и оценката на точността на данните. Когато всички дълбочини са прецизирани, се добавят и координатите от ГНСС измерванията. Както при другите методи на измерване, тези данни се трансформират в желаната координатна система БГС 2005 (кадастрална) и Черноморска височинна система, за да се гарантира съвместимост с останалите данни от проекта.

Последната стъпка в обработката е създаването на TIN модел (Triangulated Irregular Network) на релефа на дъното на езерото. За целта се използва софтуер AutoCAD Civil 3D, който

автоматично генерира триизмерна мрежа от триъгълници въз основа на измерените координати и дълбочини. Този модел в последствие ще има възможност да се свърже с модели от предходните методи, както и самостоятелно да бъде анализиран.

4. ПОЛЗИ ОТ ДИГИТАЛНИТЕ ДВОЙНИЦИ

Създадените цифрови двойници на релефа и изградените структури, получени чрез наземно лазерно сканиране, фотограметрия и хидрографски измервания, предоставят ценна информация за пространствените характеристики на изследваната зона. Те могат да се използват за широк спектър от анализи и инженерни приложения. Цифровите модели на релефа, както и на обектите, са основа за планиране на строителни дейности, мониторинг на съществуващи структури и анализ на въздействието на околната среда. Дигиталният близък на мелиоративните комплекси като този в Панчарево играе важна роля за тяхната успешна реконструкция и модернизация [4]. След обработката и получения краен резултат, дигиталният двойник може да бъде внедрен и използван със строително-информационен модел (СИМ, BIM). Ползите от това са, че от модела могат да бъдат извлечени данни за обекта. Осигурявайки детайлна информация за текущото състояние на системите, цифровите двойници създават условия за оптимизиране на решенията за бъдещи подобрения [3]. Информацията може да се съхранява в база данни, която да включва детайли за структурата на материалите, повърхности и т.н., важни за поддържането на обекта. Тези данни могат да бъдат използвани за различни анализи и мониторинг на съоръжението.

В контекста на проекта дигиталният двойник на преливника и язовирната стена могат да бъдат използвани за симулация на водните потоци и натоварванията върху конструкциите. В СИМ среда тези модели позволяват интеграция на данни за материали, строителни процеси и технически характеристики, което улеснява извършването на подробни симулации и прогнози за бъдещи промени в съоръженията. Това е от особено значение за поддръжката и модернизацията на язовирната стена, както и за осигуряване на безопасността на съоръжението в дългосрочен план.

5. ЛИТЕРАТУРА

1. Анева, Р., Изследване на надлъжния профил на водната повърхност на водохранилището, Годишник на университет по архитектура, строителство и геодезия, том 56 (брой 2), 911-918
2. Анева, Р., Определяне на кривата на подпора и оценка на влиянието и при извеждане на топографски криви на водохранилищата, Геодезия, картография, земеустройство, 2023, 3-4, 43-46
3. Богданова, С., Филков П., Multi Criteria Analysis for Prioritization of Investments for Reconstruction and Modernization of Irrigation Infrastructure', in Water Resources Management. New Perspectives and Innovative Practices, Международен симпозиум, Нови Сад, Сърбия, стр 37-44, ISBN 978-86-6022-367-0
4. Mechkarova, S., Importance of Sub-Criteria in MCA For Prioritization of Investments for Reconstruction and Modernization of Irrigation Infrastructure in Bulgaria, ANNUAL OF UACEG, 2023, vol.56 (issue 1).

АДРЕСИ НА АВТОРИТЕ

1. Ас. инж. Мариян Генчев
Университет по архитектура строителство и геодезия
Бул. „Христо Смирненски“ № 1, София 1164, България
Тел: +359
mgenchev_fgs@uacg.bg.
2. Гл. ас. д-р инж. Добромир Филипов
Университет по архитектура строителство и геодезия
Бул. „Христо Смирненски“ № 1, София 1164, България

Тел: +359

filipov_fgs@uacg.bg.

3. Гл. ас. д-р инж. Михал Краус, Michal Kraus

Институт по технологии и бизнес в Ческе Будейовице (Institute of Technology and Business in Ceske Budejovice)

Катедра „Строителство“ (Department of Civil Engineering)

krausm@mail.vstecb.cz

4. Ас. инж. Алеш Канковски, Aleš Kaňkovský

Институт по технологии и бизнес в Ческе Будейовице (Institute of Technology and Business in Ceske Budejovice)

Катедра „Строителство“ (Department of Civil Engineering)

kankovsky@mail.vstecb.cz

5. ДОКЛАДИ И ДИСКУСИИ (V) – КАРТОГРАФИЯ И ГИС

31. XXXIV МЕЖДУНАРОДЕН СИМПОЗИУМ
СЪВРЕМЕННИТЕ ТЕХНОЛОГИИ, ОБРАЗОВАНИЕТО И ПРОФЕСИОНАЛНАТА ПРАКТИКА В
ГЕОДЕЗИЯТА И СВЪРЗАНИТЕ С НЕЯ ОБЛАСТИ
София, 06 – 08 ноември 2024 г.

XXXIV INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON
MODERN TECHNOLOGIES, EDUCATION AND PROFESSIONAL PRACTICE IN
GEODESY AND RELATED FIELDS
Sofia, 06 – 08 November 2024

ИЗПЪЛНЕНИЕ И КОНТРОЛ НА ГОРСКОСТОПАНСКИ ДЕЙНОСТИ ЧРЕЗ ВЪЗМОЖНОСТИТЕ НА ГИС

Маг. инж. Севдин Нинов, РДГ „Смолян“
Проф. д-р инж. Мария Асенова, ЛТУ

IMPLEMENTATION AND CONTROL OF FORESTRY ACTIVITIES THROUGH THE CAPABILITIES OF GIS

Mag. Eng. Sevdin Ninov, RDG Smolian,
Prof. Dr Eng. Eng. Maria Assenova, LTU, Sofia

SUMMARY

The Forest Law sets out a number of features in the implementation of activities in forest territories - private property in Bulgaria. Forest management programs of these territories are created by forestry engineers in private practice. The fellings in forests are executed by hired licensed logging companies. The control over the activities in forests owned by natural person is under the authority of the Regional Directorates of Forestry. In practice, disparate activities are carried out in relatively small properties scattered over a large territory and at different times, which leads to poor control in these properties due to lack of sufficient resources in the regional directorates. In the conditions of frequent periods of drought, insufficient control and improper management of private forests, a deteriorated general condition of forest plantations is observed; phytosanitary problems due to diseases, pests and other damage of a biotic or abiotic nature and increased risk of forest fires. This necessitates the choice of a methodology using GIS, photogrammetry and remote sensing to improve the effectiveness of the control of activities in private forests. The article examines the trend of high intensity of the activities carried out in the forests owned by natural person, according to the data of the Regional Directorate of Forestry - Smolyan. The improvement of control in private forest properties was achieved through remote sensing and GIS methods, through which a spatial analysis of planned and implemented activities was made. A technology has been proposed for obtaining objective data and evaluating the control and implementation of the legal and normative regulations in these specific forest territories in relation to their management.

Keywords: GIS, remote sensing, control of forestry activities, private forest properties, forestry.

РЕЗЮМЕ

В Закона за горите [3] са зададени изискванията за извършване на различни дейности в горските територии - частна собственост. Горскостопанските програми за стопанисване на

частни горски имоти в България се разработват от лесоъдиги на частна практика, а плановите сечи се извършват от наети дърводобивни фирми. Контролът върху дейността и управлението на частните горски имоти е в правомощията на Регионалните дирекции по горите [7]. Практически на терена се извършват разнородни дейности в сравнително малки имоти, разпръснати на голяма територия и в различно време, което води до влошен контрол в тези имоти, поради липса на достатъчно ресурси в регионалните дирекции. В условията на чести периоди на засушаване, недостатъчен контрол и отклонения в прилагането на Закона в частните гори се наблюдава влошено общо състояние на горските насаждения; фитосанитарни проблеми вследствие на болести, вредители и други щети от биотичен или абиотичен характер и повишен риск от горски пожари. Това налага избор на комбинирана технология с използване на ГИС, фотограметрични методи и дистанционни изследвания за подобряване на ефективността на контрола на дейностите в *частните гори*.

В статията е разгледана тенденцията за висока интензивност на извършваните дейности в гори, собственост на физически лица, по данни на Регионална дирекция по горите „Смолян“. Подобряването на контрола в горските частни имоти е постигнато чрез дистанционни изследвания и ГИС методи, като е направен пространствен анализ на планираните и изпълнените дейности. Чрез приложената технология са получени обективни данни за реално изведените мероприятия, чрез което е подпомогнат контрола и е направена оценка на прилагането на законовата и нормативната уредба в тези специфични по отношение на стопанисването си горски територии.

Ключови думи: ГИС, дистанционни методи, частни горски имоти, контрол на горскостопанските дейности, горско стопанство.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

В последните години се наблюдава тенденция към по-висока интензивност на извършваните дейности в горските територии – собственост на физически лица. Все повече собственици на поземлени имоти в горските територии прибягват до сключването на договори с лесоъдиги на частна практика за изготвяне на горскостопански програми и за извършване на планираните в тях сечи. Редът по изработване, утвърждаване и извършване на мероприятията в такива имоти е определен в нормативната уредба и се контролира от териториалните структури на Изпълнителната агенция по горите - Регионалните дирекции по горите (РДГ). Отчитайки множеството извършвани дейности в голям на брой маломерни горски имоти, разпръснати на голяма територия и недостатъчния наличен човешки ресурс, с който разполагат РДГ, е логично контролът по изпълнението на дейностите в тези имоти да е недостатъчен и практически трудно да обхваща протичащите процеси след утвърждаването и хода на изпълнението на горскостопанските програми.

Горските територии, собственост на физически лица, заемат относително голяма обща площ в някои области в България. Една от тях е област Смолян [12], което налага изработването на методика, по която да се завиши нивото и качеството на контрола на дейностите в горски територии с частна собственост.

Подобряването на контрола в горски територии е в основата на настоящата разработка, като целта е да се използва метод, по който да се направи оценка на осъществяваните дейности в горите, собственост на физически лица. За целта е избран комбиниран метод, който включва стандартните технологии, интегрирани с компютърни, ГИС и дистанционни методи [1]. Чрез апробирането на тази методика ще се получат пространствени и специализирани данни и обективна преценка на начина на стопанисване на гори с частна собственост и прилагането на Закона за горите, както и ще могат да се формулират препоръки за подобряване на управлението на тези горски територии.

2. МЕТОДИ И МАТЕРИАЛИ

2.1. Методи на изследването

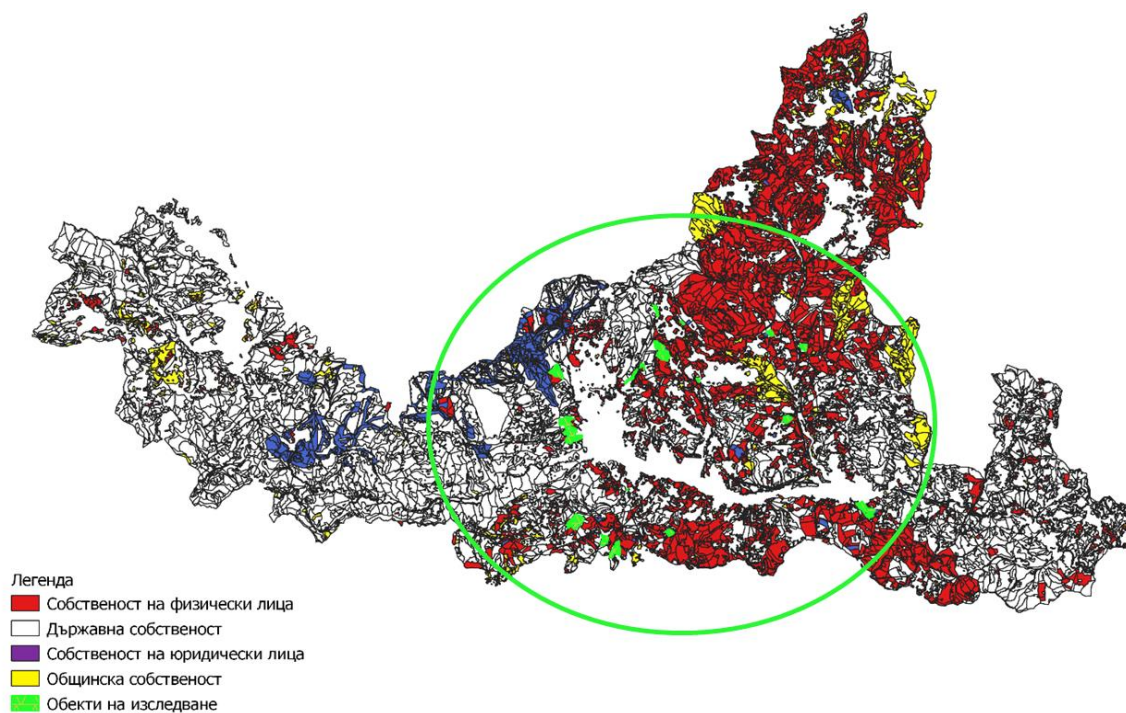
Основен метод при планиране и стопанисване в горското стопанство и по-специално за горите с държавна собственост е съставянето на горскостопански планове. Чрез тях се извършва инвентаризация и картиране в горските територии, определят се планираните сечи и

други дейностите за период от 10 години [8]. Подобен принцип важи и за по-дребноплощните частни имоти, собственост на физически лица. За тях се разработват и утвърждават горскостопански програми, с които се определят насоките на стопанисване, вида и обема на сечта и размера на ползване на дървесния запас за същия период (10 години). В много случаи горските имоти са с площ по-малка от 1 ha, което значително затруднява работата на частния лесовъд, изработващ програмата, при спазване на разпоредбите и лесовъдските правила за извеждане на различните по вид, обем и интензивност сечи. Извършването в различно време на разнородни лесовъдски дейности в доста на брой маломерни горски имоти, разпръснати на голяма територия, води до трудности в стопанисването и до понижаване на ефективността на контрола в тези имоти. В противовес на това едроплощното стопанисване на относително големи и хомогенни горски масиви дава много по-добри резултати, като позволява да се комбинира природосъобразността с икономическата полза от горите. В Закона за горите (чл. 38 и чл. 86) е предложено решение чрез разработката на план за уедряване на частни имоти, от което следва промяна на картата на възстановената собственост и изменение на границите на горските имоти в кадастралната карта и оптимизиране на стопанисването на частните гори под формата на дружества или кооперации.

Фотограметричният метод и дистанционните изследвания са основа за извличане на данни за горските насаждения чрез дешифриране на обектите по разновременни изображения в среда на ГИС и установяване на несъответствия между планираните и реално изпълнените дейности [14]. Приложението на ГИС в горския сектор включва събиране на информация за горските територии, създаване на база данни, обработка и анализ на данните, определяне на числени характеристики, изготвяне на справки и отчети и изработване на специализирани карти.

2.2. Обект на изследването

Обект на изследване е територията на държавно горско стопанство (ДГС) „Смолян“, където частната собственост има относително голям дял – 25%. Подбрани са поземлени имоти в горски територии – собственост на физически лица, за които има утвърдени горскостопански програми и заложените в тях дейности са били извършени на терена. Избраните обекти са 24 имота в 3 землища – гр. Смолян, с. Бостина и с. Турян, за които изведените мероприятия са в периода 2018-2022 г. (фиг. 1).



Фиг. 1. Тематична карта на ДГС „Смолян“ по собственост и избор на обекти

2.3. Съществуващи данни за изследваната територия

- Специализирани данни във формат ZEM на ИАГ [15], [18];
- Горскостопански план на „ДГС Смолян“, утвърден 2022 г. [11];
- Архив на горскостопанските програми на РДГ „Смолян“;
- Протоколи за освидетелстване на сечищата в SYSTEM.IAG.BG [15].

2.4. Основни технически средства

- Кадастрално-административна информационна система (КАИС) на Агенцията по геодезия, картография и кадастр (АГКК) [19];
- Географски портал на Изпълнителната агенция по горите (ИАГ);
- Национална информационна система на ИАГ – SYSTEM.IAG.BG [15];
- Свободен софтуер за ГИС за работа с данните – QGIS [17];
- Система за кадастр МКAD [16];
- Глобална платформа за растерни данни Google Earth Pro [20];
- Мобилно решение на ГИС – Oruxmaps [21].

3. АНАЛИЗ НА ПОЛУЧЕНИТЕ РЕЗУЛТАТИ

3.1. Интегрирана графична и атрибутна база данни на ГИС

Първо ниво на създадената база данни съдържа съществуващите данни за обектите - графични и атрибутни данни за горските подотдели в ZEM формат [13] за ДГС „Смолян“ и данни за горските имоти от кадастралната карта на землищата на гр. Смолян, с. Турян и с. Бостина. Използвани са и атрибутни данни от специализирания архив на горскостопанските програми на РДГ „Смолян“. На второто ниво е направена интеграция на данните, като са добавени данни от проучването на избраните обекти. На трето ниво е извършено разширяване на първичната база данни, като са добавени полета за имотите – за обема на планираното ползване в горските територии, собственост на физически лица и обема на ползване над планираното.

Атрибутната таблица, изградена като второ структурно ниво е геокодирана към векторната база данни с границите на имотите. Атрибутната таблица е с над 150 полета и съдържа - идентификатор на имота, отдел/подотдел, вид на сечта, предвидено ползване, действително добити количества дървесина, таксационни данни за всеки обект и други данни (фиг. 2).

ГСП	Отдел	Подотдел	Площ, ха	ГСУ	Земелище	Община	Имот№	Вид собственост	Собственик	Функционална група 1	Функционална група 2	Насока на стопанисване	Вид сеч	Интенсивност %	Предвидено ползване m³	Действително добито m³	Ползване над планираното %
1	2022	м	3.2	ГСУ Устово-Момчиловци	с.Бостина	общ.Смолян	05801.70.36	Частна	Физически лица	Стопанска	Я	възоб.	пост.мол	20	235	119.78	
2	166	к1	0.3	ГСУ Смолян	гр.Смолян	общ.Смолян	67653.529.22	Частна	Физически лица	вододейна зона	курортна гора	отп.	проб	15	20	38	90.0
3	3103	е	0.4	ГСУ Пампорово	гр.Смолян	общ.Смолян	67653.656.14	Частна	Физически лица	защ.зона местообитания	вододейна зона Б	възоб.	гр.пост	20	35	70	100.0
4	162	х1	4.9	ГСУ Смолян	гр.Смолян	общ.Смолян	67653.535.1	Частна	Физически лица	Стопанска	Я	възоб.	пост.мол	25	260	394	51.5
5	189	а	5.5	ГСУ Смолян	с.Турян	общ.Смолян	73482.11.3	Частна	Физически лица	защ.зона местообитания	защ.зона за птиците	възоб.	гр.пост	25	690	755.27	19.9
5	189	б	1.3	ГСУ Смолян	с.Турян	общ.Смолян	73482.11.3	Частна	Физически лица	защ.зона местообитания	защ.зона за птиците	възоб.	гр.пост	25	150	206	37.3
6	2124	н	2.3	ГСУ Устово-Момчиловци	гр.Смолян	общ.Смолян	67653.861.15	Частна	Физически лица	Стопанска	Я	възоб.	гр.пост	25	150	206	37.3

Фиг. 2. Извадка от таблицата с атрибутни данни за обектите

3.2. Анализ на данните от горскостопанските програми на планираните сечи в изследваните обекти в ДГС „Смолян“

Съгласно баланса на горските територии в отчетна горскостопанска форма ОГФ1 за ТП „ДГС Смолян“ [12] в табл. 1 е представено разпределението на площта по видове собственост и вид територия. С основен дял са горските територии държавна собственост - 16 979 ха (59%). На второ място са горските територии - собственост на физически лица - 7 209 ха (25%), което е 1/3 от горите на територията на стопанството. Следователно начинът на стопанисването им би оказал значителен ефект върху цялостния облик на горското стопанство в този район. В табл. 2 са обобщени данни за годишното ползване в горите с държавна собственост и в горите, които

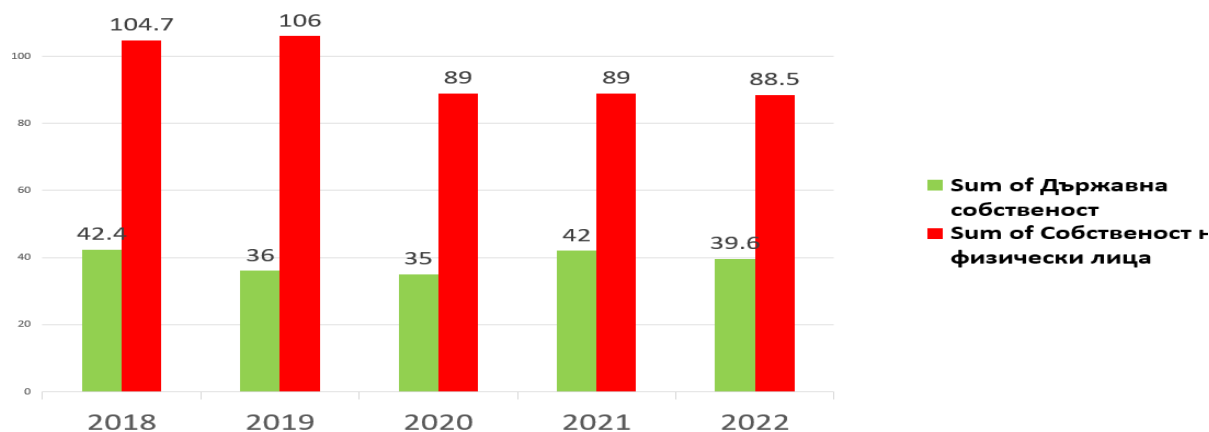
са собственост на физически лица. Завишеното ползване на дървесна маса през 2018 г. и 2019 г. се дължи на възникналите повреди на големи площи, причинени от абиотични фактори – смерч. На фиг. 4 е направена е съпоставка между ползването на 1 хектар в горите с държавна собственост и тези, които са собственост на физически лица. Има значителни разлики при двата вида собственост в начина на стопанисване и организация на горите в тях. Вижда се ясна тенденция, че ползването на 1 хектар е два пъти повече в горите частна собственост спрямо горите държавна собственост.

Таблица 3. Разпределение на площта ДГС „Смолян“ по вид собственост и територия

Вид собственост (към 31.12.2022 г.)		Площ, ha	% от общо за ДГС
Държавни горски територии		16 979	59.0%
Общински горски територии		828	2.9%
Гори на физически лица		7 209	25.0%
Гори на юридически лица		1 038	4.0%
Гори на религиозни организации		35	0.1%
Гори на МОСВ		212	0.7%
Гори върху земеделски територии	Държавни	275	1.0%
	Общински	906	3.0%
	Частни физически лица	992	4.0%
	Частни юридически лица	69	0.2%
	Религиозни организации	37	0.1%
	общо	2 279	8.0%
Гори върху горски територии	Общо	26 301	92.0%
ОБЩО за ДГС „Смолян“		28 580	100.0%

Таблица 2. Годишно ползване в ТП „ДГС Смолян“ за периода 2018-2022 г. в m³

Вид собственост	2018	2019	2020	2021	2022
Гори – държавна собственост	62 882	46 547	32 555	33 371	35 417
Гори - собственост на физически лица	43 969	34 562	18 475	16 171	23 191



15. Фиг. 3. Годишно ползване на хектар в ДГС „Смолян“ за периода 2018-2022 г.

3.3. Анализ и дешифриране на спътникови изображения

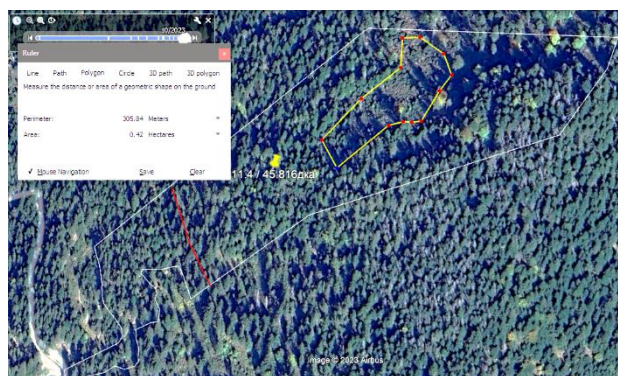
При изследване на обектите е използван слой Кадастър с векторните данни за имотите на територията на ДГС „Смолян“ в среда на MKAD с директна връзка с Google Earth Pro. Границите на избраните горски имоти са визуализирани върху спътниковите изображения. Извършен е разновременен анализ на промените в насажденията, картирани са граници, измерени са разстояния и площи. Направена е оценка за състоянието на дървостойките след проведените мероприятия в тях. В статията са представени примери за извършения анализ на обекти № 3, 9, 21 и 22.

На спътниковото изображение на фиг. 4 в среда на Google Earth Pro е показан **Обект 3** с планирано мероприятие само в подотдел 189/а - групово-постепенна сеч с интензивност 30% и очакван добив от дървесина от 340 m³ без клони. Действително отсечената дървесина е 714.39 m³. На изображението на фиг. 4 е установено, че през 2019 г. е започнало съхнене на единични дървета поради въздействие на биотични фактори. Стрелките са посоката на разпространение на възникналата повреда. Горскостопанската програма на имота е утвърдена през 2021 г., като мероприятията са изведени през 2021 г. и 2022 г.



Фиг. 4. Обект 3, подотдел 189/а на ДГС „Смолян“ през 2019 и 2023 г.

На изображението от 2023 г. на фиг. 4 се наблюдава влошено състояние на насаждението след изведените сечи. Ненавременното откриване на възникналия калямтитет от върхов корояд и не предприети действия по ограничаването му са повлияли негативно върху състоянието на дървостоя. След изсичане на засегнатите дървета и извеждането на редовна сеч се е образувала гола площ от 0.42 ха, като на отделни места се забелязва разреждане на дървостоя (фиг. 5).



Фиг. 5. Обект 3, подотдел 189/а на ДГС „Смолян“ през 2023 г. след изведени сечи

На фиг. 6 е представен **Обект 9** с площ 3.3 ха., с планирана групово-постепенна сеч с интензивност 20% и очакван добив дървесина 250 m³ (без клони). Действително добитото количество е 504 m³, което е 2 пъти повече от планираното. На изображението от 2020 г. се вижда, че изведената сеч не съответства на планираната. Не са отворени прозорци в местата със започнал възобновителен процес, а дървостоят е изреден равномерно по цялата площ. През 2021 г. възникват повреди от биотични фактори, поради което е изведена санитарна сеч, след която са добити още 136 m³. След извеждане на сечта и усвояване на последвалите повреди от биотични фактори, състоянието на насаждението е видимо влошено 2023 г (фиг. 6).



Фиг. 6. Обект 9, имот 673.29 - ДГС „Смолян“ през 2019, 2020 и 2023 г.

На фиг. 7 са показани **Обект 21** и **Обект 22**. Имот 438.402 с обща площ 3.33 ха. Планирана е групово-постепенна сеч с интензивност 25% и размер на очаквания добив 350 m³ без клони. Действително добитото е 511 m³. Имот 438.401 е с обща площ 1.61 ха. В него е изведена санитарна сеч. Изображението е от 2020 г. и ясно показва началото на възникнали повреди от биотични фактори.

На фиг. 8 по изображение от 2022 г. е установено състоянието на насажденията след проведените сечи. В имот 401 се е образувала гола площ от 0.16 ха. За усвояване и извозване на дървесината при извеждане на сечите в имотите е изграден временен автомобилен горски път. Схемата за добива на дървесина е спазена, но би било много по-ефективно и прецизно, ако тя се изработи в среда на ГИС. При изграждането на пътя са добити 109 m³ стояща маса с клони на площ от 0.3 ха. Измерена е ширината на просеката, създадена за изграждане на пътя, която достига до 11 m ширина. Според Наредба № 5 за строителството в горските територии [5], при изграждане на пътища от тази категория, просеката не трябва да е повече от 8 m (или 10 m за наклони над 45%). На фиг. 8 се вижда действителното състояние на пътя.



Фиг. 7. Обекти 21 и 22, имоти 438.402 и 438.401 на ДГС „Смолян“ през 2020 г.



Фиг. 8. Обекти 21 и 22, имоти 438.402 и 438.401 на ДГС „Смолян“ през 2022 г.

3.4. Теренна проверка от РДГ

За да се извеждат сечи в горски територии, собственост на физически лица, е необходимо собственикът на имота да възложи изготвянето на горскостопанска програма на специалист-лесовъд. Програмата се въвежда в РДГ за утвърждаване, след което се назначава комисия, която да я разгледа по документи и на терена. Комисията извършва проверка, като констатира изпълнението на разпоредбите на Закона за горите и подзаконовите нормативни документи. При проверката на терена се установяват параметрите на извършената от лесовъда инвентаризация

на насаждението. При необходимост се правят и допълнителни таксационни измервания за проверка на някои от показателите на дървостойте. Проверява се участието по дървесни видове, средната възраст, височината и диаметърът на дървостоя, запаса на хектар и др., както и описанието на наличния подрост. При така установения ред, едно насаждение в частен имот се обхожда и наблюдава два пъти – от една страна от лесовъда на частна практика и от друга страна – от комисията към РДГ, преди да бъде одобрена документацията за извършване на сечта.

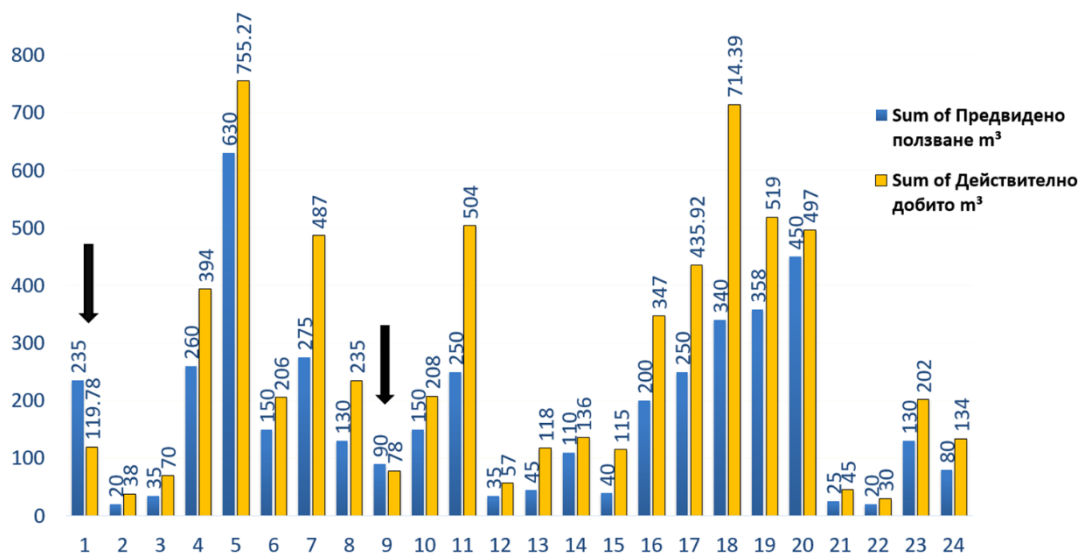
Всяка една от утвърдените горскостопански програми за обектите, разглеждани в настоящата работа, е преминала по горепосочения ред. Следователно планираните мероприятия и размер на ползване са детайлно анализирани преди да бъдат утвърдени и би трябвало да има незначителни отклонения от планираното ползване, ако се спазват всички разпоредби и лесовъдските правила.

При анализа на обектите са използвани данните от утвърдените горскостопански програми в регистъра на РДГ „Смолян“ и информацията от протоколите за освидетелстване на сечищата, съхранявани в интернет информационната система на ИАГ – SYSTEM.IAG.BG [15]. Протоколите за освидетелстване на сечище съдържат данни за действително отсечените количества дървесина по дървесни видове и категории дървесина (едра, средна, дребна). Чрез протоколите и данните от горскостопанските програми се прави съпоставка между планираното и реализираното в даден имот, като в комбинация с разновременния анализ по спътникови изображения се добива цялостната представа за провеждането на сечта, водещите цели при стопанисването на дадения имот и резултатите от приложените мероприятия.

В резултат на цялостната работа на контролните органи са извлечени цифрови данни за състоянието на насажденията в частните имоти по теренни контролни измервания и актуални спътникови изображения. Определен е видът, параметрите и обемът на добитите количества дървесина и обобщена документация от анализа на данните за установеното ползване над планираното. Създадени са специализирани данни, с които е надградена базата данни на ГИС - установените разлики между планираните и реално изпълнени сечи и оценката на въздействието от изведените мероприятия в насажденията.

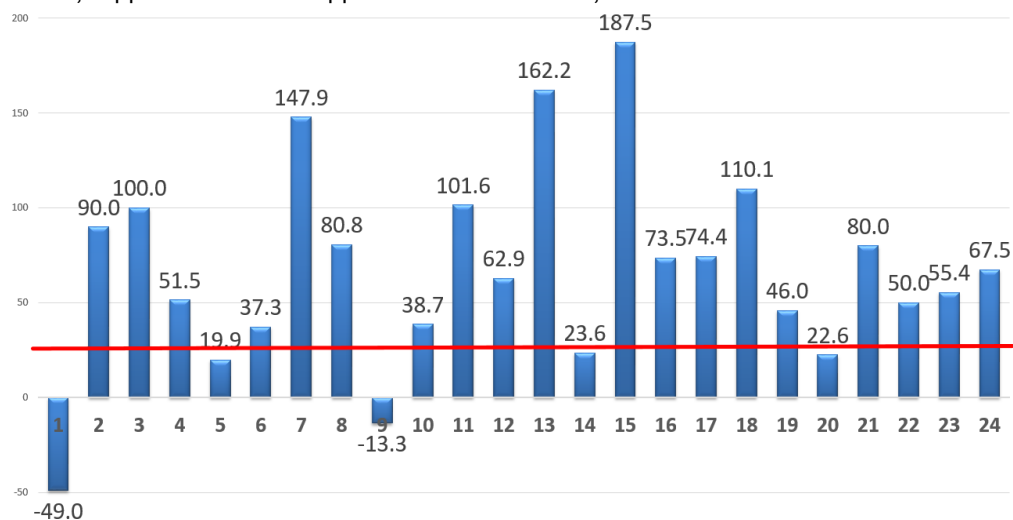
4. ОБСЪЖДАНЕ

В разработената база данни на ГИС за изследваните имоти е посочена водещата функция на горската територия, в която попада имотът (защитна, специална или стопанска) и насоката за стопанисване на насажденията (възобновителна и отгледна). Записани са видовете сечи, изведени в насажденията. Групово-постепенна сеч – в 18 от имотите, постепенно-котловинна сеч – в 3 от имотите; пробирка – в 3 от имотите. Показана е интензивността на сечта, която варира от 15% до 30% в зависимост от състоянието на насажденията. Посочено е предвиденото ползване, изчислено чрез общия запас в границите на имотите и интензивността на ползване, също така и действително добитите количества от Протоколите за освидетелстване на сечища в SYSTEM.IAG.BG. Изчислени са разликите между планираните количества за всеки имот в реални стойности в m^3 и в проценти. На фиг. 9 е представена съпоставка между предвиденото ползване и действително добитото. Само 2 от изследваните 24 имота реалното ползване не е над планираното, а във всички останали 22 случая е превишено.



Фиг. 9. Сравнение на предвиденото ползване и действително добитото

При таксирание и при маркиране на насажденията отклоненията между определения запас и ползването могат да достигат до 25%. На фиг. 10 се вижда, че в 19 от 24 имота ползването е над планираното с повече от +25%. Общо планирания добив на дървесина за всички изследвани имоти е 4308 m³, а действителния добив е 6445.36 m³, което е с 66.8% повече от планираното.



Фиг. 10. Сравнение на реалното ползване над планирания добив на дървесина

В доклада е изследвана и потвърдена тенденцията на висока интензивност на извършваните сечи в горски територии, собственост на физически лица. Частните имоти я изследвания обект са сравнително малки по размер и разпръснати на територията на цялото стопанство ДГС „Смолян“, а проследяването на процесите и контрола на резултатите от извършените в тях мероприятия от РДГ е изключително трудоемко. Този процес се улеснява и ускорява многократно след прилагането на дистанционните методи и ГИС, които са в основата на предложената технология.

Извършваните в различно време разнородни лесовъдски дейности в доста на брой маломерни горски имоти, разпръснати на голяма територия с трудни за обхождане теренни условия, водят до понижаване на ефективността от контрола на изпълнението на дейностите в тези имоти. Това налага изборът на комбинирана методика с използване на традиционните таксационни измервания на терена, Решението на проблема се състои в приложението на ГИС, фотограмметрия и дистанционни методи, съчетани с традиционните методи при контрола на горскостопанските работи.

Част от разглежданите проблеми, свързани с маломерността и разпръснатостта на горските имотите, чието решение се търси в настоящата разработка, се дължат на начина на възстановяване на собствеността в земите и горите в горските територии на България, направено през 90-те години на XX в. [4], [9], [10]. Това доведе до изкуствена разпокъсаност в горските територии, изкривяване на таксационните данни и трудно поддържане на

информацията за стопанисването им [2]. И до сега цифровите модели има неотстранени гроби („явни фактически грешки“) и систематични грешки във векторната базата данни за горите у нас по отношение на графическите елементи, собствеността, вида на територията, предназначението и начина на трайно ползване. Не са малко случаите, за които грешките и разминаванията между графичната и атрибутната базата данни са причина за унищожаване на цели насаждения – на терена са гори, а по документи са обработваеми площи, пасища и др.

Анализът на получените резултати сочи, че в голяма част от горските имоти е допуснато неправилно прилагане на разпоредбите на Наредба № 8 за сечите в горите [6]. Основните разминавания са в технологията на извеждане на сечта. От изведените два вида възобновителни сечи, общото между тях е, че дървостоят се изсича чрез отваряне на прозорци (котли) в местата със започнал възобновителен процес за период – при групово-постепенната не по-малък от 40 години за високостъблените и 30 години за издънковите насаждения, а за постепенно-котловинната за период не по-малък от 20 години, а за насаждения, попадащи в защитени зони по НАТУРА2000, е 30 години.

При анализ и дешифриране по разновременни спътникови изображения на изследваните обекти с изведени възобновителни сечи, се установи, че в голяма част от насажденията не е спазена технологията на сечта. Дървостоят е изреждан равномерно по цялата площ с голяма интензивност, което е по-характерно за краткосрочно-постепенните сечи. В някои насаждения след така изведените сечи и последвалите ги повреди от абиотични и биотични фактори състоянието им е значително влошено. В смесените насажденията от изображенията е видно, че ползването е главно от наличните иглолистни видове, без значение какво е процентното им участие в основния дървостой. При провеждане на отгледни сечи се забелязва, че е допуснато разкъсването на склопа и отварянето на прозорци, което не следва да се допуска по време на отглеждане на дървостоя. Съгласно разпоредбите на нормативната уредба, след извеждането на сечта, средната пълнота на насажденията не би следвало да бъде по-ниска от 0.7.

Негативните резултати от нецелесъобразно стопанисване в частните гори се наслагват с условията на промени в климата и чести периоди на засушавания, които водят до възникване на фитосанитарни проблеми, свързани с болести, вредители и други поражения от биотичен и абиотичен характер и повишен риск от горски пожари.

От направеното изследване се потвърди, че масово основната цел на собствениците на горски имоти е максимална икономическата полза от извършваните сечи. Не се предвиждат допълнителни инвестиции за подпомагане на възобновяването, залесяване или други мероприятия, които биха подобрили състоянието на гората в бъдеще. Основен водещ елемент при воденето на сеч е пазарната ситуация за дървесина, поради което в много смесени насаждения при сечта се избира дървесният вид, който е най-търсен в момента на пазара. Това не е научно обоснован аргумент и води до влошаване на състоянието на гората, както и ограничава потенциала ѝ в бъдеще. Собственикът не гледа на имота си като дългосрочна инвестиция, която би имала по-голяма възвращаемост в един бъдещ момент.

5. ИЗВОДИ И ПРЕПОРЪКИ

В резултат на приложената комбинирана технология за контрол на дейностите в горски територии, собственост на физически лица, чрез възможностите на дистанционните изследвания и ГИС могат да се направят следните обобщения и изводи. Автоматизирани са дейностите по контрол на мероприятията в горски територии - частна собственост, като е постигната бързина и удобство в работния процес чрез приложените иновативни решения за компютърно анализиране на състоянието на насажденията преди и след извеждане на мероприятията. Повишена е точността и ефективността при контрола на извършваните мероприятия и добиваните количества дървесина в горски територии, собственост на физически лица. Получени са обективни данни и информация за начина на стопанисване на гори от частните собственици и е направена оценка за прилагането на Закона за горите в тези специфични по своето стопанисване и управление горски територии.

Анализираните проблеми в настоящата разработка относно стопанисването и контрола на горски територии с частна собственост могат да намерят ефективни технологични решения, препоръките за които са формулирани по следния начин.

Необходимо е създаване на обща база данни на ГИС за горскостопанските програми в България на ниво РДГ, която в момента не е изградена и това затруднява в голяма степен контрола в горските територии - частна собственост. Препоръчително е да се завиши

ефективността на контролните дейности на РДГ и да се заложи прилагането на нови технологии и свободно достъпни данни и платформи за ГИС, които ще дадат възможност за своевременен контрол и бързо локализиране на проблемни сечища на терена. Заснемането на действащи сечища с безпилотна летателна система в края на определения срок за извеждане на сечта и дешифрирането на получените изображения на засегнатите насаждения, ще даде точни данни за прецизността на изведените лесовъдски мероприятия и съответно насоката, в кои проблемни сечища трябва да бъде проведен по-строг режим на контрол. Степента на изпълнение на мероприятията и динамиката в състоянието на насажденията е целесъобразно да се констатира чрез теренни проучвания, съчетани с разновременен анализ на цифрови изображения на горската територия. Наложително е подобряването на културата на стопанисване на частните собственици и повишаване на отговорността им към притежавания от тях горски ресурс посредством по-добро информиране чрез технологията на ГИС и по-ефективен контрол от РДГ.

Препоръчително е уедряването на частните горски имоти чрез изработване на планове за уедряване на частните горски имоти съгласно Закона за горите. Това ще доведе до събиране на разпокъсаната и разпръсната частна собственост в горските територии. Стопанисването им под формата на дружества или кооперации ще повиши и оптимизира начина на управление на горите с частна собственост. Така ще бъдат значително подобрени продуктивността и състоянието на насажденията в горските имоти. Необходимо е да се изработи механизъм, по който да бъдат субсидирани собствениците на горски имоти, заради наложените им законови ограничения и режими върху тяхната собственост. Така те няма да търсят единствено извличане на максимална икономическа полза от добива на дървесина, а ще бъдат насърчени да стопанисват имота си и горския ресурс устойчиво и природосъобразно,

6. ЛИТЕРАТУРА

1. Асенова, М. Геоинформационни подходи и решения в приложението на ГИС за горски територии. София, Издателство: Интел Ентранс. 2023. 144
2. Асенова, М., Е. Евангелов. 2003. Проблеми при определяне границите на горските имоти и насаждения в лесоустройственото проектиране”, сп. „Лесовъдска мисъл”, бр. 1-4/2003 (28), 60-68
3. Закон за горите, ДВ бр.19/8.3.2011 г.
4. Закон за кадастъра и имотния регистър (ЗКИР). 2000. ДВ. бр.34/25.04.2000 г.
5. Наредба № 5 от 31 юли 2014 г. за строителството в горските територии без промяна на предназначението им
6. Наредба № 8 от 05.08.2011 г. за сечите в горите
7. Наредба №1 за контрола и опазването на горските територии, ДВ бр.11/07.02.2012.
8. Наредба № 18 за инвентаризация и планиране в горските територии, ДВ бр.82/23.10.2015 г.
9. Наредба № 49 от 5.11.2004 г. на МЗГ за поддържане на картата на възстановената собственост
10. Наредба № 1 от 27 януари 2000 г. за техническите дейности при възстановяване на собствеността върху горите и земите от горския фонд, МЗГ
11. Обяснителна записка и ГСП на ТП „ДГС Смолян“, 2022 г.
12. РДГ „Смолян“ - баланс на горските територии (ГФ за 2022 г., 2021 г., 2020 г., 2019 г., 2018 г.
13. Структура на записа на картата на възстановената собственост в цифров вид (ZEM – единен формат) – версия 3.03 МЗХ /заповед № РД 09-24/18.01.2011 г. МЗХ
14. Тепелиев, Ю., Р. Колева, М. Асенова. 2018. Фотограметрия и дистанционни методи, Издателска къща при ЛТУ – София, 279 с
15. Информационна система на ИАГ <https://www.system.iag.bg>
16. <http://www.kolma.bg/mkad.html> Софтуерен продукт MKAD
17. <https://qgisbg.github.io/docs/> Софтуерен продукт QGIS
18. <http://www.agrolesproject.com> Специализирани данни във формат ZEM
- 19 <https://kais.cadastre.bg/bg>. ГИС на АГКК
20. <http://www.google.com/intl/en/earth/index.html> Платформа Google Earth Pro
21. <https://www.oruxmaps.com/> Софтуер Oruxmaps.

АДРЕСИ НА АВТОРИТЕ

1. Маг. инж. Севдин Нинов
Регионално управление по горите – Смолян
ул. "Първи май" № 2, Смолян, 4700, България
Тел: +359 884 810 510
ninov@smolian.iag.bg
2. Проф. д-р инж. Мария Асенова
Лесотехнически университет
бул. „Климент Охридски“, № 10, София 1797, България
Тел. + 359 885 936 370
maria_asenova@ltu.bg.

**ПРИЛОЖЕНИЕ НА РЕЗУЛТАТИТЕ ОТ АВТОМАТИЗИРАНА КОМПЮТЪРНА
КЛАСИФИКАЦИЯ В ГИС ЗА ГОРСКИ ТЕРИТОРИИ**

Доц. д-р инж. Радка Колева, ас. инж. Станимира Стоянова – ЛТУ, София

**APPLICATION BASED ON THE RESULTS OF AUTOMATED COMPUTER
CLASSIFICATION IN GIS FOR FOREST AREAS**

Assoc. Prof. Dr. Eng. Radka Koleva, Assist. Prof. Eng. Stanimira Stoyanova.

SUMMARY

The automated processing of digital images provides multi-temporal and objective information about the state of forests. This paper presents the possibilities of applying the computer classification of a multispectral image from the Landsat 7 ETM⁺ satellite for the Regional Forest Directorate Burgas territory. A technological scheme for controlling and monitoring the forests in a GIS environment is proposed. The results were used to create a digital thematic map. The application of automated technologies facilitates the collection and analysis of data, leading to better management of forest resources and environmental protection for large areas of forests.

Keywords: remote sensing, forest areas, multispectral satellite image, automated computer classification, training sites.

РЕЗЮМЕ

Автоматизираната обработка на цифрови изображения осигурява разновременна и обективна информация за състоянието на горските масиви. Разработката представя възможностите за прилагане на компютърна класификация на многоканално изображение от спътника Landsat 7 ETM⁺ за територията на Регионална дирекция по горите – Бургас. Предложена е технологична схема за контрол и мониторинг на горите в среда на ГИС. Резултатите са използвани за създаване на цифрова тематична карта. Прилагането на автоматизирани технологии улеснява събирането и анализа на данни, което води до по-добро управление на горските ресурси и опазване на околната среда за големи площи от горските територии.

Ключови думи: дистанционни методи, горски територии, многоканално спътниково изображение, автоматизирана компютърна класификация, обучаващи множества.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

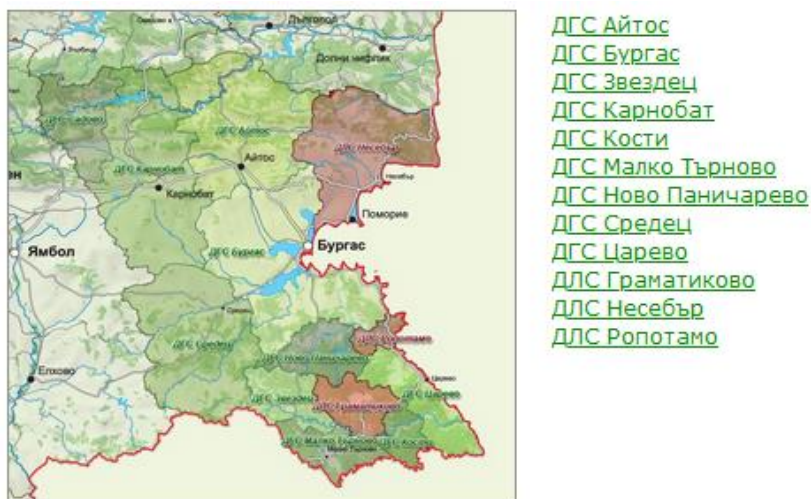
Горските територии в България заемат от 33.25% от територията на страната, като общата им площ според Баланса на територията по начин на трайно ползване на поземлените имоти към 31.12.2023 г. на Националния статистически институт, възлиза на 36 910.09 km² [7]. Тяхното съхранение и опазване е насочено към поддържане на жизнени и многофункционални горски екосистеми. Прилагането на фотограметрични и дистанционни методи и внедряването на

географски информационни системи (ГИС) за горски територии осигуряват обективна, актуална и точна информация и позволяват бърза и ефективна работа с нея. Цифровата обработка на многоканални спътникови изображения като компонент от базата данни на ГИС за горски територии е подходяща за извличане на тематична информация за горите.

Основна цел на разработката е изследване на възможностите за прилагане на автоматизирана класификация на многоканални спътникови изображения и използване на резултатите от нея в среда на ГИС за горски територии.

2. ОБЕКТ ИЗСЛЕДВАНЕТО

Обект на изследването е територията на Регионална дирекция по горите (РДГ) – Бургас. Тя включва 9 държавни горски стопанства (ДГС) и 3 държавни ловни стопанства (ДЛС) (фиг. 1) и стопанисва горските територии в следните общини: Средец, Созопол, Малко Търново, Приморско, Царево, Бургас, Камено, Карнобат, Сунгурларе, Айтос, Руен, Несебър и Поморие [6].



Фиг. 1. Териториален обхват на РДГ – Бургас [6]

3. ИЗПОЛЗВАНИ ДАННИ И МАТЕРИАЛИ

3.1. Спътниково изображение от Landsat 7 ETM⁺

Спътниковото изображение е получено от Landsat 7 TM чрез сензора Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM⁺) – многоканален сканиращ радиометър, който осигурява данни за изображения в осем спектрални канала (табл.1).

Таблица 1. Спектрален обхват на каналите на сензора ETM⁺

Канал	Спектрален обхват, nm
1 - Blue	450 - 515
2 - Green	525 - 605
3 - Red	630 - 690
4 - Near Infrared (NIR)	750 - 900
5 - Shortwave Infrared (SWIR) 1	1550 - 1750
6 - Thermal	10400 - 12500
7 - Shortwave Infrared (SWIR) 2	2090 - 2350
8 - Panchromatic	520 - 900

Пространствената разделителна способност (ПРС) на изображенията е 30 m за видимата и близката инфрачервена област (каналите от 1 до 5 и 7), 15 m за панхроматичния канал (8) и 60 m за топлинния инфрачервен канал (6). Приблизителният размер на една сцена е 170 x 185 km.

Landsat 7 пресича екватора в 10 часа местно време. Относително голямата височина на Слънцето в този час намалява засенчените области в изображенията, което подпомага изследването на растителността чрез автоматизирани методи, тъй като сенките влияят на спектралната ѝ сигнатура. Големият брой канали и техният спектрален обхват са предпоставка за разграничаването на растителните видове, на облаците и снега, измерването на почвената влажност и водното съдържание на растителността, и изследването на хидротермални процеси в някои скали.

3.2. Топографски и тематични карти

Наборът от горскостопански карти за всяка горскостопанска единица включва разнообразна тематика. Това е свързано с подробната инвентаризация у нас и нормативната уредба за представяне на богата и детайлна информация за характеризиране на всяко горско насаждение в различни аспекти и характеристики като: вид на планираните мероприятия (вид на сечта); вид на планираните противопожарни мероприятия за защита на горските територии; вид собственост; землище; горскостопански участък; тип почва, основна скала, месторастение; тип гора; вид насаждение; ловностопански мероприятия, ловище, ловностопански район; принадлежност към санитарно-охранителна зона (вододайна зона); здравословно състояние на насаждението; елемент от горскопътна мрежа; част от защитени зони по Закона за биологичното разнообразие Натура 2000 (Директива за хабитатите или за птиците), гори във фаза на старост; принадлежност към гори с висока консервационна стойност за територии, представляващи редки, застрашени или изчезващи екосистеми [1].

Използвани са топографски карти в М 1:50 000 и тематични горскостопански карти в М 1:10 000 и 1:25 000 на хартиен носител, както и цифрови карти на ДГС и ДЛС от РДГ – Бургас.

3.3. Използван софтуер

За цифровата обработка на изображението е използван софтуерният пакет за дистанционни изследвания ERDAS IMAGINE, за създаването на тематични карти е приложен свободно достъпният софтуер QGIS, а допълнителна проверка на данните и резултатите е извършена в платформата Google Earth Pro.

4. ПРИЛОЖЕНИЕ НА ГИС ЗА ЦЕЛИТЕ НА ГОРСКОТО СТОПАНСТВО

4.1. Анализ и оценка на данните от различните източници

В базата данни (БД) на една ГИС се съдържат два основни типа данни – графични и неграфични. От своя страна графичните данни, като цифрови описания на графичните елементи, могат да се записват във векторен вид (чрез точки, линии и площи) или в растерен вид (чрез мрежови клетки или пиксели), придружени с условни знаци и надписи (анотации).

Векторните данни се представят чрез равнинни или пространствени координати на местоположенията на точки и линии или като правила за изчисляване на координатите и свързване на точките като линии или площи. Тези данни дефинират полигони, обекти и други сложни множества, които могат да бъдат обработвани или визуализирани въз основа на техните атрибути.

Растерните данни са важен компонент във всяка ГИС. Те представляват изображения, съставени от пиксели, като всеки пиксел съдържа информация за определена характеристика на дадена площ. В контекста на горското стопанство и класификацията на растителността, растерните данни успешно се използват за анализ и мониторинг на горски територии [2].

Обобщение на предимствата и недостатъците на векторните и растерните данни е представено в табл. 2.

Таблица 2. Предимствата и недостатъци на векторните и растерни данни

	Растерни данни	Векторни данни
Предимства	Представяне на непрекъснати явления	Висока точност и детайлност

	Съвместимост с дистанционните изследвания Спътниковите и аерофотоизображенията се съхраняват като растерни данни, което ги прави лесни за използване и анализ Лесна обработка и манипулация с данните, като филтриране, сегментация и класификация	Малки размери на файловете Лесно редактиране, обновяване и анализ
Недостатъци	Големи размери на файловете По-ниска геометрична точност, която зависи от ПРС, загуба на топографска детайлност Ограничени възможности за редактиране Качество на изображенията	Сложност при представяне на биофизични променливи като температура, надморска височина или растителна покривка Изчислителна сложност: обработката на сложни геометрични форми може да изисква значителни изчислителни ресурси

ГИС са ефективно средство за представяне на пространствена информация. Базите данни на ГИС съдържат основни компоненти на пространствени или географски данни: местоположение, характеристики (тематични атрибути) и комбинация от тях. Допълнителна характеристика на цифровите карти, представяни чрез ГИС е, че те често са интерактивни и имат връзка с различни бази данни и като такива позволяват по-сложни заявки. В използваната днес цифрова среда почти не съществува разлика в използването на топографските и тематичните карти [5]. Те се съхраняват в БД на ГИС и се визуализират като отделни слоеве с данни. Резултатът от пространствен анализ може да бъде слой от пространствени данни, от който може да се създаде карта, за да се представят разликите. Параметрите, използвани по време на обработката (процедурите), се основават на модели, разработени от софтуера за ГИС. За да се представят пространствените данни ефективно, наличната пространствена база данни трябва да е добре структурирана. Създаването на пространствена БД в ГИС за горското стопанство включва няколко ключови стъпки за събиране, анализиране и използване на геопропространствени данни за управление и мониторинг на горите. Схемата на фиг. 2 представя процес на обработка на географски данни, свързани с горски територии, който обикновено започва със събиране на данни и завършва с вземане на решения.



Фиг. 2. Схема на ГИС процес за територията на РДГ Бургас

4.2. Дистанционни методи и ГИС за горските територии

Информационното осигуряване в горското стопанство е в пряка зависимост от законовата и нормативна уредба у нас, както и от протичащите геоинформационни процеси, свързани с новите технологични решения за получаване, натрупване и структуриране на данни и развитието на информационната инфраструктура за публикуване и обмен на данни и услуги. Общата цел на информационното осигуряване в горския сектор е подсигуриването на навременен достъп до пълни, точни и актуални данни; осъществяване на обмен на данни за вземане на управленски решения; по-добра комуникация между различните звена и външни институции; намаляване на дублирането на данни, задачи, време и усилия; бързо и ефективно обслужване на всички потребители и заинтересовани страни [1].

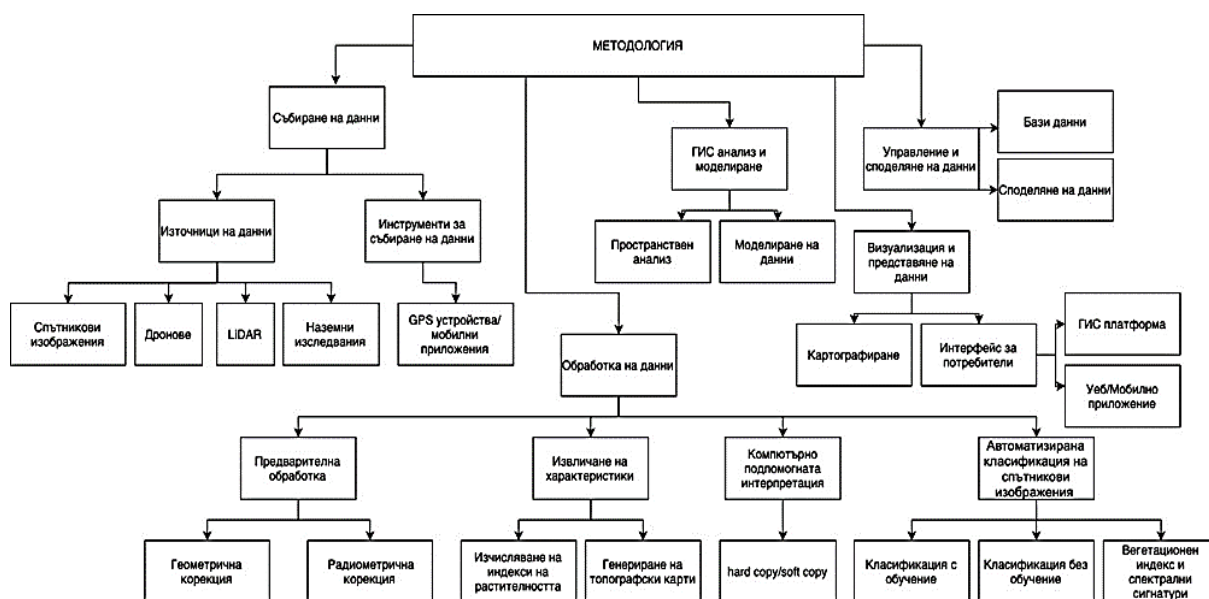
Основните компоненти на качеството на пространствените данни включват позиционна точност (хоризонтална и вертикална), времева точност (актуалност), тематична точност (на атрибутите), пълнота и логическа последователност.

Дистанционните методи дават възможност за мониторинг на горите, като информационните решения относно техните ресурси може да се осъществяват непрекъснато. Някои отрицателно действащи фактори върху горските територии са:

- изсичането на гори – влияе на голям брой горски видове, като се унищожават популациите, прекъсва се генетичната информация, поради фрагментация на местообитанията. Голата сеч в най-голяма степен унищожават разнообразието на дървесните и храстовите видове, срещащи се рядко или поединично в насажденията;
- залесяване с иглолисти култури – извършва се предимно върху каменисти терени, които са с най-богатите местообитания в района. Загубите на биоразнообразие във флората и фауната са големи. Иглолистните насаждения влияят върху растителността на съседните територии, тъй като те поемат значителното количество влага и предизвикват засушаване на целия район;
- горски пожари – в изследвания обект те са сериозен екологичен фактор, влияещ върху биоразнообразието. В малки мащаби независимо от унищожаването на конкретни находища на отделни видове имат и положителен ефект, защото осигуряват място за по-светлолюбиви и по-неконкурентни видове. Опожаряването на значителни площи оказва значително влияние върху екологичното и биогеографското разнообразие;
- обезлесяване – причинено от социално-демографския фактор, като например увеличаване на населението, строителство на различни обекти, специфични експлоатационни дейности като търговска сеч, горско земеделие, добив на дърва за огрев, селско стопанство и разрешени пасища.

4.3. Технологична схема за приложение на ГИС за целите на горското стопанство

Методологията за приложение на ГИС за целите на горското стопанство е представена на фиг. 3. Чрез нея се изпълняват процедури по събиране, въвеждане, обработка, съхранение, визуализация, анализ, управление, интерпретация и моделиране на данните.



Фиг. 3. Технологична схема на ГИС за горското стопанство

5. АВТОМАТИЗИРАНА КОМПЮТЪРНА КЛАСИФИКАЦИЯ

Автоматизираната обработка на многоканални спътникови изображения се основава на пространственото разпределение на спектралната яркост на обектите от земната повърхност. За всеки канал на цифровото изображение количеството информация е пропорционално на броя на нивата на сиво (N), т.е. на радиометричната разделителна способност (PPC) на изображението. С увеличаване броя на каналите (K), т.е. спектралната разделителна способност на изображението, нарастват възможностите за дешифриране по спектрален признак [4].

Методите за автоматизирана компютърна класификация използват математическия апарат за разпознаване на образи – теория за приемане на решения (статистически или синтактичен – структурен, лингвистичен) [3]. Приложени са два метода на автоматизирана класификация на многоканални спътникови изображения – напълно автоматизирана класификация (без обучение) и класификация с обучение.

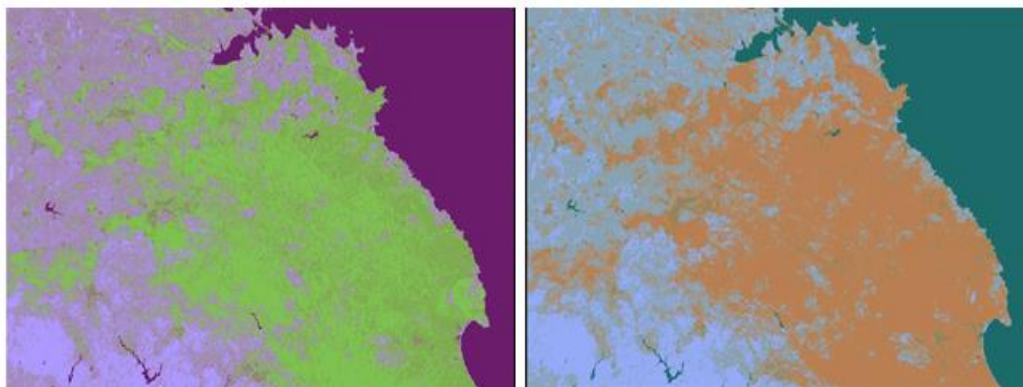
5.1. Класификация без обучение

При многоканалната автоматизирана класификация без обучение всеки пиксел от изображението се причислява към определен спектрален клас на базата на степента на сходство на спектралната му сигнатура. Програмата за кластер анализ сама определя сходни по спектрален признак групи от пиксели на базата на зададени правила за решение [3].

Всеки спектрален канал може да се визуализира на екрана като черно-бяло изображение, съдържащо определен брой нива на сивия цвят, съответстващ на PPC. При интерпретацията на изображения, едни от основните дешифровъчни признаци са тонът – нивото на сивото за черно-белите изображения и съответно цвета за цветните. При цветните спътникови изображения, получени от комбиниране на различни спектрални канали, цветовете могат да бъдат естествени, ако се използват каналите от видимата зона със съответното им кодиране за червено, зелено и синьо – R (red), G (green), B (blue) или условни – ако се използват спектрални канали извън видимата зона. Автоматизираната обработка на спътникови изображения е целесъобразно да се осъществява върху цветна комбинация от три канала – изображение в условни цветове. Дешифрирането на подобно изображение изисква познаването на спектралните отразителни характеристики на различните видове повърхности. При интерпретацията на площи, покрити с растителност, поради високата им отразителна способност в близката инфрачервена спектрална зона, се препоръчва в цветните комбинации и се включват каналите от тази зона.

Има много възможни схеми за получаване на цветни комбинации в условни цветове. Така например за изображенията от Landsat 7 ETM⁺ комбинацията от канали 4, 3 и 2 обикновено се използва за визуализиране в естествени цветове, а комбинацията от канали 4, 7 и 3 е полезна за подчертаване на определени характеристики като растителността и съдържание на влага. Създаването на комбинация от канали 7, 3 и 2 представя различни характеристики на ландшафта и е особено полезна за разграничаване на различни видове земно покритие и за идентифициране на зони с високо съдържание на влага. Комбинацията 7, 4 и 3 обикновено се използва за откриване на промени в растителността, земното покритие и съдържанието на влага в почвата и често се прилага при мониторинга на околната среда, горското и селското стопанство, особено за области, засегнати от обезлесяване, пожари или антропогенна дейност. Канал 7 (SWIR-2) е чувствителен към нивата на влага в почвата и растителността, което го прави полезен за идентифициране на съдържанието на вода и разграничаване на влажна и суха растителност. Канал 4 (NIR) отразява добре здравата растителност, което го прави много подходящ за изучаване на здравословното състояние на растителността. Канал 3 (Red) се абсорбира от хлорофила и е подходящ за идентифициране на видовете растителност и нивата на стрес в нея.

На фиг. 4 са представени резултатите от класификация без обучение за територията на изследвания обект върху цветни комбинации от спектралните канали 7, 4 и 3 и 4, 7 и 3.

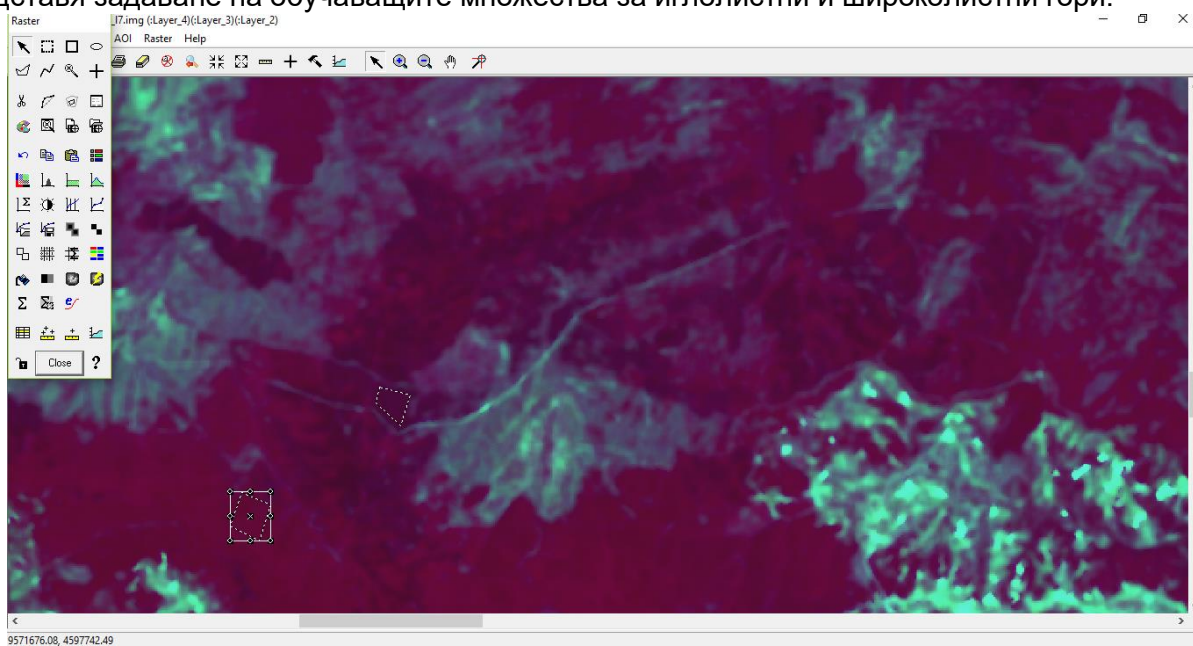


Фиг. 4. Класификации без обучение на спътниково изображение от Landsat 7 ETM⁺ на изследвания обект върху цветни комбинации от спектралните канали 7, 4 и 3 и 4, 7 и 3

5.2. Класификация с обучение

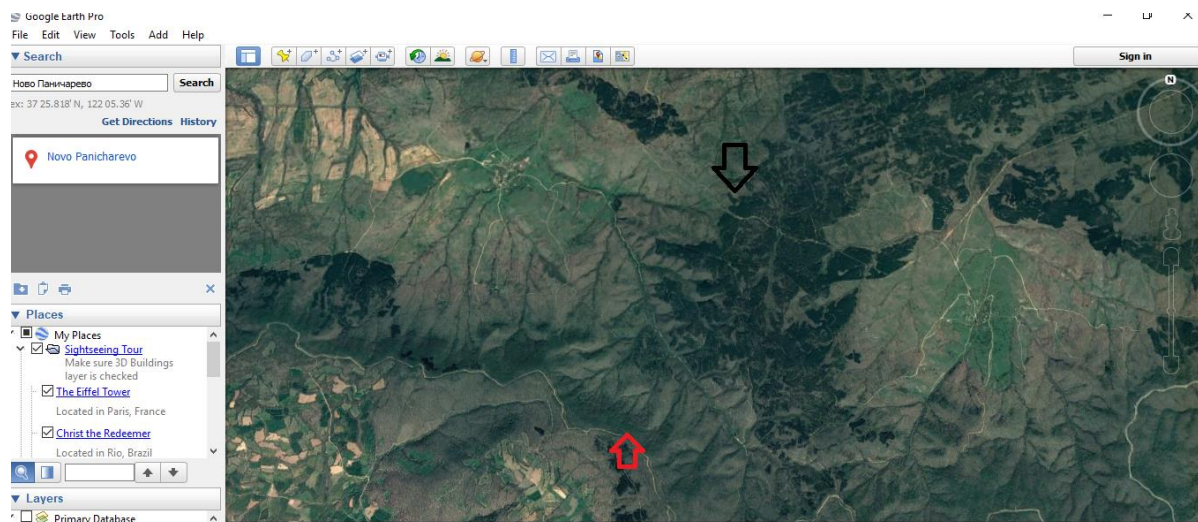
При многоканалната автоматизирана класификация с обучение всеки пиксел от изображението се причислява към определен спектрален клас на базата на степента на сходство на спектралната му сигнатура с тази на зададен от интерпретатора еталонен клас. Характеристиките на еталонния клас се определят чрез обучение на програмата- класификатор. В този случай интерпретаторът посочва върху изображението обучаващи множества от пиксели от спектрално хомогенни области, които по негова преценка принадлежат към даден клас земни обекти – интерпретационен клас [3]. Границите на обучаващите множества се изчертават и записват във векторен вид. Класификацията на изображението се определя като процес на извличане на диференцирани класове или тематично свързани обекти (напр. категории земеползване, растителни видове и др.) от спътниковите данни.

Обучаващите множества се използват в процеса на класификацията да обучат софтуера, да идентифицира и класифицира различните типове земно покритие в спътниковите изображения или други растерни набори от данни. Процесът се състои в изчертаване на полигони, които представляват области в изображението, където земното покритие е известно за интерпретатора вследствие предварително проучване на терена и анализ на съществуващите данни за обекта. След изчертаването на границите на обучаващото множество, се поставя етикет с име на класа (напр. гора, воден обект, урбанизирана територия). Фиг. 5 представя задаване на обучаващите множества за иглолистни и широколистни гори.



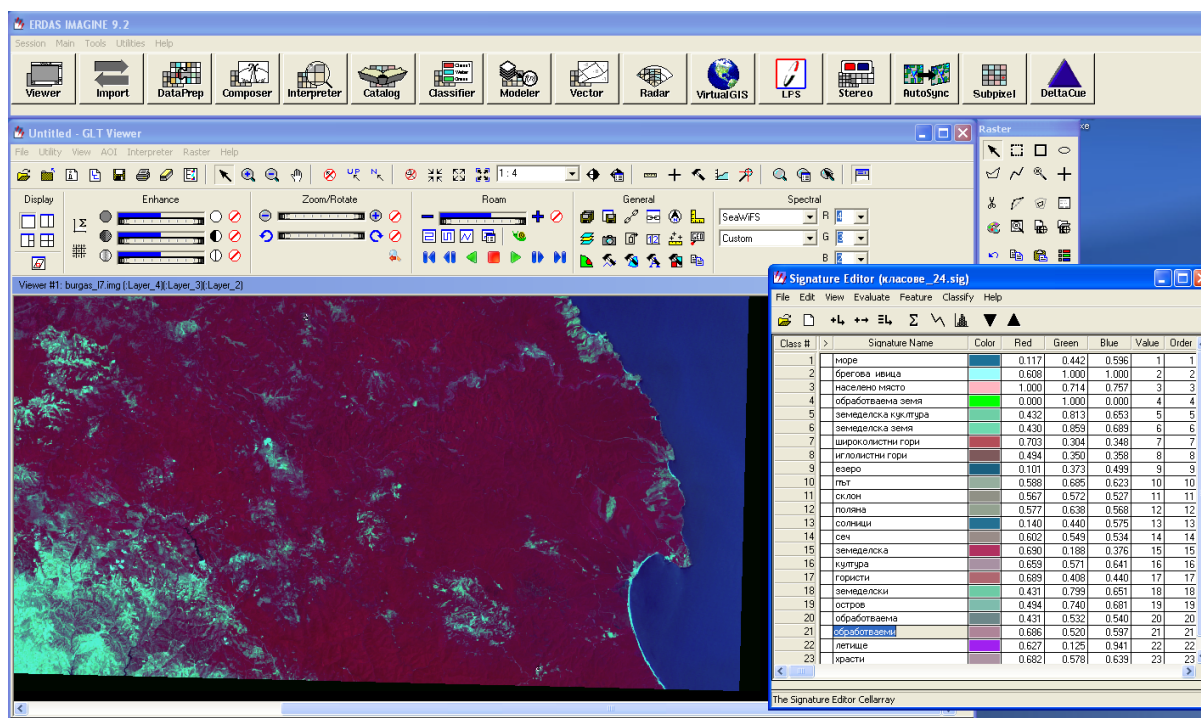
Фиг. 5. Задаване на обучаващи множества върху спътниково изображение от Landsat 7 ETM⁺ за територията на изследвания обект

Тъй като качеството и представителността пряко влияят върху точността на класификацията, зададените обучаващи множества са проверени и чрез свободно достъпната платформа Google Earth Pro (фиг. 6).



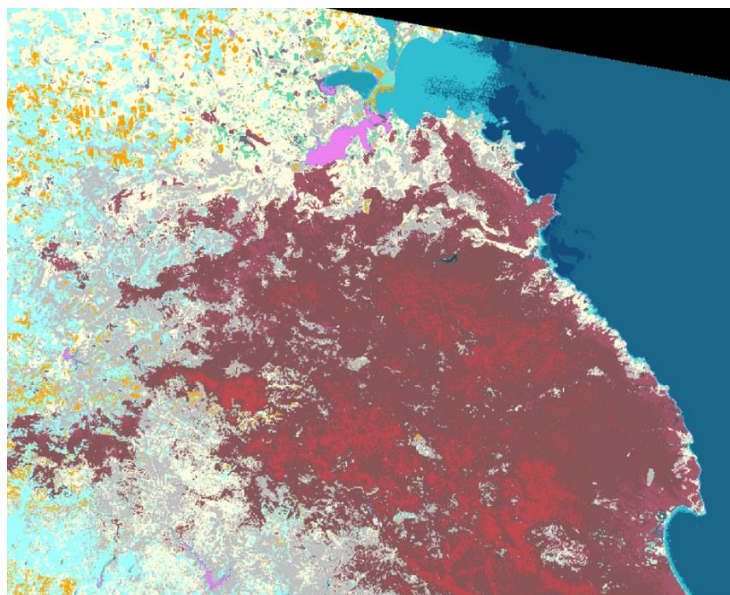
Фиг. 6. Проверка на зададените обучаващи множества в Google Earth Pro

Обучаващите множества позволяват на софтуера да извлича спектралната сигнатура за всеки клас. Тази сигнатура е уникален модел от стойности на спектралната отразителна способност в различните канали (видими, близки инфрачервени или топлинни). Всеки тип земно покритие има различни спектрални характеристики. Чрез генерираните спектрални сигнатури, алгоритъмът може да класифицира всеки пиксел в изображението към даден спектрален клас. За извършване на класификацията с обучение са зададени 24 интерпретационни класа (фиг. 7).



Фиг. 7. Описание на зададените чрез ERDAS IMAGINE интерпретационни класове

След извършване на класификацията се получава карта с класове, които са обозначени и съответстват на информационните класове или типовете земно покритие (фиг. 8). Точността на тази класификация зависи най-вече от прецизността при задаване на обучаващите множества и спектралната разделимост на класовете.

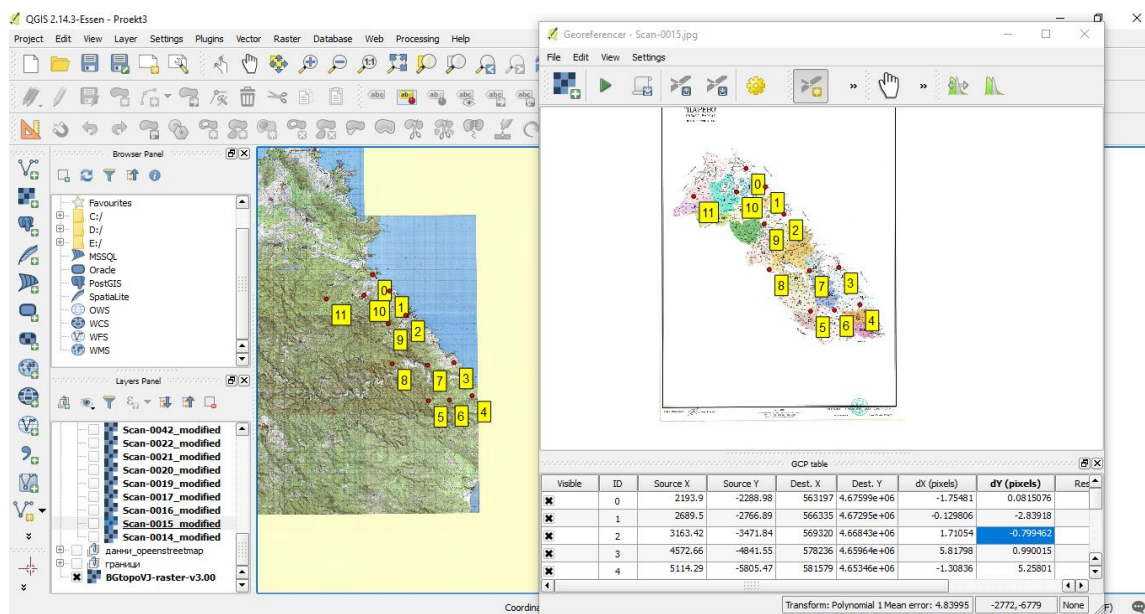


Фиг. 8. Резултат от класификацията с обучение върху спътниково изображение от Landsat 7 ETM⁺ за територията на РДГ – Бургас

В тази карта на всеки пиксел е приписан етикет, който го причислява към някой от зададените еталонни спектрални класове или към нулевия клас, съдържащ всички неклассифицирани или принадлежащи към не зададени класове пиксели. На спектралните класове може да съответстват или да не съответстват интересувачи ни при интерпретацията и картографирането класове от земно покритие, свързани с конкретното приложение.

6. СЪЗДАВАНЕ НА ТЕМАТИЧНИ КАРТИ В СРЕДА НА ГИС

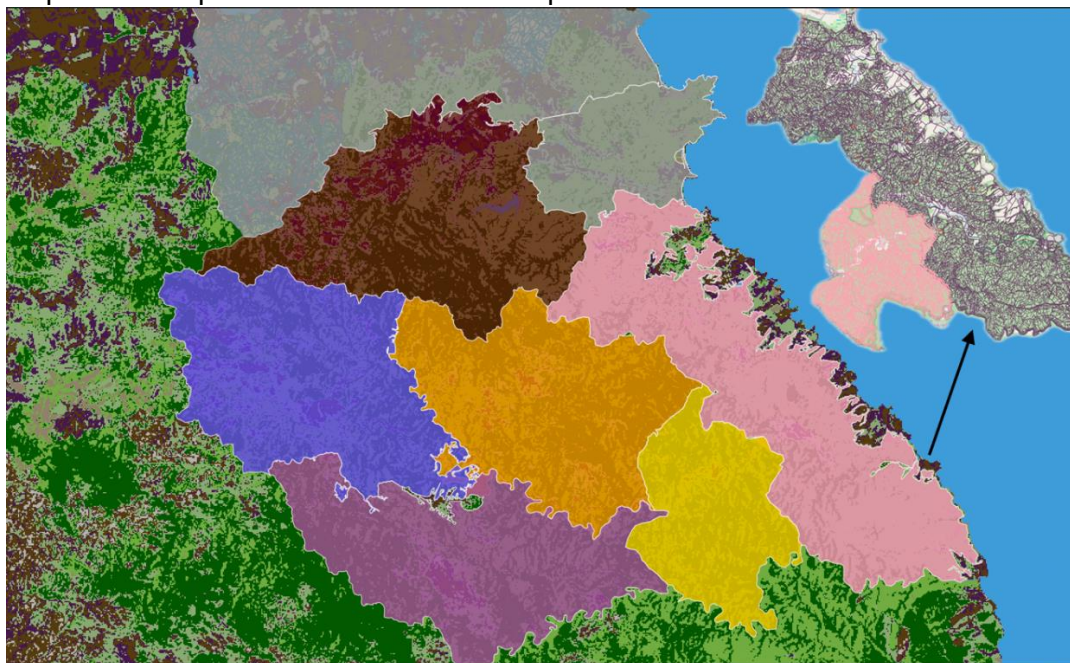
Картите и хартиените аерофотоснимки са ценен продукт, който може да бъде въведен в ГИС среда, за допълване и обогатяване на работния процес, както и за мониторинг или сравнение със цифровите данни, получени от спътникови изображения. След сканирането картите или снимките трябва да бъдат геореферирани в избрана координатна система. Сканираните карти, предоставени от РДГ – Бургас, са в локална координатна система и са трансформирани в координатна система на топографската карта – UTM zone 35N (фиг. 9) чрез свободно достъпната ГИС с отворен код – QGIS. Геореферирането е процес на преобразуване на координатната система на набор от растерни данни в нова координатна система.



Фиг. 9. Георефериране на сканираните карти за територията на РДГ – Бургас чрез QGIS

След като картата е геореферирана следва векторизация и създаване на графични елементи (като пътища, граници, реки) във векторни слоеве от данни за по-нататъшен анализ. За всеки нов елемент, след изчертаване на формата, се въвежда атрибутна информация (напр. име, тип, ID). В атрибутните данни се добавят и редактират полета за всяка допълнителна информация, като категория, площ и дължина. Използва се допълнителен модул за проверка на топологията, за да се провери за припокривания, пропуски или грешки във векторните данни. След като картата бъде дигитализирана и геореферирана, може да се извършват различни пространствени анализи. Дигитализираните карти могат да бъдат експортирани в различни формати, като SHP, GeoJSON или KML за използване в други ГИС приложения.

В резултат на автоматизираната обработка и класификация се получават обработено цифрово изображение и/или цифрова карта (фиг. 10), която може да се използва за анализ и вземане на решения в различни области като горско стопанство.



Фиг. 10. Цифрова карта на територията на РДГ – Бургас

7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Резултатите от автоматизираната компютърна класификация могат значително да подобрят ефективността и устойчивото управление на горските територии. С помощта на съвременните технологии от дистанционните методи и ГИС се улеснява събирането и анализа на данните, което води до по-добро стопанисване на горските ресурси и опазване на околната среда. Използването на многоканални спътникови изображения има своето място в организацията, планирането и управлението на горското стопанство. Автоматизираната компютърна класификация чрез системите за обработка на аеро- и спътникови изображения, позволява едновременен анализ на различни типове данни, отнасящи се за един и същ обект – както растерни, така и векторни. Анализът на данните и тематичното картографиране в среда на ГИС са предпоставка за по-добро управление на горските ресурси, интерпретация на получените резултати и моделиране на процеси и явления в горските територии.

8. ЛИТЕРАТУРА

1. Асенова М., Геоинформационни подходи и решения в приложението на ГИС за горски територии, Изд. Интел Ентранс, София, 2023, ISBN: 978-619-7703-45-0, 136
2. Тепелиев, Ю., В. Димитров, С. Рашков, Географски информационни системи, Изд. къща при ЛТУ, София, 2016, ISBN 978-954-332-052-3, 163
3. Тепелиев Ю., Р. Колева, М. Асенова. Учебник по Фотограметрия и дистанционни методи. Изд. къща при ЛТУ – София, 2018, ISBN 978-954-332-166-7, 279
4. Тепелиев Ю., Р. Колева, М. Асенова, Ръководство за упражнения по Фотограметрия и дистанционни методи. Изд. къща при ЛТУ – София, 2013, ISBN 978-954-332-100-1, 172

5. Huisman O., Rolf A. De Bay. Principals of Geographic information systems. 2009, ITC, Enschede, The Netherlands ISBN 978–90–6164–269–5 ITC, Enschede, The Netherlands, ISSN 1567–5777 ITC Educational Textbook Series, p. 241
6. <https://burgas.iag.bg/>
7. <https://nsi.bg/bg/content>.

АДРЕС НА АВТОРИТЕ

1. Доц. д-р инж. Радка Колева
r_koleva@ltu.bg
2. Ас. инж. Станимира Стоянова
stoyanova.stanimira@ltu.bg
Лесотехнически университет - София

**ПРИЛОЖЕНИЕ НА ГИС ЗА АНАЛИЗ НА РИСКА ОТ МАЩАБНИ НАВОДНЕНИЯ В
БЪЛГАРИЯ В КОНТЕКСТА НА ИЗМЕНЕНИЕТО НА КЛИМАТА: ОЦЕНКА НА
ПОТЕНЦИАЛНОТО ВЪЗДЕЙСТВИЕ И ПРОГНОЗА ЗА ЕФЕКТИТЕ ВЪРХУ РАЗЛИЧНИ
СЕКТОРИ НА ИКОНОМИКАТА**

Гл. ас. д-р инж. Тамара Илиева-Цветкова, ас. инж., Боряна Николова, УАСГ

**APPLICATION OF GIS FOR THE ANALYSIS OF THE RISK OF LARGE-SCALE FLOODS
IN BULGARIA IN THE CONTEXT OF CLIMATE CHANGE: ASSESSMENT OF THE
POTENTIAL IMPACT AND FORECAST OF THE EFFECTS ON DIFFERENT SECTORS OF
THE ECONOMY**

**Chief Assist. Prof. PhD Eng. Tamara Ilieva-Tsvetkova
Assist. Prof. Eng. Boryana Nikolova**

SUMMARY

Climate change is leading to an increase in extreme weather events, including the frequency and magnitude of floods. In Bulgaria, there are many regions vulnerable to natural disasters and floods can seriously impact infrastructure, agriculture, and the economy. The present research has the purpose of analyzing the risk of large-scale flooding in the country by using GIS for spatial analysis and modeling of the possible effects on key economic sectors.

Different sets of geospatial data, including for the relief of the terrain, road and rail infrastructure, hydrographic network, and land use, have been collected and processed for analysis. Based on this are identified vulnerable areas and flood propagation patterns under different scenarios of rising flood levels, precipitation, and water bodies as a result of climate change.

This research also provides guidelines for risk management and adaptation to climate change, based on GIS application to predict future floods and assess their impact. The predictive assessment of the effects will enable measures to be taken to reduce damage to important economic sectors such as agriculture, transport, and others, as well as to improve the country's resilience to natural disasters.

Keywords: application of GIS, large-scale flood risk, climate change, impact and effects on the economy, BULGARIA.

РЕЗЮМЕ

Изменението на климата води до увеличаване на екстремните метеорологични явления, включително честотата и мащаба на наводненията. В България има много региони, уязвими от природни бедствия и наводненията могат сериозно да засегнат инфраструктурата, селското стопанство и икономиката като цяло. Настоящото изследване има за цел да анализира риска от мащабни наводнения в страната чрез използване на ГИС за пространствен анализ и моделиране на възможните ефекти върху ключови икономически сектори.

Събрани са и са анализирани различни набори от геопространствени данни, включително за релефа на терена, пътната и железопътната инфраструктура, хидрографската мрежа и земеползването. Въз основа на това са идентифицирани уязвимите зони и моделите на

разпространение на наводненията при различни сценарии на нарастващи количества валежи и нива на водните тела в резултат на изменението на климата.

Това изследване също така предоставя насоки за управление на риска и адаптиране към изменението на климата, въз основа на приложението на ГИС за прогнозиране на бъдещи наводнения и оценка на тяхното въздействие. Прогнозната оценка на ефектите ще даде възможност за предприемане на мерки за намаляване на щетите върху важни икономически сектори като селско стопанство, транспорт и други, както и за подобряване на устойчивостта на страната към природни бедствия.

Ключови думи: приложение на ГИС, риск от мащабни наводнения, изменение на климата, влияние и ефекти върху икономиката, България.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Изменението на климата е едно от най-големите предизвикателства, като неговите проявления засягат начина на живот, икономиката и благосъстоянието на населението. Едни от най-значимите последици са увеличената честота и интензивност на екстремните метеорологични явления, включително наводненията. Глобалното затопляне води до намаляване на общото количество валежи, но увеличаване на количествата при интензивни валежи, заради концентрацията на водни пари, която се увеличава [28]. Това явление може да бъде обяснено с термодинамичната връзка на Клаузиус-Клапейрон [27], която предвижда увеличаване на концентрацията на водни пари с 6-7%, или поне с 4.5%, според проучванията в [27], пропорционално при повишаването на температурата с 1°C [28]. Предполага се, че в бъдеще екстремните интензивни валежи и наводненията ще имат пространствени и сезонни вариации с периоди на повторение [28].

Наводненията се класифицират по произход, механизъм и темп на възникване [20]. Според произхода те могат да бъдат речни, от интензивни валежи, от подпочвени води, морски (крайбрежни), инфраструктурни или от снеготопене. Механизмът на възникване включва естествено преливане, аварии на защитни или инфраструктурни съоръжения, или задържане/блокаж на вода. Темпът на възникване варира от внезапни до бавни, като първите не могат да бъдат предвидени, а при последните има известни шансове за това.

Мащабните или още считани за значими наводнения, според българското законодателство, се определят по критерии като засегнато човешко здраве, стопанска дейност, околна среда и културно наследство [20].

Темата за наводненията в България е актуална и широко изследвана през последното десетилетие. Български автори се фокусират върху различни региони от страната и разглеждат различни аспекти на въздействието от наводненията. Например:

В [18] представено изследване въз основа на статистически и други данни, като се анализират мерки и действия за минимизиране на неблагоприятните последици.

В [19] се акцентира върху реалните щети и очаквани последици относно медицинските загуби и нуждата от медицинска помощ (за обл. Варна).

В [2] се установява корелация между наводненията и свлачищата за 5-годишен период на територията на общ. Перник, като се счита, че резултатите от изследването може да са валидни и за територията на цялата страна.

Тези проучвания показват комплексността на последициите от наводненията.

Според [3] наводненията са потенциален причинител на злополуки, разселване на лица, нанасят щети на околната среда, сериозно нарушават икономическото развитие и засягат стопанската дейност на Общността. Те са природно явление, което не може да бъде предотвратено. Могат да причинят щети, загуба на човешки живот, значителни икономически разходи, вреди на околната среда и културното наследство, както и презаселване на хора [20].

Управлението на водите в България е на национално и басейново ниво в обхвата на една или няколко водосборни области [11]. Делението не следва административното. Четирите Басейнови дирекции (БД) са за Дунавски район на басейново управление с център гр. Плевен, Черноморски район с център гр. Варна, Източнобеломорски район с център гр. Пловдив и Западнобеломорски район с център гр. Благоевград [9]. Те разработват планове за управление на риска и речните басейни, публикуват данни за оценка на риска и картографират районите със значителен потенциален риск от наводнения (РЗПРН) [10]. За валидиране на резултатите от настоящото изследване са използвани таблици и карти на минали наводнения, както и данни за

предварителната оценка на риска от наводнения (ПОРН) за периода 2022-2027 г., публикувани като ГИС слоеве [14], [15], [16] и [17].

Подробни карти за оценка на риска от наводнения се изготвят по поречия на реки и населени места, и се публикуват по басейнови дирекции. Методологията за създаване на картите включва и геодезически данни от подробно заснемане на бреговете и подводния релеф чрез LiDAR (Light Detection and Ranging), ехолоти и многолъчеви сонарни системи, съчетани с класически геодезически и ГНСС (глобални навигационни спътникови системи) измервания. По-подробно прилаганите методи и технологии, както и изискванията по отношение на моделирането са представени в [8].

В случая на настоящата разработка не са налични подробни данни за релефа на бреговете и речните дъна от заснемане чрез измервания. Не са използвани и точни данни за геоложките, геоморфоложките и хидрогеоложки характеристики, а само такива, които са свободно достъпни и не са с висока резолюция, но са с голям обхват за територията на цялата страна. Получените резултати обаче са валидирани с използването на вече изведените ГИС слоеве по басейнови дирекции и е установена сходимост с тях около 50% при определено за изследването ниво на риска над 3 и около 66% при ниво на риска над 2 – вж. т.3.1.

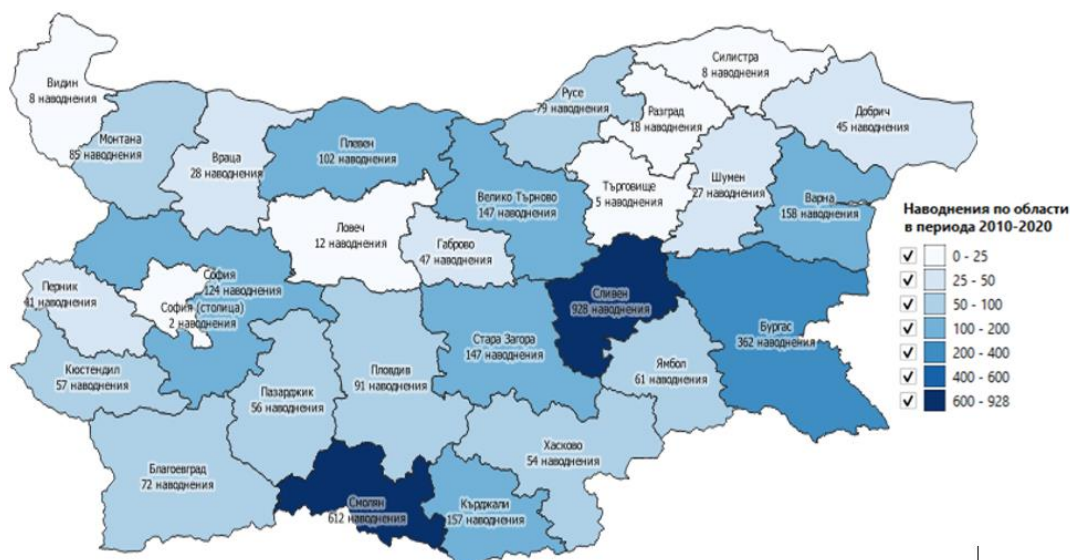
Проучени са и изследвания на автори относно използването на ГИС за оценка на риска от наводнения. В [21] е направен многофакторен анализ на данни за валежи, отток, наклони, почвена покривка и гъстота на населението. Риска е представен като произведение от оценката на заплахата от наводнение на дадена територия с наличието на население и специфични обекти на територията. Направено е заключение, че особено изложени на висок риск от наводнения са райони с висока гъстота на речната мрежа, високи стойности на оттока, високи стойности на количествата валежи, с ниска надморска височина и голям брой население. В [23] е използван метод на аналитична йерархия, който е многопараметрична техника за моделиране. За всеки от факторите, които са включени в анализа е зададена определена тежест в модела. натрупване на отток, наклон, земеползване, интензивност на валежите, геология и надморска височина. Изготвената карта на застрашените от наводнения райони идентифицира районите и населените места с висок риск от наводнения. Предложената методология може да се приложи към всеки речен басейн.

Подобни изследвания са дадени и в [26] и [29], като акцентите тук са в използването на различни сценарии с комбинации от критерии за анализ в първия случай, а във втория са използваните методи за анализ на тежестите, включително метод на ентропийното тегло и аналитична йерархия в 3 аспекта, т.е. риск от фактори, причиняващи бедствия, чувствителност на средата и уязвимост.

От написаното до тук следва, че всяко едно наводнение има комплексен характер, всяка ситуация е уникална и последствията също са различни, но в общ план строго негативни. В настоящото проучване фокус е поставен върху мащабните наводнения, като се търси бърза и ефективна оценка за цялата страна относно ключовите последствия върху населените места, икономическите сектори като селско стопанство, транспорт и други на база пространствено разпределени данни и анализи в ГИС среда. Използването на ГИС позволява интегриране и анализ на разнообразни геопространствени данни, включително релеф, хидрография, земеползване и инфраструктура, което подпомага идентифицирането на уязвимите зони и прогнозиране на потенциалните ефекти от наводненията.

2. НАВОДНЕНИЯТА В БЪЛГАРИЯ – МИНАЛИ СЪБИТИЯ И ТЕНДЕНЦИИ

От общия брой природни кризисни събития на годишна база на второ място след пожарите се нареждат наводненията. По данни от НСИ [13] за територията на България в периода 2010-2020 г. са се случили общо 3533 наводнения, като най-засегнати са областите Сливен и Смолян. Разпределението на наводненията по области за посочения период е показано на фиг. 1. Установените щети възлизат на над 862.7 млн. лв.



Фиг. 13. Разпределение на наводненията за периода 2010-2020 по области, по данни от [13]

България, със своята разнообразна топография и климатични характеристики, е особено изложена на риск от наводнения, които могат да доведат до значителни щети върху ключови икономически сектори като селско стопанство, транспорт и други. В допълнение, вероятността от тежки последствия при екстремни хидрометеорологични явления е висока.

През последните години в България са настъпили няколко мащабни наводнения, които са причинили значителни щети на инфраструктурата, домакинствата и природната среда. Някои от най-забележителните примери включват наводненията през юни 2014 г. в района на Варна, в Карлово и околните села през септември 2022 г. и в района на Царево през септември 2023 г. Тези наводнения са определени като значими, а като резултат и от трите имаше загинали хора, разрушени сгради и домове, и засегната инфраструктура.

Според данни от четирите Басейнови дирекции (БД), най-често срещани са дъждовните и речните наводнения. табл. 1 показва данни за броя на наводненията в различните райони на басейново управление (БУ) за периода 2011–2019 г., както и характеристиките на всеки район.

Таблица 4. Данни за минали наводнения по райони на БУ

Район на БУ	% от площта на България	Брой минали наводнения	Брой поречия	Брой области	Брой общини	Брой населени места
Дунавски	42,6	217 (в 341 населени места)	17 вътрешни, 3 трансгранични	18	126	2261
Западнобеломорски	10,8	87 (в 97 населени места)	3 основни	5	32	592
Източнобеломорски	31,7	над 380	4 основни, 2 малки	10	90	1769
Черноморски	14,9	148 наводнения, (в 141 населени места)	27 поречия, 2 трансгранични	8	44	633

Когато броят на наводненията се отнесе към площта на всеки район, се установява за всеки район поотделно, че най-висока концентрация на наводненията има в Източнобеломорския район, следван от Черноморския и Западнобеломорския, а най-ниска е в Дунавския район.

3. МЕТОДОЛОГИЯ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО И ПОЛУЧЕНИ РЕЗУЛТАТИ

3.1. Използвани геопространствени данни, предварителна обработка, моделиране и изпълнение на анализи

За изпълнение на анализи са използвани следните набори от данни:

Данни за релефа за терена – растерен слой с размер на клетката 25 x 25 *m* и точност по височина от порядъка на +/- 7 *m* в проекционна координатна система ETRS89-extended / LAEA Europe с EPSG код 3035 и височинна система EVRS2000, актуален към 18.3.2018 от [22];

Данни за земно покритие – растерен слой с размер на клетката 100 x 100 *m* в географски координати с EPSG код 4326, тематична точност 80.3% и актуалност на данните към периода 2018-2020 г. [24];

Данни за административно деление на България – векторни слоеве в БГС2005, Кадастрална проекционна координатна система с EPSG код 7801 от [12];

Данни за населени места, жп линии, хидрографски площи и линейни обекти – векторни слоеве в географски координати с EPSG код 4326 от [25];

Данни за държавна и общинска пътна мрежа на България – от ГИС на АПИ [1];

Данни за климатични зони – векторизирани от сканирана карта [7], геореферирана към БГС2005, Кадастрална проекционна координатна система;

Данни за валежи от метеорологични станции за определяне на тенденциите за количествата валежи [4].

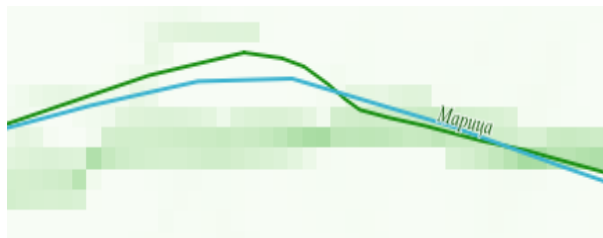
Всички данни са трансформирани към проекционна координатна система БГС2005, Кадастрална, за да може да се използват съвместно. За релефа на терена е направено хипсометрично оцветяване през 200 *m*, а за земното покритие са използвани стандартна класификация за слоя и описания по кодове, които са достъпни, заедно с него от [24]. От данните за релефа е създаден производен слой с наклона, изчислен за всяка клетка.

За векторните слоеве от [12], [25] и [1] и този, получен в резултат на векторизирането на [7], са зададени съответни стилове за визуализация. Изчислена е гъстотата на речната мрежа по административни области, като дължината на линейните сегменти в *km* е разделена на площта на всяка област в *km*². Данните са конвертирани към растер със съответната стойност на гъстотата на речната мрежа.

Данните за валежи от метеорологични станции [4] са разделени според принадлежността им към дадена климатична зона. Определени са средните количества валежи по станции на база данни за периода от 2005 до 2023 г. чрез линейна регресия. Изчислено е средно количество за валеж на годишна база за цялата страна и са въведени тежести за всяка станция и климатична зона – стойностите варират от 0.8 до 1.35. Средното годишно количество на валежите за страната е 643 *mm* за изследвания времеви период и използваните данни от 12 станции, а именно Бургас, Варна, Видин, вр. Мургащ, вр. Мусала, Кърджали, Ловеч, Пазарджик, Разград, Сандански, Сливен и София. За да се отчетат тежести за всяка станция е определена зона на влияние чрез полигони на Вороной, които са допълнително модифицирани спрямо границите на климатичните и височинните зони на страната (от 0 до 600 *m* – равнинен и низинен релеф, от 600 до 1000 *m* хълмист, преходен и нископланински, от 1000 до 1600 *m* – планински и над 1600 *m* високопланински). Зоните са конвертирани към растер със съответната стойност на коефициента за тежест, описан по-горе.

Изпълнени са анализи за определяне местата с най-голямо натрупване и задържане на вода с използване на функциите Catchment Area (за определяне на водосборните области) и TWI (Topographic Wetness Index – топографският индекс на влажност). Те са достъпни чрез библиотеката Saga 9.3.1. в QGIS 3.38, като резултатите от първата функция се използват заедно с растерния модел на релефа като вход за втората. След това е изпълнен и анализ за определяне капацитета на водосбора Flow Accumulation, при праг на наклоните на терена от 0 до 5% и тежести според данните за валежите, описани в горния параграф. На фиг. 2 са

представени извадки в едър мащаб на малки участъци по поречията на р. Марица и р. Струма за представяне акумулирането на оттока чрез функцията Flow Accumulation. Личи ясно и това, че са ползвани данни от различни източници – за релефа (растер), хидрографията от OSM е в зелено и данните от ПОРН в синьо.



2а – пример за участък от р. Марица

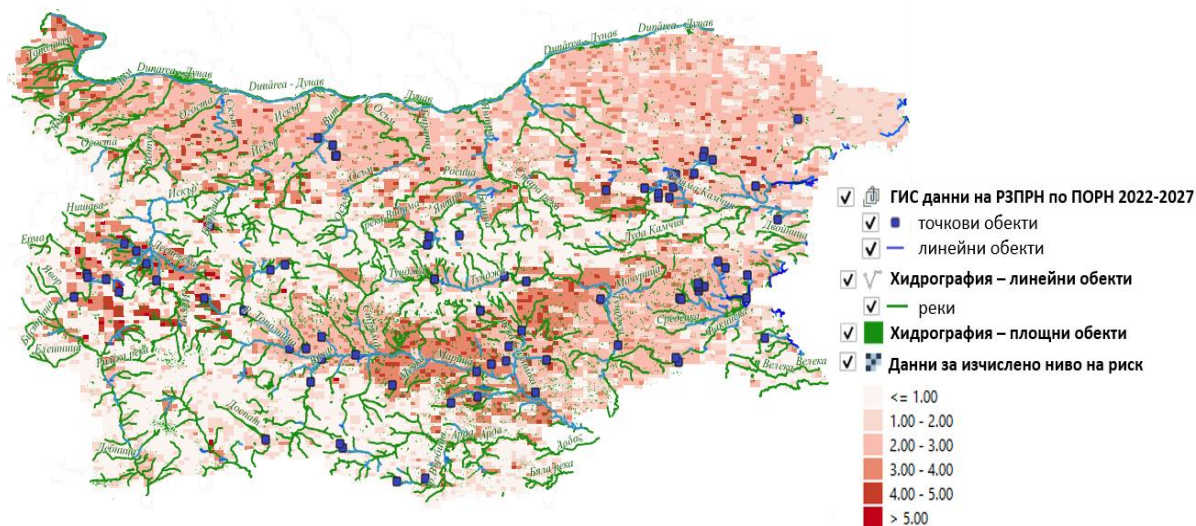


2б – пример за участък от р. Струма

Фиг. 14. Примери за изчисление акумулирането на оттока с Flow Accumulation

За да се определят зоните с висок риск от наводнения са изпълнени изчисления с Raster Calculator в QGIS. От слоя с данни за земно покритие са рекласифицирани тези за обработваеми земи и урбанизирана/застроена територия – с кодове съответно 40 и 50 – те са отделени със стойност 1 за населените места, 0.5 за обработваемите земи, а всички останали са зададени с 0. Изведени са също зоните с високи стойности на топографски индекс на влажност и капацитет на водосбора – зададен е праг за над 50% от получените диапазони от стойности (над 16 за първите и над 31250 m^2 при вторите, т.е. водосбор с размер над 50 клетки при клетка 25 x 25 m). За тези зони е фиксиран коефициент 1, а за всички останали 0. От всички изчисления до тук след сумиране на данните се получава растер със стойности от 0 до 3. Допълнително се отчита гъстотата на речната мрежа и количеството валежи чрез умножение на последния растер със сума от коефициентите, отчитащи тези фактори. Така минималната стойност е 0, а максималната – 6,37. Резултантният растер (класифициран в червено), получен според описанието по-горе е визуализиран съвместно с данните от ПОРН по басейнови дирекции на фиг. 3.

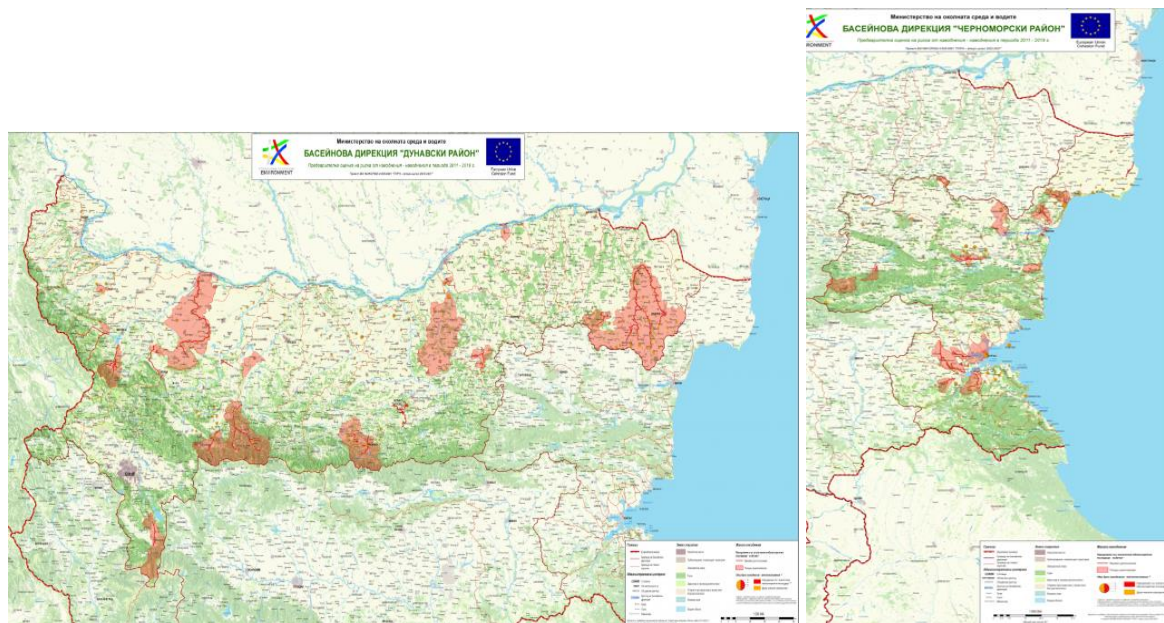
За валидиране са използвани точковите и линейни обекти от ГИС слоевете на БД – точките са използвани директно, а по линиите са генерирани точки през 100 m – общо 36251, при обща дължина на рисковите зони около 3773 km. Общо за територията на цялата страна припокриването със зони с изчислен риск по-голям от 3 за всички обекти е 49,7%, а със зони с риск по-голям от 2 – 66,1%.



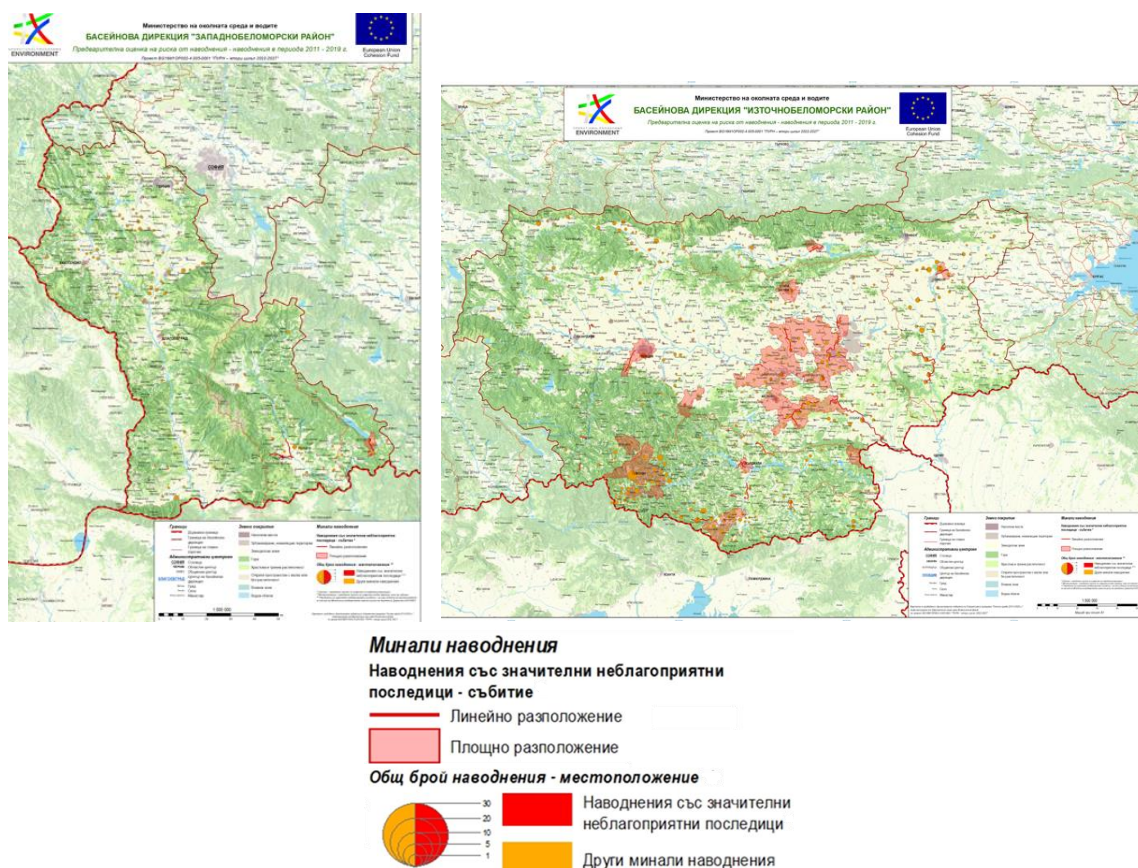
Фиг. 15. Резултантен растер, получен от горните операции, съвместен с данни от ПОРН от [14], [15], [16] и [17]

Направен е и преглед на публикуваните карти и таблици с данни на миналите наводнения в периода 2011-2019 г. по Басейнови дирекции [14], [15], [16] и [17] – фиг. 4 и 5. Легендите на тези карти са унифицирани за удобство и възможност за съпоставка, а извадка е дадена на фиг. 5. Целта на използването на данните за минали наводнения е да се види за кои от изведените

при настоящия анализ райони с висок потенциален риск вече е имало настъпили минали събития.



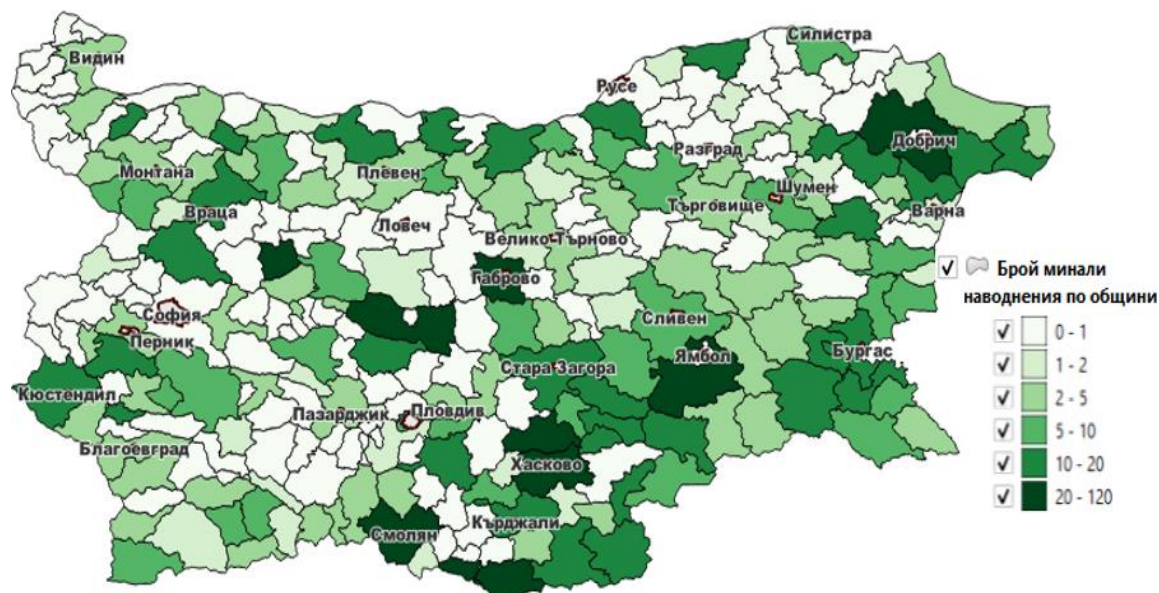
Фиг. 16. Карти на минали наводнения в периода 2011-2019 г. за Дунавски и Черноморски райони на басейново управление от [14] и [17]



Фиг. 17. Карти на минали наводнения в периода 2011-2019 г. за райони на басейново управление Западнореломорски и Източнореломорски от [15] и [16]

Тъй като картите за Дунавски район са с много ниско качество, то обработката на данните за съпоставка при последващите анализи е направена по таблици, като са обобщени данните

за брой минали събития по общини. За периода има 196 общини, в които, са регистрирани общо 1473 събития. Графично разпределението е представено на фиг. 6.



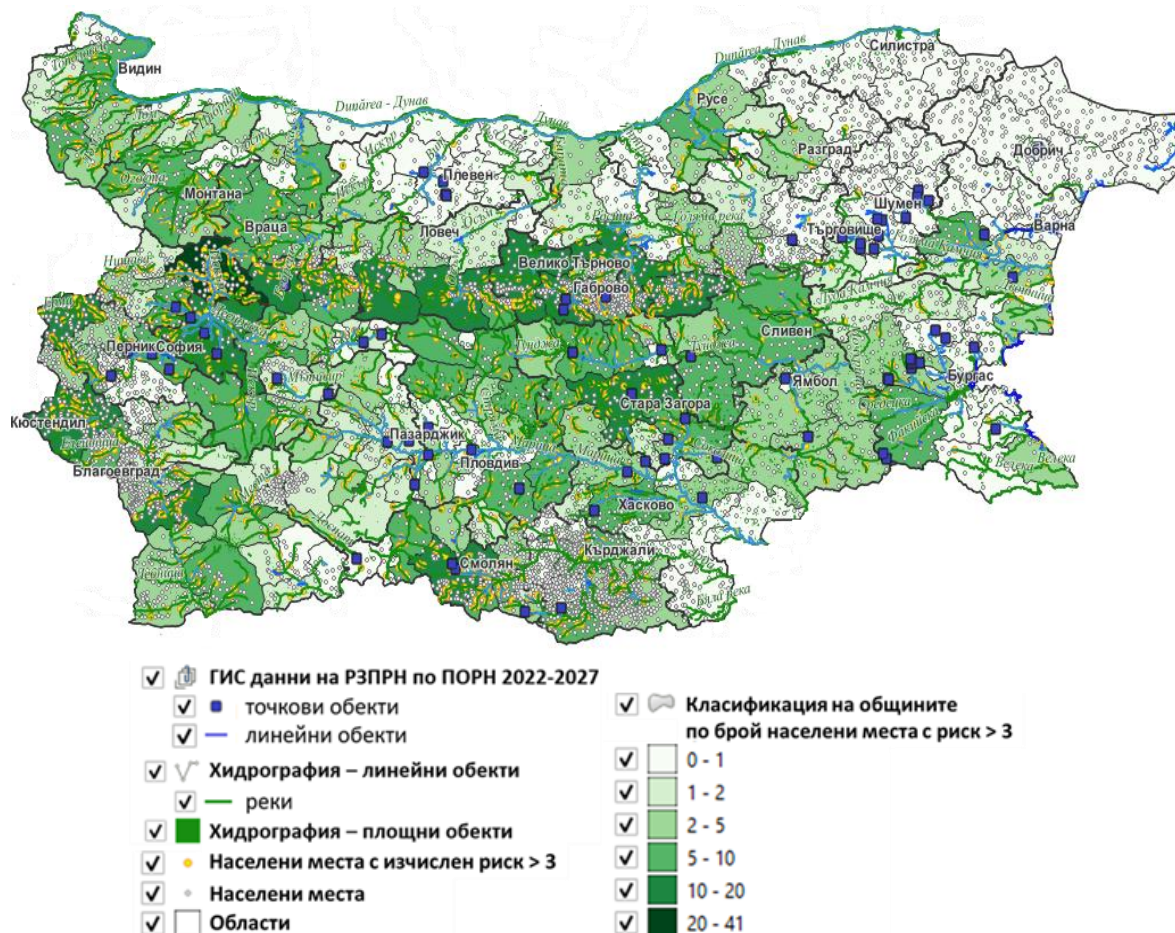
Фиг. 18. Графично разпределение на данните от таблиците за миналите наводнения в периода 2011-2019 г. от всички Басейнови дирекции, обобщени по общини

С по над 20 регистрирани наводнения са 12 общини – Вълчи дол, Враца, Правец, Златоград, Хасково, Димитровград, Добрич-селска, Карлово, Габрово, Кирково, Тунджа и Смолян. Представеното разпределение на данните би следвало да е детайлизиран вариант на фиг. 1, но има разлики както в периодите, така и в броя, предвид това, че и тук данните са от различни източници – данните на НСИ са само на ниво области.

3.2. Анализи за определяне на риска от наводнения за населените места, земеделските земи и пътната инфраструктура

Направен е анализ за оценка на риска от наводнения за населените места на територията на страната. Резултатите са представени на фиг. 7 – в жълто са дадени населени места в зони с риск над 3 – изведени са 1099 населени места.

Направена е класификация на общините по отношение броя на населените места с риск над 3 във всяка от тях. Изведени са 17 общини, в които попадат 10 и повече населени места със стойност на риска над 3 – това са общ. Рудозем, Мездра, Ботевград, Габрово, Тетевен, Троян, Севлиево, Симитли, Кюстендил, Правец, Велико Търново, Трън, Елена, Смолян, Столична, Стара Загора и Своге.

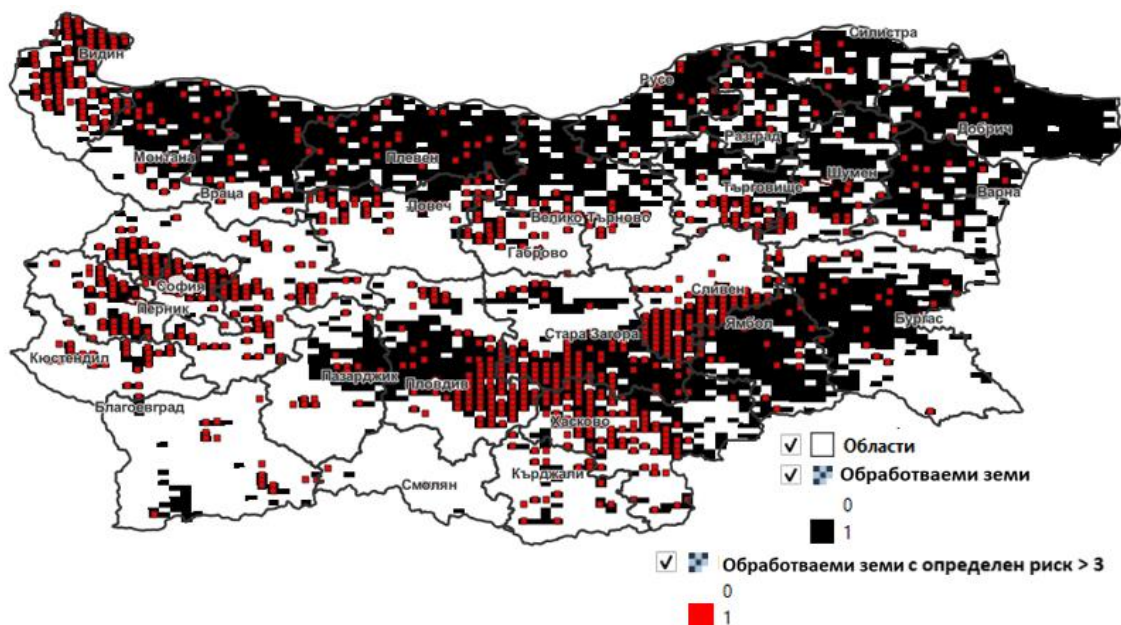


Фиг. 19. Населени места със стойност на изчисления риск от наводнения над 3 и класификация на общините по брой населени места с висок риск, представени съвместно с данни за административно деление, хидрография и ПОРН

За изведените тук данни е направено сравнение с тези за минали наводнения за периода 2011-2019 г. на територията на същите общини. От изброените в горния параграф с по-специално внимание следва да се разглеждат общините Габрово (с 39 минали наводнения), Кюстендил (с 19), Правец (с 21), Смолян (със 120), Стара Загора (с 18) и Своге (с 18).

По отношение на населените места негативните ефекти от наводненията могат да бъдат класифицирани в различни категории, в зависимост от тяхното естество и въздействие върху общностите и инфраструктурата, но най-често се свеждат до материални щети и икономическите последици от тях. Материалните щети се отнасят към повредени или унищожени жилища и обществени сгради, и домове. Повредени или разрушени улици, сридове в електрическите, водоснабдителните и канализационните системи, увредени съоръжения за телекомуникации и интернет и още други.

На фиг. 8 са дадени всички обработваеми земи по данни от [24] в черно – отделени са по код (40) в битонален растер. Приложена е растерна зонална статистика за извеждане от всички обработваеми земи на зоните със стойност на риска над 3 – получено е, че това са 23.1 %, основно разположени в западната част на Дунавската равнина, Софийската котловина и централната част на Горнотракийската низина.



Фиг. 20. Резултати за извеждане на зони с повишен риск от наводнения за обработваемите земи

Селското стопанство е първичен сектор на икономиката на страната и в зависимост от това кога се случват наводненията може да бъде унищожена реколтата или да се намалят добивите.

Изпълнени са и анализи по отношение на държавната и общинска пътна, и железопътната мрежи. Направената оценка показва, че има риск за 37,9% от жп линиите, 21.7% от държавната и 17.6% от общинската пътна мрежа. Нормално е в първия случай процентите да са по-високи, защото при проектирането се съблюдават специфични условия за превишения на трасетата. За транспортната инфраструктура може да се очакват още повреди при съоръженията, а също затруднения и нарушения в движението на стоки и хора.

На фиг. 9 са показани данни за релеф и хидрография, съвместно с резултатите от класификацията на железопътната и пътна мрежи спрямо принадлежността им към съответна зона на риск. Високо ниво на риска (над 4) се отчита за:

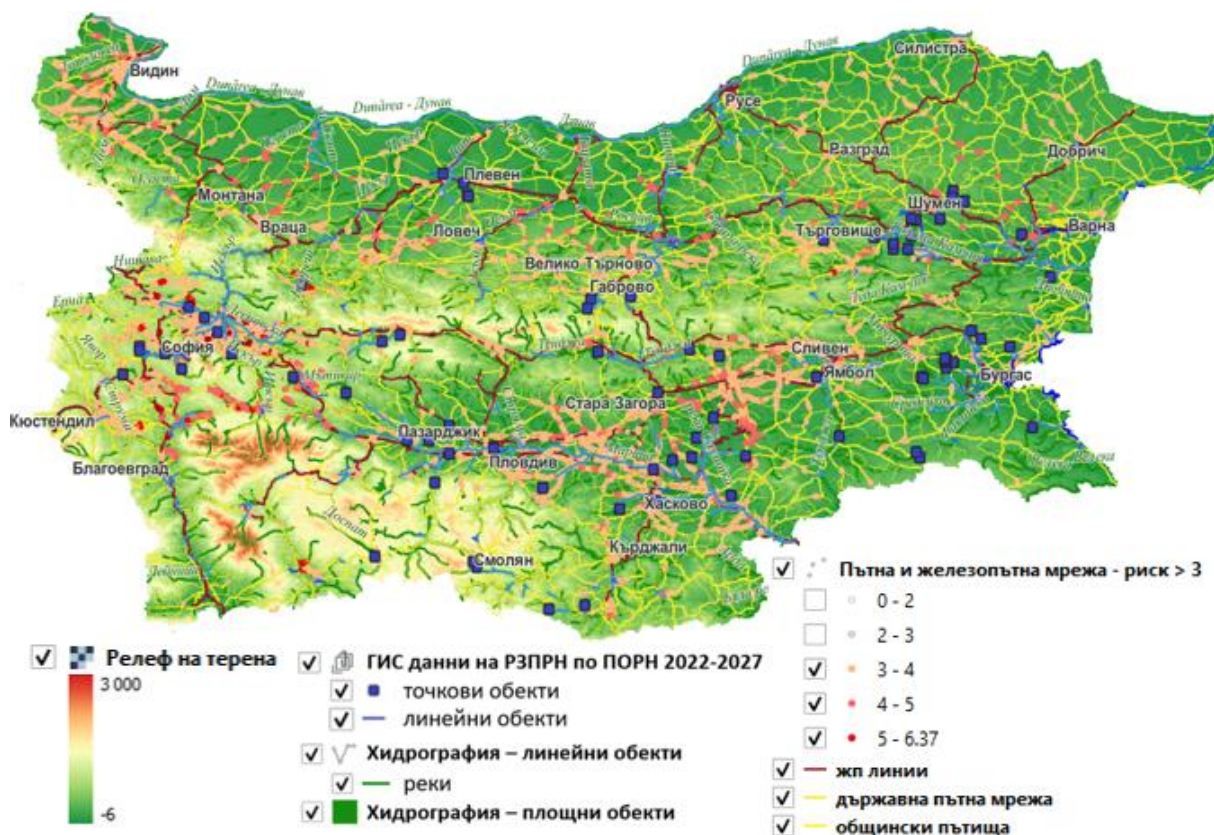
Дунавската равнина до подножието на Стара планина – от запад на изток: по поречието на реките Тополовец, Корманица, Милчинска, Видбол, Арчар, Лом, Огоста, Ботуня, Скът, Каменица и Вит, Осъм, Росица, Янтра, горното течение на Русенски Лом (Малък Лом), горното и долното течение на Провадийска река до Белославското и Варненско езеро, яз. Полетковци (при гр. Кула), яз. Рабиша, яз. Скомля, между Разград, Добрич и Силистра, около изкуствено създадени водоеми, от северозапад на яз. Тича и при вливането на Дервишка река в Голяма Камчия, както и по поречието на последната при гр. Дългопол;

Софийската котловина – гр. София по поречието на реките Какач, Суходолска, Перловска и Слатинска, около Драгоманското и Алдомировското блато и по поречието на р. Искър преди яз. Искър;

По долината на р. Струма, северно от гр. Благоевград, около яз. Диканите и по поречието на р. Джерман, преди вливането ѝ;

По поречието на р. Места при вливането на р. Канина;

Горнотракийската низина – по поречието на р. Марица и притоците ѝ р. Сазлийка и Стара река, около яз. Овчарица и също по поречието на р. Тунджа (южно от гр. Сливен и Северно от гр. Ямбол).



Фиг. 21. Данни за релеф, хидрография, ПОРН, държавна и общинска пътна и железопътна мрежа – изведени са участъци, определени с ниво на риск над 3

При туризма се предполага, че по-засегнат ще бъде морския, тъй като в планините, въпреки пороите при проливни дъждове, водата се оттича към ниските части. Повреди може да се очакват основно за туристическата инфраструктура, а така да се намали и туристическия поток, особено ако това се случи в активния сезон.

3.3. Модели на разпространение на наводненията при различни сценарии на нарастващи количества валежи и нива на водните тела в резултат на изменението на климата

В контекста на изменението на климата и предходни проучвания на авторите [5, 6] е установено, че годишните количества валежи показват тенденция към намаляване, но в същото време екстремните стойности се увеличават. Краят на пролетта и началото на лятото (втората половина на май и първата на юни) се характеризират с най-високи количества валежи и положителни трендове. В същото време валежите през август и септември намаляват, въпреки че началото на есента понякога се отличава с вторичен пик на екстремни количества.

Анализът на данните за последните 19 години подчертава сезонната променливост на валежите, като големите количества се изместват към периода пролет-лято за сметка на есен-зима. Зимният максимум на валежите е през януари, но през последните години все по-често валежите са под формата на дъжд вместо сняг, особено в ниските части на страната.

При средногодишно количество на валежите за страната 643 mm, средномесечната стойност е приблизително 53.6 mm. В табл. 2 е представено разпределението на валежите над 160 mm по месеци, азбучен ред на станциите и по години, както и общият брой случаи, в които месечните валежи надвишават три пъти средното и се считат за екстремни стойности.

Таблица 5. Подробното разпределението по месеци, станции, години и брой случаи на валежите над 160 mm в периода 2005-2023 г.

Станция	Бургас	Варна	Видин	вр. Мургаш	вр. Мусала	Кърджали	Ловеч	Пазарджик	Разград	Сливен	София	Общо кол-ва валежи над 160 mm
Месец												
януари	2021	-	-	-	2005	2013 2021 2023	-	-	-	-	-	5
февруари	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
март	-	-	-	-	2009 2012	2015	-	-	-	-	-	3
април	-	-	-	-	2008	-	-	-	-	-	-	1
май	-	-	-	2005 2007 2012	-	2012	2005	-	-	2012	-	6
юни	-	2014	-	2013 2018 2019 2022 2023	2018 2022	2020	2018	-	-	2010 2014	2018 2023	14
юли	-	2005 2010 2018	-	2018	-	-	2005	-	2005	-	2005 2018	8
август	-	-	2005	2005 2007	2022	-	-	-	2007	-	2005	6
септември	2014	-	-	2014	2014	-	2014	2014	2005	2005 2014	2014	9
октомври	-	2011	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
ноември	-	-	-	-	-	2019	-	-	-	-	-	1
декември	-	-	-	-	-	2014 2019	-	-	-	-	-	2

Разположението на станциите, от които са взети данни за валежите за целия период, както и данни за климатичните зони в страната са показани на фиг. 10.



Фиг. 22. Векторизирани данни за климатичните зони от [7] и разположение на станциите, от които са взети месечните количества на валежите

От подробното разпределение на високите стойности на количествата валежи по-горе може да се направи извод, че най-екстремни години за разглеждания период са били годините 2005, 2014, 2018 и 2022 г.

Пространственото разпределение на екстремните количества валежи и съобразно специфичните особености на отделните климатични зони е следното:

Планинските станции като вр. Мусала и вр. Мургаш имат чести валежи през цялата година. За първата станция има екстремни количества почти цялгодишно, а за втората, предвид по-ниската ѝ височина, обилните валежите в периода от май до септември преобладават;

За станциите в умереноконтиненталната и преходноконтиненталната зона (Видин, Ловеч, Разград и София, Сливен и Пазарджик) – всички екстремни валежи са регистрирани в периода от май до септември;

За преходносредиземноморската климатична зона за станция Сандански няма регистрирани екстремни стойности на валежите, докато за станция Кърджали те са през зимата и пролетта до началото на лятото.

За Черноморската зона – станции Варна и Бургас – на север е по-силно континенталното влияние, а на юг средиземноморското, затова при Варна екстремумите са през пролетта и есента, а при Бургас през есента и зимата.

В обобщение може да се каже, че за територията на страната най-критичните месеци за екстремни валежи във всички климатични зони са юни и септември. Континенталните райони са по-засегнати през пролетта, лятото и есента, а средиземноморските – през зимата и пролетта.

На база идентифицираните тенденции са разгледани два сценария за наводнения, произтичащи от увеличаване на екстремните валежи и покачване на нивата на водните тела.

Сценарий 1: Увеличаване на количествата на екстремните валежи

Юни и септември ще бъдат критични месеци с повишен риск от наводнения.

Дунавската равнина и Горнотракийската низина ще бъдат сред най-засегнатите райони.

Планинските райони ще изпитат повърхностен отток и кални свлачища, особено при комбинация от бързо снеготопене и силни валежи.

Сценарий 2: Покачване на нивата на водните тела

Черноморското крайбрежие ще е изложено на по-висок риск от крайбрежни наводнения при комбинация от проливни дъждове и високи приливи.

Язовирите и езерата могат да преливат по-често, особено в райони като Кърджали и Бургас.

Дунавските райони ще бъдат изложени на наводнения при рязко покачване на водните нива.

3.4. Потенциални ефекти от наводненията по икономически сектори и насоки за управление на риска

Приложението на ГИС за прогнозиране на бъдещи наводнения и оценка на тяхното въздействие предоставя ценни данни за вземане на информирани решения. Въз основа на пространствен анализ на риска, могат да бъдат формулирани ефективни стратегии за управление на риска и адаптация към изменението на климата. За мониторинг и прогнозиране на наводнения може да се използват ГИС-базирани системи за ранно предупреждение чрез интеграция с метеорологични и хидрологични модели за прогнозиране на интензивни валежи и водни нива, както и за визуализация в реално време чрез уеб платформи.

По отношение на адаптивните мерки за намаляване на щетите върху икономическите сектори може да се предложи следното:

За **урбанизираните и индустриални зони** – рисковете включват основно щети върху жилищни и индустриални сгради, проблеми с работата на водоснабдителните и канализационни системи. При силни наводнения може да има и риск за населението. Мерките за адаптация може да включват ГИС анализи за планиране, на градската среда, както и за моделиране на бъдещи сценарии на наводнения. ГИС може да се използва и за идентифициране на най-засегнатите квартали, за да се планират дейности за евакуация. При установени рискови зони следва да се планират инфраструктурни подобрения като използване на специални водоустойчиви строителни материали и интегриране на зелена инфраструктура (дъждовни градини, задържащи резервоари). Може да се планира подобряване на дренажните системи чрез моделиране, а също и да се планират и оптимизират маршрути за евакуация.

За **селското стопанство** ефектите от наводненията, освен загубата на реколта могат да включват и влошаване плодородието на почвата, повишена ерозия и загуба на хранителни вещества, както и увеличаване на риска от наводняване на напоителните системи. Като част от мерките за адаптация ГИС може да се използва за идентифициране на зони с висок риск като се интегрират в обща база данни сателитни изображения за мониторинг на почвена влажност и ерозия. Може да се използват ГИС анализи за оптимално разпределение на напоителни канали и водните ресурси, както и за подобряване на земеделските практики като се създадат буферни зони с растителност около реките с култури, устойчиви на наводнения.

По отношение на **транспортна инфраструктура** може да настъпят повреди на пътната и железопътната мрежи, да се прекъснат логистичните вериги и да се забавят доставки. Може

да има разрушения на мостове, тунели и пътни настилки. При това положение може да се използват пространствени анализи за определяне на уязвими пътни участъци и критичните съоръжения по трасетата, като се предприемат и инженерни решения за устойчива транспортна инфраструктура – напр. може да се изградят повдигнати пътни настилки в зони с висока вероятност от наводнения, да се укрепят дигите и да се почистват водостоците по ключови транспортни маршрути и други. ГИС може да се използва и за планиране на алтернативни маршрути при вече настъпили събития.

За туризма в крайбрежните райони – основните рискове са свързани със затварянето на туристически обекти и щети върху инфраструктурата по морския бряг, което пък води до загуба на приходи. Като част от мерките за адаптация тук може да се използва ГИС анализ за оценка на риска за туристическите зони, да се картографират морските и речните крайбрежни зони с висок риск като се използват симулации на въздействието на повишаване на морското ниво върху курортните зони. Зониране на туристическите съоръжения според ГИС анализ на риска, както и да се предприемат други мероприятия, напр. да се изградят бариери срещу приливни вълни и други.

ГИС предлага мощни инструменти за анализ, прогнозиране и управление на риска от наводнения. Прилагането на ГИС-базирани стратегии може да намали щетите върху урбанизираните територии, селското стопанство, транспорта и туризма. Интегрирането на данни от сателитни изображения и климатични модели ще позволи навременното вземане на мерки и по-ефективното адаптиране към изменението на климата.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изменението на климата води до значителни промени в интензивността и честотата на екстремните валежи, което увеличава риска от мащабни наводнения в България. Анализите в настоящото изследване показват, че най-уязвими зони са Дунавската равнина, Горнотракийската низина, някои планински и крайбрежни райони. Чрез използването на ГИС технологии и пространствени анализи е възможно по-прецизно прогнозиране на рисковете и по-добро планиране на адаптационните мерки.

Настоящата разработка предлага два основни сценария за бъдещите наводнения – увеличение на интензивните валежи и повишаване на водните нива, като и двата показват значително въздействие върху урбанизираните територии, селското стопанство и инфраструктурата. Анализът потвърждава, че юни и септември са критични месеци за повишен риск от наводнения, като концентрацията на рискови зони съвпада с регионите с висока гъстота на речната мрежа.

Приложението на ГИС технологии в управлението на риска от наводнения предлага значителни предимства, включително:

- Създаване на визуализации и карти на риска;

- Разработване на системи за мониторинг и ранни предупреждения чрез интеграция с метеорологични модели;

- Оптимизиране на инвестициите в инфраструктура в зоните с висок риск.

В бъдеще е необходимо разширяване на изследването с интегриране на високочестотни метеорологични данни и прогнозни модели за хидрологични промени. Това ще позволи по-ефективно прогнозиране и планиране на мерки за адаптация, с цел намаляване на икономическите и социалните последици от наводненията.

Извършеният анализ демонстрира, че прилагането на многопараметрични методи и интегрирането на разнообразни геопропространствени данни в ГИС среда може значително да подпомогне управлението на риска от наводнения и разработването на стратегии за адаптация към климатичните промени. Резултатите подчертават необходимостта от насочени инвестиции в инфраструктурни подобрения, превантивни мерки и образователни кампании за повишаване на осведомеността на населението в най-засегнатите региони.

Допълнително, методологията на изследването предлага гъвкав и приложим подход, който може да бъде доразвиван и адаптиран за анализ на риска и в други страни и региони. Осигуряването на устойчивост към наводненията изисква не само технически и инженерни решения, но и политики за ефективно управление на водните ресурси и опазване на околната среда.

Изследването предоставя ценни насоки за дългосрочно планиране и управление на риска, като същевременно подчертава значението на продължаващите научни изследвания и

междусекторното сътрудничество за смекчаване на последиците от изменението на климата в България.

5. ЛИТЕРАТУРА

1. Агенция пътна инфраструктура, Географска информационна система <https://api.bg/bg/gis.html>, достъпен към 15.10.2024 г.
2. Берберова Р., Р. Гюров, Б. Костова, Интерпретация на статистически данни за наводнения и свлачища в България, Twelfth Scientific Conference with International Participation SPACE, ECOLOGY, SAFETY, 2 – 4 November 2016, Sofia, Bulgaria, [SES 2016](#), достъпен към 15.10.2024 г.
3. Директива 2007/60/ЕО на Европейския парламент и на Съвета от 23 октомври 2007 година относно оценката и управлението на риска от наводнения, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/BG/TXT/?uri=CELEX:32007L0060>, достъпен към 15.10.2024 г.
4. Дневни и месечни обобщения на валежите, <https://www.ncei.noaa.gov/data/global-summary-of-the-day/access/> и https://www.stringmeteo.com/synop/prec_month.php, достъпни към 15.10.2024 г.
5. Илиева Т., Б. Николова, Приложение на ГИС за проследяване на климатичните промени за територията на България, Годишник на УАСГ, том 56(2), стр. 939-951, 2023 г. https://uacg.bg/UserFiles/File/UACEG_Annual/2023/%D0%91%D1%80%D0%BE%D0%B9%202/G43.pdf, достъпен към 15.10.2024 г.
6. Илиева, Т., Николова, Н., Иванова, С. Пространствено моделиране на данни за оценка на климатичните промени в България: ГИС-базиран анализ и съпоставка на тенденциите с различните климатични сценарии. Сборник от IX Международна научна конференция Industry 4.0, зимна сесия, стр. 105-108, ISSN (online) -2535-0161, 2024 г. <https://www.industry-4.eu/winter/sbornik/2-2024.pdf>, достъпен към 15.10.2024 г.
7. Карта на климатичните зони в България, издадена през 1991 г. https://kartibg.files.wordpress.com/2012/10/bg_klimat_91.jpg, достъпен към 15.10.2024 г.
8. Милев, Г., И. Милев. Приложна геодезия Част 1, Инженерна геодезия. Изграждане на линейни обекти, на сгради, съоръжения, монтаж на технологично оборудване. Планове на изградените комплексни обекти, книга 3(3.2), С. СГЗБ. „Авангард“, 2022 г.,
9. Министерство на околната среда и водите, Басейнови дирекции <https://www.moew.government.bg/bg/kontakti/basejnovi-direkcii/>, достъпен към 15.10.2024 г.
10. Министерство на околната среда и водите, Геоинформационна система за управление на водите и докладване <https://gwms.eea.government.bg/giswmr/>, достъпен към 15.10.2024 г.
11. Министерство на околната среда и водите, Закон за водите, https://www.moew.government.bg/static/media/ups/tiny/Vodi/zakonodatelstvo/Zakon_za_vodite-2018.pdf, достъпен към 15.10.2024 г.
12. Национален портал за пространствени данни <https://inspire.egov.bg/>, достъпен към 15.10.2024 г.
13. Национален статистически институт – динамичен ред на данни за наводнения в периода 2010-2020 г. <https://www.nsi.bg/bg/content/2915/наводнения-за-периода-2010-2020-година>, достъпен към 15.10.2024 г.
14. Официална интернет страница БД Дунавски район, <https://www.bd-dunav.bg/> достъпен към 15.10.2024 г.
15. Официална интернет страница БД Западнобеломорски район, <https://wabd.bg/content/>, достъпен към 15.10.2024 г.
16. Официална интернет страница БД Източнобеломорски район, <https://earbd.org/>, достъпен към 15.10.2024 г.
17. Официална интернет страница БД Черноморски район, <https://earbd.org/>, достъпен към 15.10.2024 г.
18. Ривас Б. Л., Ив. Колева-Лизама. Анализ и оценка на риска от наводнения, Лесотехнически университет, онлайн издание на сп. Управление и устойчиво развитие, бр. 5 (66), 2017. https://jmsd.bg/files/articles/66/66-11_B_Rivas_I_Lizama.pdf, достъпен към 15.10.2024 г.
19. Романова Хр., Оценка на риска от наводнения в Република България (и в частност област Варна), Медицински университет – Варна, Варненски медицински форум, т. 8, брой 2, 2019. <https://journals.mu-varna.bg/index.php/vmf/article/download/6075/5409>, достъпен към 15.10.2024 г.

20. Център за образователни инициативи, Наводнения Проект EVANDE, технически доклад, Онлайн издание: ISBN 978-619-90747-0-1, 2016, https://www.cei-bg.org/sites/default/files/Наводнения_технически_доклад_по_проекта_EVANDE.pdf, достъпен към 15.10.2024 г.
21. Aydin, M.C., Sevgi Birincioğlu, E. Flood risk analysis using gis-based analytical hierarchy process: a case study of Bitlis Province. Applied Water Science, 12(122),2022. <https://doi.org/10.1007/s13201-022-01655-x>, достъпен към 15.10.2024 г.
22. European Digital Elevation Model (EU-DEM), version 1.1 [EUDEM download | GPXZ Elevation API](#), достъпен към 15.10.2024 г.
23. Kourgialas, N. N., & Karatzas, G. P. (2011). Flood management and a GIS modelling method to assess flood-hazard areas – a case study. Hydrological Sciences Journal, 56(2), 212–225. <https://doi.org/10.1080/02626667.2011.555836>, достъпен към 15.10.2024 г.
24. Land Cover 2019 (raster 100 m), global, yearly – version 3 from Copernicus <https://land.copernicus.eu/global/products/lc>, достъпен към 15.10.2024 г.
25. OpenStreetMap data download / Europe / Bulgaria <https://download.geofabrik.de/europe.html>, достъпен към 15.10.2024 г.
26. Rincón, D.; Khan, U.T.; Armenakis, C. Flood Risk Mapping Using GIS and Multi-Criteria Analysis: A Greater Toronto Area Case Study. Geosciences 2018, 8, 275. <https://doi.org/10.3390/geosciences8080275>, достъпен към 15.10.2024 г.
27. Skliris, N., Zika, J., Nurser, G. et al. Global water cycle amplifying at less than the Clausius-Clapeyron rate. Scientific Reports, 6 (38752), 2016. <https://doi.org/10.1038/srep38752>, достъпен към 15.10.2024 г.
28. Tabari, H. Climate change impact on flood and extreme precipitation increases with water availability, Scientific Reports, 10 (13768), 2020. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-70816-2>, достъпен към 15.10.2024 г.
29. Ziwei, L., Xiangling, T., Liju, L. et al. GIS-based risk assessment of flood disaster in the Lijiang River Basin. Scientific Reports, 13(6160),2023. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-32829-5>, достъпен към 15.10.2024 г.

АДРЕСИ НА АВТОРИТЕ

1. Гл. ас. д-р инж. Тамара Илиева-Цветкова,
Университет по архитектура, строителство и геодезия
Бул. „Хр. Смирненски“, №1, 1046 гр. София/ Bulgaria
ilieva_tamara@yahoo.com
2. Ас. инж. Боряна Николова,
Университет по архитектура, строителство и геодезия
Бул. „Хр. Смирненски“, №1, 1046 гр. София/ Bulgaria
bnikolova_fgs@uacg.bg

**ГИС-БАЗИРАН АНАЛИЗ НА ФАКТОРИ, ВЛИЯЕЩИ ВЪРХУ ЛОКАЛИЗИРАНЕТО НА
ТОПЛИННИ ОСТРОВИ В ГРАДСКА СРЕДА - ПРИМЕР ЗА ЦЕНТРАЛНАТА ЧАСТ НА
ГР. СОФИЯ**

Ас. инж. Боряна Николова, гл. ас. д-р инж. Тамара Илиева-Цветкова

**APPLICATION OF GIS FOR THE ANALYSIS OF THE RISK OF LARGE-SCALE FLOODS
IN BULGARIA IN THE CONTEXT OF CLIMATE CHANGE: ASSESSMENT OF THE
POTENTIAL IMPACT AND FORECAST OF THE EFFECTS ON DIFFERENT SECTORS OF
THE ECONOMY**

**Assist. Prof. Eng. Boryana Nikolova
Chief Assist. Prof. PhD Eng. Tamara Ilieva-Tsvetkova**

SUMMARY

This study presents a GIS-based analysis of the main factors contributing to the formation of heat islands in an urban environment, with a specific focus on the central part of the city of Sofia. The main objective is to investigate the influence of spatially distributed objects on temperature differences in the city.

The software used is QGIS with the Density Analysis plugin, which allows the creation of the so-called heatmaps that represent the concentration of objects in the different areas. For the study, geospatial data for buildings, presence of parks, gardens, green areas and road network are used in the selected scope. The use of GIS technologies allows the correct integration and interpretation of the different feature classes, which enables a correct analysis of the issue in this research.

The study that was carried out provides valuable information that would serve to improve the quality of life and reduce the negative effects of climate change in an urban environment. The ultimate goal is to present a structured model that can be supplemented and refined, but also in the version presented it may serve for the purposes of urban planning and offer sustainable strategies to deal with heat islands.

Keywords: GIS-based analysis, heat islands, urban environment.

РЕЗЮМЕ

Настоящото изследване представя ГИС-базиран анализ на основни фактори, допринасящи за формирането на топлинни острови в градска среда, с конкретен фокус върху централната част на град София. Основната цел е да се изследва влиянието на пространствено разпределените обекти върху температурните различия в града.

Използваният софтуер е QGIS с плъгин Density Analysis, който позволява създаването на т.н. heatmaps, които представят концентрацията на обекти в различни зони. За изследването се използват геопространствени данни за застрояване, наличие на паркове, градини, озеленени площи и пътна мрежа в териториалния обхват. Използването на ГИС технологиите позволява правилното съвместяване и тълкуване на различните класове обекти, което пък от своя страна

дава възможност за коректно анализиране на проблематиката в това изследване. Проучването, което е извършено осигурява ценна информация, която би послужила за подобряване на качеството на живот и намаляване на негативните ефекти от климатичните промени в градска среда. Крайната цел е да се представи структуриран модел, който има възможност за допълване и доусъвършенстване, но и в представения вариант би послужил за информирано градско планиране и предлагане на устойчиви стратегии за справяне с топлинните острови.

Ключови думи: гис-базиран анализ, топлинни острови, градска среда, софия, България.

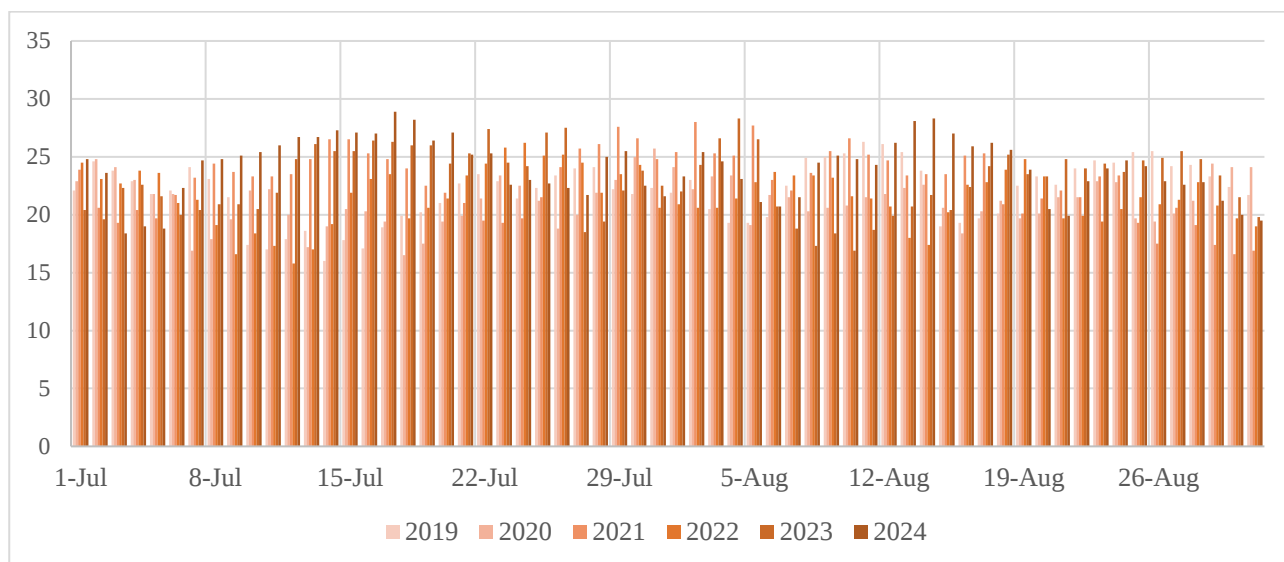
1. ВЪВЕДЕНИЕ

В днешно време се наблюдава интензивна урбанизация, която води до все повече аномалии в околната среда. Факторът, който най-добре описва климата в урбанизираните територии е температурата на повърхността и на приземния въздушен слой. Още от началото на 19. в. датират множество научни изследвания върху така наречените градски топлинни острови (ГТО, Urban Heat Island-UHI). Те от своя страна представляват уникални аномалии, където температурата на повърхността и на приземния въздушен слой в рамките на урбанизираните пространства е устойчиво по-висока [1]. С повишаването на температурата в глобален мащаб, тези аномалии стават все по-значим проблем за здравето и живота на хората и по тази причина е необходимо да се постави фокус над тази проблематика.

Според Оке, Т. (1987)[2] предполагаемите причинители на топлинни острови и характеристиките, които са в основата на промяна на енергийния баланс са следните:

- Повишена абсорбция на късовълнова радиация – причинява се от геометрията на градската среда където има пространства/обекти с по-голяма площ и повърхностно отражение;
- Повишена абсорбция на дълговълнова радиация от небето – причинява се от замърсяването на въздуха и по-конкретно от по-голямата абсорбция и повторно излъчване;
- Намалена загуба на дълговълнова радиация – причинява се от геометрията на градската среда и по-конкретно от скриване на небесния свод;
- Високи нива на отделена енергия, която е причинена от хората – причинява се от топлинни загуби на сгради и трафик;
- Повишено съхранение на топлина – причинява се от способността на строителните материали да пропускат топлина;
- Ниска стойност на евапотранспирация – причинява се поради липса на растителност и от „хидроизолацията“ на строителни материали;
- Намален общ турбулентен пренос на топлина – причинява се от геометрията в градската среда.

Геометрията на градската среда или каньона геометрия според Оке, Т. (1987)[2] представлява взаиморазположението на сградите и улиците в урбанизираните територии, което създава геометрия, доближаваща се до тази на естествените релефни форми от този вид. Евапотранспирацията [3] е съвкупността от всички процеси, чрез които водата се движи от повърхностния земен слой към атмосферата чрез изпарение и транспирация (движение на водата от почвата към атмосферата посредством растенията). В крайна сметка комбинацията от всички тези фактори влияе глобално на температурата в урбанизираните територии, като най-засегнатите са големите градове, в които се наблюдава интензивно строителство и намаляване на зелените пространства. Точно по тази причина разгледаният обхват на проучването е за град София, който е най-големия град в пределите на Р. България. Неговата котловинна география и все по-интензивно нарастващо население го поставят във висок риск от увеличаване на гореспоменатите фактори. Според данните от НСИ [4] към дата 31.12.2023 г., населението на Столична община е над 1.2 милиона. От направените проучвания по въпроса в [5] е установено, че изменения в температурата се отчитат не само в по-големи периоди, които са съответно сезонни, годишни и многогодишни, но и в средномесечните, петдневни и дори дневни температури. На фиг. 1 е представена графика на средната дневна температура за месеците юли и август, като данните са взети от станции на НИМХ [6].



Фиг. 1. Средна дневна температура за ст. София за м. юли и август в периода 2019-2024 г.

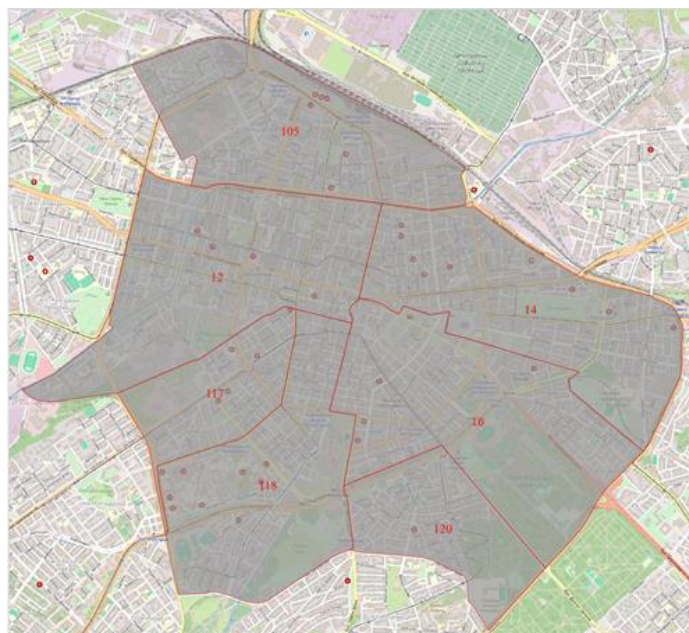
От нея може да се заключи, че за последните 6 години тенденцията е за глобално покачване на температурите, като това е валидно почти за всички дни, най-вече в средата на разглежданите месеци. Точно тези специфични характеристики на температурния режим и неговите изменения, съчетани с нарастване на прекомерното застрояване и редуцирането на зелените площи, дават предпоставки за възникване на топлинни острови в разглеждания обхват. Тези тенденции не трябва да бъдат пренебрегвани, защото предвид гъстотата на населението и важността на града за икономиката на цялата страна, те биха довели не само до здравословни проблеми за жителите, но и до негативни икономически ефекти.

Всеки един от разглежданите фактори, които биха довели до появата на топлинни острови, е комплексен и може да бъде обект на задълбочени изследвания и анализи. В настоящото проучване са разглеждани възможностите на ГИС технологиите да идентифицират аномалии от такъв вид, като в анализите е поставен фокус върху основните фактори, които имат пространствено разпределение.

2. МЕТОДОЛОГИЯ

2.1. Изходни данни

Съгласно описаните вероятни причини за появяване на топлинни острови в градска среда, главните пространствено-разпределени обекти, които биха повлияли на появяването на аномалии от такъв тип, могат да се обособят в две групи, а именно пътна мрежа и сгради. За разлика от тях зелените площи намаляват ефекта на повишаване на температурата, затова те също са включени към анализирания фактори. Дефиниран е обхвата на настоящето изследване, като за целта е използвано административното деление на град София. Той е представен на фиг. 2.



Фиг. 2. Обхват на изследването

Както е видно, някои от избраните централни райони не са взети в целия им обхват, а само частично, съгласно представената номерация:

- 05 - район „Сердика“ – югозападна част, до „Централна гара“;
- 04 - район „Оборище“ – целия обхват;
- 03 - район „Възраждане“ – целия обхват;
- 02 - район „Красно село“ – североизточна част, до бул. „акад. Гешов“;
- 10 - район „Триадица“ – северна част, до бул. „П. Тодоров“ и ул. „Бяла черква“;
- 09 - район „Лозенец“ – северна част, до бул. „Свети Наум“ и ул. „Стоян Михайловски“;
- 01 - район „Средец“ – целия обхват;

Дефинираният обхват може да се третира като „широк център“ на града. За него са систематизирани следните изходни данни във векторен формат:

- Улична мрежа - източник OSM/Geofabric downloads [7].
- Сгради – източник Софияплан/ОУП на столична община/ Кадастър/ Сгради 18.12.2009 [8]
- Зелени площи – източник Софияплан/ОУП на столична община/ Устройствени зони/ Урбанизирани територии [8]

Съдържанието на данните за уличната мрежа е класифицирано и филтрирано, съгласно нуждите на извършеното проучване. Несъществени елементи, като велоалеи, пешеходни пътеки, обикновено от почвен тип и други, са премахнати. Данните за сградите са актуални към дата 18.12.2009, но може да се заключи, че са подходящи за изследването, защото облика на централните части на града не се е променил драстично за изминалия времеви период. Данните за зелените площи са взети съгласно действащия ОУП на град София и обособените устройствени зони, които са предназначени за градски паркове и градини, локални градини и озеленяване, зелени връзки, озеленяване на улици и др.

Всички слоеве са приведени в единна координатна система, като за най-подходяща е избрана КС 2005 – кадастрална, EPSG код 7801.

2.2. Подготовка на данните за анализ

Подготовката на данните за анализ минава през следните стъпки:

- Построяване на GRID мрежа – избрано е тя да бъде с размери на клетката 50 m x 50 m. Използвана е функционалността на ГИС софтуера за създаване на такъв векторен слой (Vector - Research tools - Create grid). Дефинираната координатна система за

новия слой съвпада с тази на изходните данни.

- Сегментиране на векторните слоеве спрямо GRID мрежата – сегментацията (разделянето) на векторните слоеве спрямо GRID мрежата е изпълнена с използване на процедурата Intersection (Vector - Geoprocessing Tools). Извлечени са припокриващите се части от елементи във входния и наслагващия слой. Сегментирани са уличната мрежа, сградите и зелените площи спрямо създадената GRID мрежа.
- Изчисление на атрибутни полета спрямо GRID мрежата – за целите на анализа е са изчислени дължините на сегментираната улична мрежа и отсечките са приведени към площи обекти, като е взета средна ширина на улиците от 5 m. За целта е използван Field Calculator в QGIS. Площта, изчислена от тази функция, зачита както настройката на елипсоида на текущия проект, така и настройките на единицата за разстояние [9]. За слоевете, съдържащи сградите и зелените площи, са повторени същите стъпки, но е добавено атрибутно поле директно с изчислена площ "\$area" на всеки от сегментите.
- Сумиране и присвояване на данни за анализ върху GRID мрежата – върху новосъздадения GRID слой е изпълнена процедурата Join attributes by location (summary), която създава нов резултантен слой, в който има добавени обобщени атрибутни полета, като е избрана опцията "sum". Тази функционалност е използвана за присвояване на атрибути от сегментираните слоеве, съдържащи пътната мрежа, сградите и зелените площи. За „Geometric predicate“ е избрана опцията „contains“. При условие, че се работи със сегментиран слой, то това дава сигурност, че в изчислената площ ще се включват само попадащите в отделния квадрат сегменти. При работата за улесняване на изпълнението на тези заявки, предварително е създаден пространствен индекс върху слоевете (Vector-Data management tools>Create spatial index...).

2.3. Изчисляване на топлинен индекс

За извършването на многокомпонентната класификация е създаден топлинен индекс, който е изчислен за всеки един квадрат от GRID мрежата по формули 1.1 и 1.2:

$$\text{За площ на сгради по-малка от } 2000 \text{ m}^2 - \sum AR * 0.4 + \sum AB * 0.6 - \sum AG * 1 \quad (1.1)$$

$$\text{За площ на сгради по-голяма от } 2000 \text{ m}^2 - \sum AR * 0.4 + \sum AB * 0.2 - \sum AG * 1 \quad (1.2)$$

където:

$\sum AR$ – Сумарна площ на улична мрежа

$\sum AB$ – Сумарна площ на сгради

$\sum AG$ – Сумарна площ на зелени пространства

За пътната мрежа е заложен коефициент 0.4, което присвоява умерено влияние. Подбран е по този начин, защото наличието на пътна мрежа създава и условия за течение, което е отрицателен фактор при формирането на топлинни острови в градска среда.

За плътността на застрояване е заложен коефициент 0.6, но при площи по-големи от 2000 m², то този коефициент се редуцира на 0.2. Подбраните коефициенти са с цел да дадат по-голяма тежест на плътността на застрояване за сформирани на топлинните острови, но да редуцират влиянието при наличие на много големи сгради, които дават отклонения от представения анализ.

За зелените площи е заложен коефициент 1, но тази стойност е със знак „-“ при изчислението на топлинния индекс. Подбраният коефициент е с цел да се изключи възможността за появяване на големи положителни аномалии при наличие на такъв вид площи.

С цел прилагане на топлинния индекс е добавено допълнително атрибутно поле на слоя с GRID мрежата, в което той е калкулиран. Използван е Field calculator със следния израз:

```
if(
(
if("area_road_" is NULL, 0, "area_road_" * 0.4) +
if("area_sum" is NULL, 0, if("area_sum" > 2000, "area_sum" * 0.2, "area_sum" * 0.6)) -
if("area_park_" is NULL, 0, "area_park_" * 1)
) < 0,
0,
(
```

```

if("area_road_" is NULL, 0, "area_road_" * 0.4) +
if("area_sum" is NULL, 0, if("area_sum" > 2000, "area_sum" * 0.2, "area_sum" * 0.6)) -
if("area_park_" is NULL, 0, "area_park_" * 1)
)
)

```

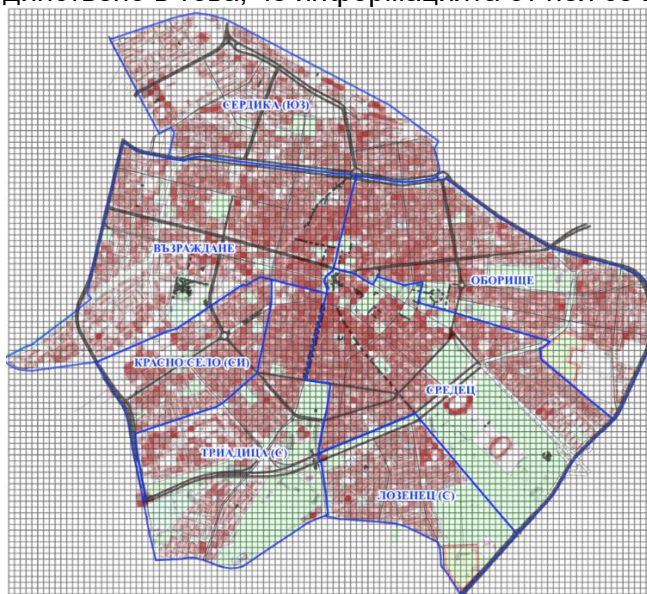
За да се избегне получаването на отрицателни индекси в клетки, които имат по-висок процент зелени площи е добавен и оператор, който третира отрицателните индекси като такива със стойност „0“.

Получените резултати за топлинния индекс са в интервала от 0 до 1197, като за зони с висок риск от възникване на топлинни острови са определени тези, при които стойността му е над 600 (закръглена стойност на 50% от получения максимум).

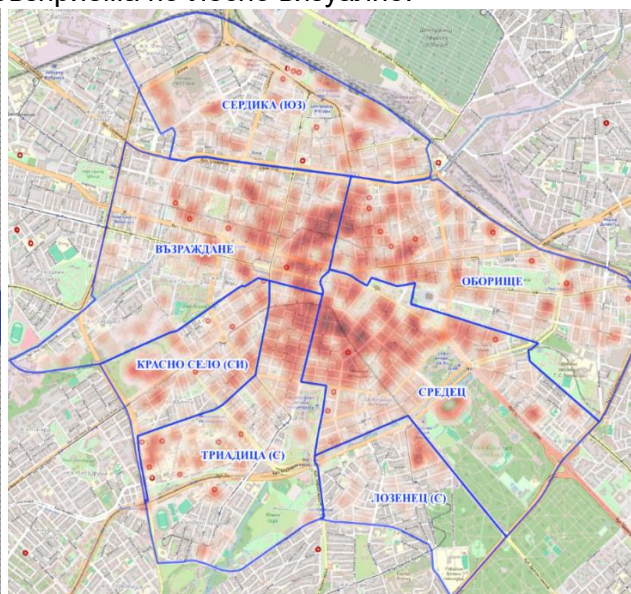
2.4. Класификация за извеждане на топлинните острови

За класификацията на резултатите, получени от изчисленията по формули 1.1 и 1.2 с използване на представената по-горе заявка е използван стил на визуализация от тип “Graduated”, като са зададени 12 класа. Крайният резултат е класифициран векторен GRID, който показва разпределението на топлинния индекс – фиг. 3.1.

Създадена е и топлинна карта (heat map) като е използвана процедурата Heatmap (Kernel Density Estimation), която създава растерен слой, показващ каква е плътността на точки в пространството на база зададен радиус. За да бъде изпълнена е създаден слой, който съдържа центроидите на квадратите от GRID мрежата, които са с топлинен индекс над 600 единици. Резултатите са представени на фиг. 3.2. Предимството на тази топлинна карта е единствено в това, че информацията от нея се възприема по-лесно визуално.



3.1 - класифициран векторен слой



3.2. - класифициран растерен слой

Фиг. 3. Изглед на резултатите от анализа, представени като класифициран векторен слой (в ляво) и класифициран растерен слой за максималните стойности на топлинния индекс (в дясно)

3. АНАЛИЗ НА ПОЛУЧЕНИТЕ РЕЗУЛТАТИ

3.1. Общо разпределение на топлинния индекс по райони

За всеки от описаните по-горе административни райони на Столична община в табл. 1 са систематизирани данните, чрез които е изчислен топлинния индекс, а именно обобщени данни за дължина на пътната мрежа, площта на сградите и зелените площи. Изчислена е и площта от всеки район, в която индекса е над 600, както и какъв процент е това от общата му площ.

Таблица 1. Разпределение на топлинен индекс по райони

№	Описание на район	Дължина на улична мрежа [m]	Площ на сгради [m ²]	Зелени площи [m ²]	Площ район/част от район [m ²]	Площ с топлинен индекс >600 [m ²]	% на територия с топлинен индекс >600
09	ЛОЗЕНЕЦ (С)	25 797	229 971	435 677	1 269 654	77 500	6.1%
10	ТРИАДИЦА (С)	61 546	517 893	755 030	2 422 255	335 000	13.8%
02	КРАСНО СЕЛО (СИ)	30 884	283 567	67 210	1 082 266	200 000	18.5%
05	СЕРДИКА (ЮЗ)	62 909	470 858	113 679	2 404 007	250 000	10.4%
01	СРЕДЕЦ	61 754	697 384	1 009 448	3 021 680	647 500	21.4%
04	ОБОРИЩЕ	64 225	673 957	404 260	2 643 907	477 500	18.1%
03	ВЪЗРАЖДАНЕ	79 492	738 602	273 514	2 926 572	577 500	19.7%

Както е видно от таблицата районът, който има най-висок процент площ с топлинен индекс над 600, е СРЕДЕЦ. След него се нареждат районите ОБОРИЩЕ, КРАСНО СЕЛО (СИ) и ВЪЗРАЖДАНЕ. По-слабо засегнати са районите ТРИАДИЦА (С), СЕРДИКА (ЮЗ) и ЛОЗЕНЕЦ (С).

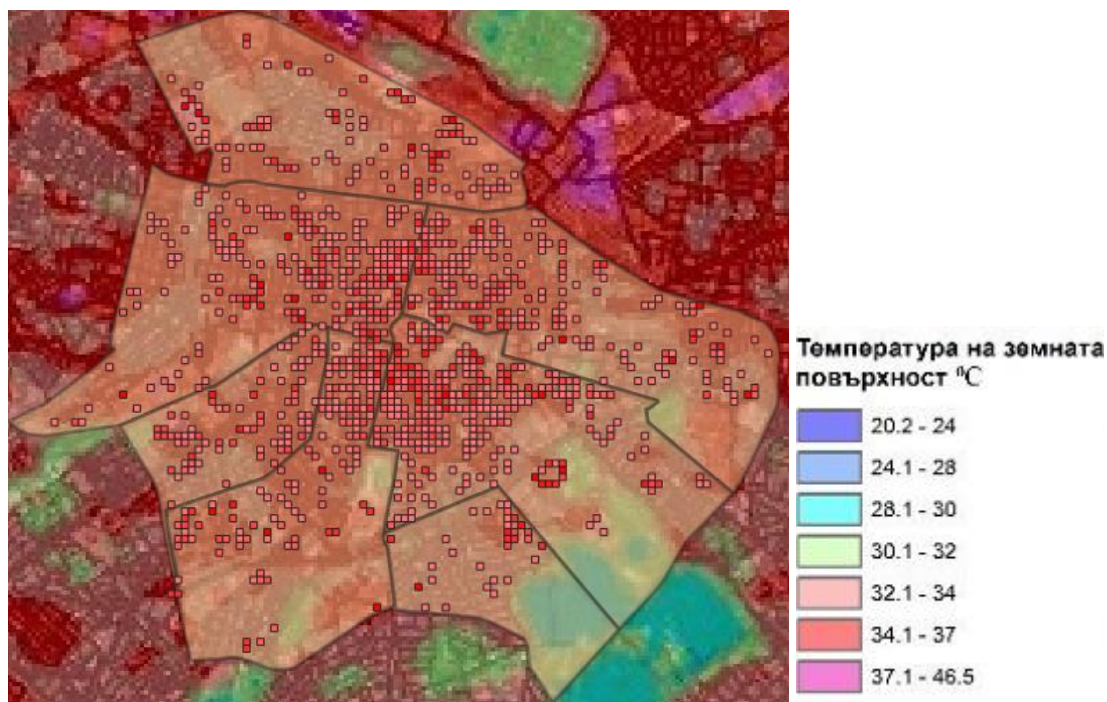
3.2. Пространствено разпределение на топлинния индекс

На фиг. 3 по-горе са повдигнати разглежданите райони, описани в т. 2.1. Забелязва се, че концентрация на потенциални места, на които може да се наблюдават по-екстремни температурни аномалии, има в центъра на изследваната територия. а именно:

- За район Средец – въпреки че значителна част от този административен район е заета от територията на парк „Борисова градина“, то може да се каже, че има най-голяма вероятност за появяване на топлинни острови в северната му част, която се намира между ул. Алабин и бул. Патриарх Евтимий.
- За частта от район Лозенец, която е включена в анализа има само един обособен потенциален топлинен остров около УАСГ, БНР и Биологическия факултет на СУ „Св. Климент Охридски“. Като цяло, този район е с най-нисък процент на висок топлинен индекс.
- За включените в анализа части от район Триадница и за район Възраждане концентрацията на зони с висок топлинен индекс и при тях е най-висока в централната част на града от север до бул. Сливница, запад бул. Христо Ботев, на изток до бул. Мария Луиза и Витоша, и на юг до бул. Генерал Скобелев. За Възраждане малко по-ниска концентрация са идентифицирани някои от жилищните квартали между бул. Христо Ботев и бул. Иван Иванов, бул. Сливница и бул. Тодор Александров, както и около СДВР, и Mall of Sofia. А за Триадница – около ВМА, Александровска Болница и Медицинския университет.
- За район Красно село – спорадично разпределени участъци и с не много висока концентрация – успоредно на бул. Тодор Александров от двете страни в участъка от пл. Македония до бул. Иван Евст. Гешов, както и около Петте кьошета, успоредно на бул. Прага до бул. Пенчо Славейков.
- В изследваната част от район Сердика влиянието е умерено, като зони с по-висока концентрация има около бул. Мария Луиза, в района на „Централна гара“, както и около Централен софийски затвор.
- В район Оборище концентрация на зони с по-висок топлинен индекс има в западната му част, между бул. Сливница и бул. Цар Освободител, на запад до бул. Мария Луиза, а на изток – до бул. Васил Левски и успоредно на него до паметника на В. Левски.

3.3. Валидиране на резултатите

На фиг. 4 е представена съпоставка на резултатите от настоящия анализ с публикувани в [1] данни за температура на земната повърхност ($^{\circ}\text{C}$), изчислена на база сателитни изображения от Landsat 8, към дата 12.08.2019 /12:09:50 часа м.вр./. Може да се види, че всички зони, които са определени като такива с висок или над средния топлинен индекс попадат в зони, за които приземната температурата е определена в интервала от 32.1 до 37 $^{\circ}\text{C}$, а това показва, че приложеният векторен модел е адекватен и ефективен.



Фиг. 4. Съпоставка на резултатите от анализа с данни за температура на земната повърхност ($^{\circ}\text{C}$), изчислена на база сателитни изображения от Landsat 8

Вижда се обаче и това, че зоните определени на база използваните векторни данни са по-малки и не покриват изцяло тези, които са изведени на базата на спътниковите изображения. Авторите предполагат, че това се дължи на анализа на само три вида пространствено разпределени обекти, затова в бъдеще модела може да се разшири като в него се включат и още фактори.

4. ЗАКЛЮЧИТЕЛНИ БЕЛЕЖКИ

От всичко описано до тук може да се обобщи, че получените резултати са релевантни на очакванията и дават представа за това как топлината на приземния въздушен слой се влияе от взаиморазположението и концентрацията на включените в анализа обекти. Избрания подход, а именно да се използва ГИС, е удачен, тъй като позволява интегрирано да се разглеждат множество характеристики на градската среда.

Резултатите показват, че избраните три пространствени фактора са от ключово значение. Високата плътност на застрояване, голямата гъстота на пътната мрежа и неналичието на зелени площи действително оказват влияние върху формирането на топлинни острови в централните части на града. Както от получените резултати, така и от данните, използвани за валидирането им е видно, че централните райони на Столицата са с най-висок топлинен индекс и са изключително извими.

Предложеният модел за изчисляване на топлинния индекс е базиран на векторни данни и е приложим за идентифицирането на топлинни острови в градска среда. Той може да бъде използван директно и за други урбанизирани територии, но може и да се доразвие чрез актуализиране на използваните слоеве с нови данни, прецизиране на използваните

коэффициенти и включване на допълнителни фактори, като етажност на сградите индекси за задържане на топлина от материалите, измервания на температура и влажност и други.

5. ЛИТЕРАТУРА

1. Попов, А., Димитров С., Борисова Б., Кулов Б., Илиев М., Атанасова М. Проучване на добри практики за топлинните острови на територията на столична община /изследване и картографиране на ефекта на градския топлинен остров на територията на софия и проучване на добри практики за смекчаване на неговото проявление, ResearchGate,София, 2019
2. Oke, T. (1987). Boundary layer climates. 2nd. Edition, 289-294p.
3. Water Science School, Evapotranspiration and the Water Cycle, 2018,<https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/evapotranspiration-and-water-cycle> -достъпен към 10.10.24 г.
4. НСИ, Население към 31.12.2023 г. по градове и пол, <https://www.nsi.bg/bg> -достъпен към 10.10.24 г.
5. Власков. В, Специфични характеристики на температурния режим на град софия за периода 2000–2019 година, 2020, https://jmsd.bg/files/articles/83/83-20_Vladimir_Vlaskov_paper_2020.pdf -достъпен към 10.10.24 г.
6. НСИ, Архивни данни за времето в България и околностите ѝ (станции на НИМХ+), <https://www.stringmeteo.com/synop/> -достъпен към 10.10.24 г.
7. Download OpenStreetMap data, Bulgaria, <https://download.geofabrik.de/europe.html> - достъпен към 10.10.24 г.
8. ГИС ПОРТАЛ НА ОП „СОФИЯПЛАН“, https://gis.sofiaplan.bg/arcgis/rest/services/oup_2009/oup_2009/MapServer - достъпен към 10.10.24 г.
9. Quantum GIS, Version 3.16, Documentation, <https://www.qgis.org/en/site/index.html> - достъпен към 10.10.24 г.

АДРЕСИ НА АВТОРИТЕ

1. Ас. инж. Боряна Николова/ Assistant Professor Eng. Boryana Nikolova;
2. Гл. ас. д-р инж. Тамара Илиева-Цветкова/Chief Assistant Professor PhD Eng. Tamara Ilieva-Tsvetkova

Университет по архитектура, строителство и геодезия/University of Architecture, Civil engineering and Geodesy;бул. „Хр. Смирненски“, №1, 1046 гр. София/ Bulgaria, Sofia 1164, 1 Hristo Smirnenski Blvd.

bnikolova_fgs@uacg.bg; ilieva_tamara@yahoo.com

**МАРКШАЙДЕРСКИ ДЕЙНОСТИ ПРИ ОСЪЩЕСТВЯВАНЕ НА ПОДЗЕМНА ВРЪЗКА
МЕЖДУ ДВА УЧАСТЪКА В „ГОРУБСО-МАДАН“ АД
Инж. Десислава Атанасова-Венкова, МГУ**

**SURVEYING ACTIVITIES DURING THE IMPLEMENTATION OF AN UNDERGROUND
CONNECTION BETWEEN TWO SITES IN "GORUBSO-MADAN" AD
Eng. Desislava Atanasova-Venkova, UMG**

SUMMARY

"Petrovitsa" section and "Krushev dol" section are part of the deposits developed by "GORUBSO - MADAN" JSC. The ore is transported from the "Krushev dol" mine by means of a train composition with wagons, through vertical construction, and in the "Petrovitsa" mine by mining trucks on an inclined construction with an exit to the surface. In order to optimize the processes and increase the productivity, a connection between the two sections is designed, by means of opposite mine workings (joint). The main task and responsibility for the design, implementation and monitoring of the connection between the two sections lies with the Markscheider's team.

Keywords: Markscheider, mine, connection, implementation, GORUBSO - MADAN.

РЕЗЮМЕ

Участък „Петровица“ и участък „Крушев дол“ са част от находищата, разработвани от „ГОРУБСО – МАДАН“ АД. Извозването на рудата от уч-к „Крушев дол“ е посредством влакова композиция с вагони, през вертикална изработка, а в уч-к „Петровица“ чрез минни камиони по наклонена изработка с излаз на повърхността. За оптимизация на процесите и повишаване на производителността, се проектира връзка между двата участъка, посредством насрещни минни изработки (сбойка). Основна задача и отговорност за проектирането, изпълнението и мониторинга на връзката между двата участъка е на Маркшайдерският екип.

Ключови думи: Маркшайдер, руда, минни изработки, сбойка, „ГОРУБСО – МАДАН“ АД.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Участък „Крушев дол“ и участък „Петровица“ са два от разработваните от „ГОРУБСО – МАДАН“ АД минно-добивни участъци. Навлизането на минните работи в дълбочина и увеличаването на добива на оловно-цинкова руда изисква непрекъсната оптимизация на работните процеси и повишаване на производителността.

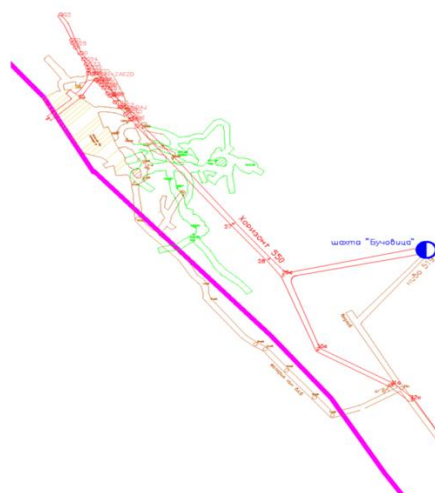
Участък „Крушев дол“ е разкрит с вертикална шахта. През нея се извършва превозът на хора, материали и извоз с вагони на добитите количества руда (ФИГ. 2).

В участък „Петровица“ разкриването е с наклонена шахта. Това улеснява значително достъпа и позволява транспортът да се извършва с минни камиони (фиг.1). Двата участъка се развиват самостоятелно и нямат подземна връзка [1].

С изготвен проект от 2022 година [2] ръководството на „ГОРУБСО – МАДАН“ АД утвърждава проектиране и реализиране на подземна връзка между двата участъка (фиг.1), След нейното осъществяване ще стане възможно добивът от участък „Крушев дол“ да бъде транспортиран до повърхността с минни камиони през участък „Петровица“. Тази технология е по-ефективна и позволява да се улесни и ускори транспорта.



Фиг.1. Участък „Крушев дол“ и участък „Петровица“ – ситуация по проект за сбойка



Фиг.2. Участък „Крушев дол“ – ситуация на хоризонт 550

2. ГЕОЛОЖКА ХАРАКТЕРИСТИКА

Вместващите скали в района на двата участъка са представени от мрамори, биотитови гнайси, амфибол-биотитови гнайси, амфиболити и прослойки пегматити. Текстурата е ивичеста. Те са здрави, но в близост до разлом, имат слаба хидротермална промяна и наличие на водни капежи. Напластяването на скалите е с азимут 220° - 240° и ъгъл на западане 10° - 22° на северозапад.

Рудното тяло в района е от жилин тип и е с ъгъл на западане – 82° - 90° и падение на североизток.

Контактите на рудното тяло са сравнително ясно изразени посредством две тектонски пукнатини, които определят и дебелината му.

Вместващите скали се характеризират с [2]:

- обемно тегло – 2.5 т м^3 ;
- коефициент на разбухване – 1.7-1.9;
- коефициент на пробиване – 4.

3. МИННО-ТЕХНИЧЕСКА ХАРАКТЕРИСТИКА

Новопроектираната подземна връзка ще свързва хоризонт 550 в участък „Крушев дол“ с хоризонт 650 в участък „Петровица“. Едновременно с това се работи по прокарване на наклонени изработки към по-долния хоризонт 450 в участък „Крушев дол“ (фиг.2). Тези изработки ще са с подходящо напречно сечение за извоз с минни камиони. В тази връзка са проектирани и допълнителни наклонени и вертикални изработки, осигуряващи нормалната работа при навлизане в по-голяма дълбочина в участъка.

Подземната връзка между двата участъка е с дължина около 900 m и с наклон (по проект) $6,8^{\circ}$. Съгласно проекта [2], от участък „Крушев дол“ се прокарват 190 m, а останалата част – от участък „Петровица“. Напречното сечение е 16 м^2 и е със сводообразна форма, имайки предвид

геоложката характеристика на скалите. Горнището ще се закрепва с анкери и метална мрежа или само с анкери. При пресичане на слаби участъци, същите ще бъдат закрепвани с посочени в проекта крепежни конструкции.

Всички дейности по време на работа ще са съобразени с изискванията на безопасните условия на труд.

4. МАРКШАЙДЕРСКО ОСИГУРЯВАНЕ НА ПРОКАРВАНЕТО НА ПОДЗЕМНАТА ВРЪЗКА МЕЖДУ УЧАСТЪЦИТЕ „КРУШЕВ ДОЛ” И „ПЕТРОВИЦА”

Новата изработка ще се прокара чрез насрещни забои от двата участъка и представлява сбойка от IV тип [5]. При този тип сбойка не съществува подземна връзка между двата забоя, по която може да се прокара полигонов ход.

За да се осигури срещането на забоите е извършена съединителна снимка, която осигурява геометричната връзка между снимките на повърхността и в рудника в приетата на земната повърхност планова и височинна система [3].

В участък „Петровица” връзката с повърхността е през щолня, по която, чрез полигонов ход, са проверени координатите на точките от съществуващата опорна подземна мрежа, и са определени координатно нови точки.

В участък „Крушев дол” е извършена хоризонтална и вертикална съединителна снимка през вертикалната шахта. И в този участък са проверени координатно съществуващите, и са определени нови точки от подземната опорна мрежа.

И в двата участъка за измерване на ъглите и дължините в полигоновите ходове са използвани наличните инструменти – SOKKIA CX 105 [1]. Ъглите са измервани, съгласно Маркшайдерската инструкция [4], в два гируса. Дължините са измервани двустранно. Превишенията са определяни тригонометрично.

Извършен е предварителен анализ на точността на очакваното срещане на двата срещуположни забоя. Оценките са в двете отговорни направления – в хоризонталната, и във вертикалната равнина. Получените стойности удовлетворяват изискванията на Техническата маркшайдерска инструкция за срещане на главни хоризонтални и слабо наклонени изработки в хоризонталната и във вертикалната равнина [4].

С напредване на двата забоя се извършва непрекъснат контрол на изработеното и се задава направлението им в пространството.

Към настоящия момент до срещането на двата забоя остават около 40 m.

Календарният график за развитието на минните работи се спазва съгласно проекта.

4. НОВОСТИ В МАРКШАЙДЕРСКОТО ОСИГУРЯВАНЕ

В последните години в минно-добивната промишленост у нас навлизат нови технологии и минно оборудване, както за добива, така и за маркшайдерското осигуряване. За заснемане на изработките се използват сканиращи системи и безпилотни летателни апарати (БЛА). Всичко това улеснява маркшайдерите, осигурява безопасната и ефективната им работа, подобрява точността и информативността на снимките. Създават се модели на минните изработки и на скалния масив, които, свързани с подходящи бази данни, позволяват проектиране и експлоатация на съвременно ниво.

В тази връзка, в участък „Крушев дол” е извършено 3D лазерно сканиране за заснемане на прокараната откъм участъка част на подземната свързваща изработка (фиг.3), както и на околните ѝ съществуващи минни изработки (фиг.4). Използван е ръчен скенер CHCNAV SLAM RS10. „ГОРУБСО – МАДАН” АД изказва благодарност на проф. Момчил Минчев за съдействието.



Фиг.3. Участък „Крушев дол“ – 3D модел на хоризонт 550 и свързващата изработка с участък „Петровица“



Фиг.4. Участък „Крушев дол“ – 3D модел на изработките на хоризонт 550

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предстои подобно заснемане и създаване на 3D модел на новата изработка и откъм участък „Петровица“.

Цялостният модел на подземната връзка между двата участъка ще бъде сравнен с проекта за нейното прокарване и ще послужи за натрупване на опит по отношение на новите технологии, които безспорно навлизат и в рудниците на „ГОРУБСО – МАДАН“ АД.

6. ЛИТЕРАТУРА

1. Атанасова-Венкова, Д. Прокарване на наклонена галерия между участък „Крушев дол“ и участък „Петровица“ – сбойка между два рудника към „ГОРУБСО-МАДАН“ АД, IX Национална научно-техническа конференция с международно участие „Технологии и практики при подземен добив и минно строителство“, 7-10 октомври 2024 г., Девин
2. Работен проект – Връзка между участък „Крушев дол“ и участък „Петровица“, „ГОРУБСО-МАДАН“ АД, 2022
3. Справочник по маркшайдерство. ДИ „Техника“, София, 1979, 576
4. Техническа маркшайдерска инструкция. ДИ „Техника“, София, 1969, 192
5. Цонков, Ал., Маркшайдерство при подземно разработване на находища (кратък курс), ИК „Св. Иван Рилски“, София, 2019, 182.

АДРЕС НА АВТОРА

Инж. Десислава Атанасова-Венкова

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, гр. София

Dessislava Atanassova <dessislava.atanassova89@gmail.com>

КЛАСИФИКАЦИЯ НА СИСТЕМИТЕ ЗА СЛЕДЕНЕ НА ПОГЛЕДА С ПРИЛОЖЕНИЕ В КАРТОГРАФИЯТА

Инж. Николета Николова, УАСГ

CLASSIFICATION OF EYE-TRACKING SYSTEMS WITH APPLICATIONS IN CARTOGRAPHY

Eng. Nikoleta Nikolova

SUMMARY

The map is a tool for communication and information transfer. Cartographers have always searched for the best methods for visualizing geographic data and evaluating the effectiveness and informational content of their maps. The use of eye-tracking systems has emerged to assist in assessing the usability and practicality of cartographic products.

This article proposes a classification of eye-tracking systems specifically applied to the needs of cartography, focusing on the historical development, hardware, and software components, as well as specific technologies used for gaze monitoring. The aim of the research is to provide a systematic review of different approaches and technologies, analyzing their advantages and limitations in the context of cartographic applications.

The object of study includes various types of eye-tracking systems, categorized by different criteria, with a primary focus on tools for collecting data on user perception and the technologies used in its subsequent processing. The accuracy and effectiveness of these systems are evaluated to achieve a better understanding of users' visual perceptions, as well as the algorithms for fixation and saccade analysis.

The main contribution of the article is the classification of hardware and software solutions for eye-tracking, as well as a discussion of their applicability to cartography. Based on the research, the article highlights both the advantages and limitations of modern technologies, offering guidelines for their integration into cartographic tasks.

Keywords: eye-tracking, cognitive cartography, gaze plots, user experience, stimulus, usability.

РЕЗЮМЕ

Картата е инструмент за комуникация и пренос на информация. Картографите винаги са търсели най-добрите методи за визуализация на географски данни, като оценяват ефективността и съдържанието на информацията в картите си. На помощ за оценяването на използваемостта и практичността на картографския продукт влиза употребата на т.нар. системи за следене на погледа.

Настоящата статия предлага класификация на системите за следене на погледа с приложение конкретно за нуждите на картографията, като се фокусира върху историческото

развитие, хардуерните и софтуерните компоненти, както и специфичните технологии, използвани за мониторинг на погледа. Целта на изследването е да предостави систематичен преглед на различните подходи и технологии, като анализира техните предимства и ограничения в контекста на картографските приложения.

Обект на изследване са различни типове системи за следене на погледа, категоризирани по различни критерии, като главно се представят инструментите за получаване на данни за потребителското възприемане, както и за технологиите в последващата им обработка. Оценяват точността и ефективността им за постигане на подобро разбиране на визуалните възприятия на потребителите, както и на алгоритмите за разсейване на фикции и сакади.

Основният принос на статията е класификацията на хардуерните и софтуерните решения за следене на погледа, както и обсъждането на тяхната приложимост в картографията. Въз основа на изследването се подчертават както предимствата, така и ограниченията на съвременните технологии, като се предлагат насоки за тяхното интегриране в картографски задачи.

Ключови думи: следене на погледа, когнитивна картография, карти на погледа, потребителско изживяване, стимул, използваемост.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Следенето на очите принадлежи към групата на методите за оценка, наречени изследвания на използваемостта (Usability Studies). Терминът използваемост се дефинира като "ефективността, ефективността и удовлетвореността, с които определени потребители постигат определени цели в конкретни среди". Използваемостта може да разкрие качества на продукта, както и липса на неговата функционалност, което обикновено възниква по време на фазата на проектиране на картографския продукт.

Технологията за проследяване на погледа е един от най-иновативните и широко разпространени методи в областта на взаимодействието между човек и компютър (Human-computer interaction). Основната функция на тази технология е базирана на устройство, което проследява движението на зеницата, за да идентифицира насочеността на погледа на потребителя основно върху дисплеи. Проследяването на погледа позволява детайлно разбиране на начина, по който потребителите възприемат визуална информация.

В момента устройствата за проследяване на очите стават все по-евтини, което ги прави достъпен ресурс за изследвания. В контекста на картографията тези технологии могат да бъдат използвани за анализ на потребителското поведение при взаимодействие с геопространствени данни, както и за подобряване на визуализацията на картографските продукти. Настоящото изследване ще разгледа класификацията на съществуващите системи за следене на погледа, като ще обърне внимание на техните приложения в областта на картографията.

2. ИСТОРИЯ НА СИСТЕМИТЕ ЗА ПРОСЛЕДЯВАНЕ НА ПОГЛЕДА

В ранните години на развитието на областта на проследяване на погледа, движението на очите се е изучавало главно за наблюдение на характера на човешките движения на очите, а не за използването на тези движения за комуникация.

Първите устройства за проследяване на очите, които предоставят обективни и точни данни, се появяват в началото на 20-ти век. През 1901 година се правят първите измервания на движението на очите, използвайки фотографски метод и светлинни отражения от роговицата на окото и по-късно през 1935 г. В миналото този метод често е бил скъп поради разходите за оборудване и времето, необходимо за анализ на огромното количество записани данни [10]. Някои автори от този период заключават, че не може да се научи много от данните за проследяване на очите.

В края на 1960-те години важноста на записите на движенията на очите и тяхната визуализация са илюстрирани в книгата [27]. Поради, от една страна, подобренията на самите системи за проследяване на очите (ставащи по-лесни за работа, и по-надеждни) и напредъка в свързаните психологически теории, от друга страна. Картографите започват да използват проследяване на погледа в своите изследвания през началото на 70-те години, когато Дженкс включва движения на очите в своите изследвания на потребители [11, 12]. Последователно се наблюдава увеличаване на изследванията с проследяване на очите в научната област.

През 1980-те години, проследяването на очите е интегрирано в изследванията относно човеко-компютърното взаимодействие (HCI). Това включва проучвания на потребители за откриване и оценка на проблемите във взаимодействията между хора и компютри (например инженерство на използваемостта). Проследяването на очите се използва и в реално време като входно устройство. През 1990-те години компютърните системи стават по-интерактивни с появата на Интернет, уебсайтове, имейли и видеоконференции [3], [9], [19] и [28].

2.1. Системи за следене на погледа в картографията

Проследяването на погледа е един от най-точните и красноречиви методи за изучаване на поведението на очите, което се проявява по време на четене на карти, тъй като предоставя обективно измерване на визуалните стратегии, използвани от читателите на карти. С помощта на проследяване на погледа е възможно да се събере информация, която е недостъпна с други техники, особено когато информацията за поведението на хората при решаване на задачи е трудна за наблюдение с други методи.

Движението на очите, според [4], предоставя прозрения, които могат да подобрят разбирането на начина, по който хората взаимодействат с интерактивни картографски интерфейси. Картите като визуални стимули се променят от началото на изследванията на движенията на очите в картографията, преминавайки от статични към динамични дисплеи. В посочената статия [20] се изследват типовете стимули, използвани в картографски емпирични изследвания. Според анализа на повече от сто статии тя открива, че над една трета от използваните стимули са интерактивни. Освен това нейното изследване показва стабилно увеличаване на броя на публикуваните статии в областта на когнитивната картография. Подобни резултати са предоставени и в областта на проследяването на погледа в картографията от Красанакис & Цибулски [14]. В статията на авторите се предоставя преглед на съществуващите изследвания с проследяване на очите, които са се появили в картографските изследвания през последното десетилетие. Рецензията показва, че картографите използват проследяване на погледа основно при оценката на картографската символизация и принципите на дизайна.

По-нови проучвания, използващи проследяване на погледа в картографията, са фокусирани върху оценката на картографските принципи, интерактивни карти, дисплеи с множество малки карти, графични данни, разликите между експерти и новаци, картова несигурност, 3D визуализация на карти и цветови схеми.

2.2. Системите за проследяване на погледа с ниска стойност

Системите за проследяване на погледа с ниска стойност използват технологии за мониторинг и анализ на движенията на очите, които са достъпни и на по-ниска цена, но предлагат ограничена точност и функционалности в сравнение с по-скъпите професионални системи. Те могат да се използват в разнообразни области.

Все повече зачестяват изследвания, които са свързани с приложенията на проследяването на очите с ниска стойност. В статия на преподаватели от тайландски университет по информатика Вийрван Джантанасуб и Фаюнг Мийсад в [10] оценяват представянето на три независими устройства за проследяване на очите с ниска стойност: GP3 на Gazepoint, EyeTribe и DIY (направи си сам). Оценката на задача за избор на точки, базирана на визуално търсене и опция да се промени основния цвят на менюто, в съответствие със стандартите ISO 9241-9, [7]. Резултатите показват, че пространствената точност и скоростта са добър показател за проследяване на целеви грешки, време за изпълнение и производителност. В резултат на това експериментът показва, че всички устройства могат да бъдат потенциално ценен ресурс за изследвания в областта на взаимодействието между човека и компютъра. Освен това тези евтини и често малки устройства имат редица други предимства в сравнение с решенията на традиционните доставчици на уреди за проследяване на очите (като SMI, SR Research, Tobii и други).

Сред най-големите предимства на тези устройства са:

- Мобилност — малките уреди за проследяване на очите са много по-лесни за транспортиране. Могат да бъдат тествани повече участници извън лабораторията, на удобно за тях местоположение;

- Използване на множество устройства — поради ограничените си разходи, може да се закупят множество уреди за проследяване на очите. Това води до изпълнението на повече експерименти и паралелно;

- Въпреки по-ниската им цена, те могат да предложат достатъчно добро представяне за задачи като визуално търсене и взаимодействие с компютърни интерфейси.

Нискобюджетните тракери за очи не разполагат с пълен комплект оборудване около тях (лаптоп, софтуерни пакети за настройка и провеждане на експериментите), което ги прави по-податливи на грешки в тяхната употреба, водещи до резултати с по-ниско качество.

Съществуват и ръчно направени в домашни условия (DIY) устройства за проследяване на погледа. Те могат да бъдат построени от евтини компоненти, които лесно могат да бъдат закупени. За да се намали общата стойност на системата, се използва търговска уеб камера. Електрически кабел, който управлява USB кабела и модула за улавяне, е прикрепен към рамката на очилата.

2.3. Системите за проследяване на погледа днес с висока стойност

Когато точността и прецизността на системите за проследяване на погледа с ниска стойност са прекалено ниски и недостатъчно, е подходящо да бъдат заменени с устройства за проследяване на очите с висока стойност. Те са значително по-подходящи за висококачествени изследвания.

Системите с висока стойност за проследяване, които обикновено надвишават 300 Hz и могат да достигнат до 1000 Hz или повече, предлагат значително предимство по отношение на детайлността и прецизността на събраните данни. Тези системи могат да уловят по-фини движения на очите, които са от критична важност при научни изследвания, изискващи висока точност.

Фактори, като настройка, софтуерът за калибриране, запис и обработка на данни, са част от по-скъпите утвърдени тракери за очи. Интегрирани са в пакети, които се доставят при поръчка на даден тракер: лаптоп, софтуерни пакети за настройка и провеждане на експериментите, стимулационен екран, възможности за прикрепване на тракера за очи към този стимулационен екран (така че той да бъде автоматично правилно позициониран) и други.

Системите с висока скорост, освен че са по-скъпи, водят до повече измервания на секунда. Това е важно при прилагане на алгоритми за откриване на събития.

3. ОПТИЧНИ СИСТЕМИ

Оптични системи за проследяване на движението на очите могат да бъдат изградени с различни технологични подходи, в зависимост от изискванията на конкретното изследване или приложение. Те могат да бъдат настроени да записват монокуларно (само с едно око) или бинокуларно (с две очи) движение на погледа, като изборът между тези два метода зависи от точността и детайлността, които са необходими. Монокуларните системи са по-прости и по-евтини, докато бинокуларните предлагат по-висока прецизност при измерване на пространствените движения на очите.

3.1. Бинокуларна система

Бинокуларната система за проследяване на движението на очите използва два сензора или камери, които следят движенията на двете очи едновременно. Тази система позволява по-прецизно измерване на движенията на очите, като осигурява детайлно картографиране на пространственото възприятие и фокусиране на обекти в триизмерно пространство.

Очилата, които се носят на главата, могат да страдат от паралаксови грешки, тъй като точката на наблюдение на окото и камерата не съвпадат, особено когато измерванията не са ограничени до една плоскост. За да се намали този проблем, в очилата за следене на очите (като SMI ETG и Tobii Glasses) се прилага бинокуларно средно аритметично, което компенсира паралаксовите грешки. Подробно разглеждане на геометрията на паралаксовите грешки е направено в изследванията [15], [16], [17] и [24].

3.2. Монокуларна система

Монокуларната система за проследяване на очите използва само една камера или сензор за измерване на движението на едното око. Тази система е по-проста и по-евтина в сравнение с бинокуларните, но обикновено предлага по-малка прецизност, тъй като не улавя информация за движението на двете очи едновременно. В картографирането на движението на очите монокуларните системи могат да се използват за изследвания, които не изисква висока пространствена прецизност. Те са подходящи за приложения като потребителски интерфейси и базови изследвания, където точността на фокусиране не е толкова критична.

4. ТОЧНОСТ И ПРЕЦИЗНОСТ

Точността и интензивността на системата за проследяване на погледа са едни от основните класификационни аспекти, които зависят главно от метода и устройството за проследяване на очите, които се използват.

Точността се измерва чрез разстоянието между записаните фиксационни позиции и реалната позиция на погледа. Разстоянието, образувано между двете позиции, се нарича отклонение.

Прецизността се представя чрез стандартното отклонение на тези измервания. Тя се отнася до способността на устройството, надеждно да възпроизвежда позиции на погледа в пространството. Възможно е да се оценява и времевата прецизност на уреда за проследяване на очите (скорост на проби). Правилното настройване и избор на софтуер за запис и обработка на данните са от съществено значение за получаване на добри резултати. Качеството на данните се формира именно от точността и прецизността. Само чрез тях записаните данни може да се считат за сравними.

Точността на системите за проследяване на погледа е един от най-важните критерии за определяне доколко надеждно може да бъде проследен погледът на потребителя. Системите могат да бъдат класифицирани по точност в три основни категории:

- **Високоточни системи (точност под 0.3°)** — Тези системи са изключително прецизни и позволяват запис на фиксациите с минимално отклонение от реалната позиция на погледа;
- **Средноточни системи (точност между 0.3° и 0.5°)** — Тези системи предлагат добро съотношение между точност и достатъчна точност, за да се анализират кои области от визуалния стимул привличат най-много внимание;
- **Нискоточни системи (точност над 0.5°)** — Тези системи са по-достъпни и често се използват в по-обща приложения, където изключително висока точност не е необходима, като тестове на използваемост на уебсайтове и интерфейси, или основни картографски приложения. Макар че имат по-голямо отклонение, те все пак предоставят достатъчно данни за общи изследвания на поведението на потребителите.

Точността на системите за проследяване на погледа е критична за качеството на данните, особено в научни и картографски изследвания. Изборът на система с необходимата точност зависи от конкретните цели на изследването.

5. АЛГОРИТЪМ НА РАЗСЕЙВАНЕ

Сакадата (от френския глагол *saccader*, което означава "дърпам" или "тегля рязко"), въведен от френския офталмолог Емиле Джавал в края на 19-ти век, е бързо, рязко движение на очите, при което погледът се пренасочва от една точка към друга. Това движение е неволево и служи за преместване на вниманието между различни обекти или зони в зрителното поле. Сакадите са характерни с висока скорост и кратка продължителност — обикновено траят между 20 и 200 ms.

Фиксация в контекста на проследяване на погледа е моментът, когато очите се спират и задържат фокуса си върху конкретен обект или точка за определен период от време. По време на фиксация визуалната информация се обработва и интерпретира от мозъка. Фиксациите са

важни, защото именно по време на тях се извършва усвояването на визуална информация, докато по време на сакадите (бързите движения на очите) не се възприема нова информация.

$$(1) \quad FD = T_2 - T_1,$$

където: FD (Fixation Duration) е измереното налягане, T_2 – време за края на фикцията, T_1 – началото на фиксацията [1].

Фиксация може да се разглежда като средната позиция по X и Y координати, измерена за минимален период от време, през който окото не се движи повече от определено максимално количество. По-просто казано, точката на погледа трябва да остане непрекъснато в малка зона за минимално време.

Фиксациите и сакадите са основни характеристики на движението на очите, които могат да бъдат идентифицирани с помощта на алгоритми за предварителна обработка и анализ на данните.

Алгоритъмът на разсейване, от една страна, включва оценка на **фиксациите** и **сакадите**, които се разпространяват по екрана, а от друга, в контекста на **Heatmaps** (топлинни карти), алгоритъмът се използва за визуализиране на концентрацията на погледа върху различни области от картата или интерфейса.

6. КЛАСИФИКАЦИЯ НА ХАРДУЕРИТЕ ЗА СЛЕДЕНЕ НА ПОГЛЕДА

Хардуерите за следене на погледа намират широко приложение в различни области, като една от най-активните сфери е картографията, където се използват за анализ на визуалното възприемане на географски карти и навигационни системи. Чрез проследяване на погледа може да се изследва кои елементи на картите привличат най-много внимание, как потребителите интерпретират пространствената информация и какви подобрения могат да бъдат направени за по-ефективно представяне на данните.

Таблица 1 представя сравнително описание на различни системи за следене на погледа, като ги класифицира според тяхната точност, честота на запис, бюджетен клас, поддръжка на софтуер и приложимост в картографски изследвания. Тя включва както високобюджетни системи, подходящи за детайлен анализ и когнитивни изследвания, така и нискобюджетни опции, използвани за по-основни задачи, като тестване на използваемостта на уеб-базирани карти.

Табл. 6. Сравнение на системи за следене на погледа

Система	Точност (°)	Честота на запис (Hz)	Бюджетен клас	Поддръжка на софтуер	Картографски приложения
Tobii Pro Spectrum	< 0.3°	1200 Hz	Високобюджетен	Отлична (пълна интеграция с Tobii Pro Lab)	Изследвания на когнитивно възприятие и вниманието при карти
EyeLink 1000 Plus	< 0.15°	2000 Hz	Високобюджетен	Отлична (поддържа широк набор от софтуерни платформи)	Детайлен анализ на погледа при работа с карти и навигационни системи

SMI RED250	~ 0.4°	250 Hz	Високобюджетен	Добра (поддръжка на анализ на поглед и топлинни карти)	Подробни когнитивни изследвания на карти и навигационни системи
Gazepoint GP3	~ 0.5°	150 Hz	Нискобюджетен	Ограничена (основен софтуер за анализ)	Тестове на използваемост на уеб-базирани карти
EyeTech VT3	~ 0.4°	250 Hz	Среднобюджетен	Ефективна (собствен EyeTech софтуер)	Визуализация на картографски данни и анализ на потребителско поведение
The Eye Tribe Tracker	~ 0.5°	60 Hz	Нискобюджетен	Ограничена (базова SDK поддръжка)	Основни изследвания на картографски интерфейси

Tobii Pro Spectrum [26] и **EyeLink 1000 Plus** [5] са едни от най-популярните и най-високо оценяваните в академични изследвания и лаборатории за картографски анализи. Те предлагат висока точност, честота на запис и отлична поддръжка на софтуер. EyeLink1000 на SR Research, чията точност идва от това, че участниците трябва да поставят главата си на опора за брадичката.

SMI RED250 [22] също е много популярен в картографските изследвания и изследванията на потребителски интерфейси, тъй като предлага добър баланс между цена и възможности.

Gazepoint GP3 [8] и **EyeTech VT3** [6] са по-достъпни и се използват за по-прости изследвания, като например тестване на уеб-базирани карти и анализ на потребителското поведение. **Gazepoint** предлага различни модели хардуерни устройства за проследяване на очите, като най-популярни са:

- **GP3** е създадено от канадска стартираща компания през 2013 година Той е устройство за проследяване на очите, което се свързва към компютър чрез USB. Поддържа скорост на проследяване до 60Hz, което го прави подходящо за много научни и комерсиални приложения;

- **GP3 HD** е по-висок клас модел с по-голяма точност и скорост (до 150Hz), което го прави подходящо за по-детайлни изследвания и приложения с високи изисквания;

The Eye Tribe Tracker [25] е устройство, което вече не е на пазара, но е закупено от Tobii през 2016 година. Въпреки че вече не се произвежда, е било едно от най-достъпните решения за проследяване на очите в картографията, използващо инфрачервена камера и LED осветление.

7. КЛАСИФИКАЦИЯ НА СОФТУЕРИ ЗА СЛЕДВАНЕ НА ПОГЛЕДА

Софтуерът за изследване на погледа (Eye Tracking) се използва за проследяване на движенията на очите и изследване на начина, по който хората възприемат визуална информация. Тези технологии намират широко приложение и в картографията. Редица изследователи са разработили няколко инструмента, метода и алгоритъма, като най-известни са тези за:

- Анализ на данни от проследяване на погледа - ET2Spatial;
- Анализ на подравняване на „пътеките“ на движение на погледа – EyeMSA;
- Анализ и сравнение на пътеките на погледа – ScanGraph;

- Анализ на данни от проследяване на очите – EyeMMV;
- Събиране на данни - софтуерът Hypothesis.

7.1. ET2Spatial

Както се споменава в [23], е разработен инструмент с отворен код за анализ на данни от проследяване на погледа, записани върху динамични интерактивни уеб карти. ET2Spatial се основава на съществуващата технология, MapTrack. Разработеният инструмент опростява трудоемката задача — кадър по кадър анализ на екранни записи чрез георефериране на координатите на екрана, наблюдавани чрез очен тракер. За целта се извършва преобразуване на координатите на екрана, на които е насочен погледът на участника, в реални географски координати.

Разработеният софтуер е тестван задълбочено по отношение на производителността и точността. Той има за цел да подобри изследователските възможности в областта на проследяването на погледа в геовизуализациите.

За начало се приемат три входни файла: сурови точки, точки на фиксация и данни за взаимодействие на потребителя. Тези входни набори от данни се обработват предварително, синхронизират въз основа на времеви отпечатъци и се съединяват. Основното преобразуване на точките се основава на формулите на Web Mercator проекцията. Експортирането на файлове е в широко използвани формати за пространствени данни.

ET2Spatial има потенциал да бъде мащабиран и може да се използва за изследвания на използваемостта на интерактивни картографски медии, както и за анализ на човешкото взаимодействие и когнитивното познание с уеб карти.

7.2. EyeMSA

EyeMSA, разработен от Burch и екипа му през 2018 г. [2], е инструмент, който анализира движенията на очите на потребителите, когато разглеждат визуални обекти. Основната му цел е да открива и сравнява „пътеките на погледа“, т.е. последователностите, по които хората насочват очите си върху визуална информация. По този начин инструментът улеснява подравняването и сравнението на последователностите, което е особено полезно при анализ на когнитивни процеси и поведение при взаимодействие с визуални обекти.

EyeMSA помага за разкриването на сходства и разлики в начина, по който различни хора сканират визуална информация в картографиране и интерактивни визуални среди.

7.3. ScanGraph

Множеството пътеки на погледа на участниците могат да бъдат сравнени чрез метода ScanGraph е създаден от Долезалова и Попелка. Основната цел на ScanGraph е да улесни визуализирането и сравнението на тези пътеки, което позволява на изследователите да идентифицират общи модели в движенията на очите на участниците по време на различни задачи.

Този инструмент е използван не само в областта на картографията, но и в географското образование [1], [18] и образованието по физика [29]. С помощта на ScanGraph се изследват когнитивните процеси и начините, по които потребителите взаимодействат със сложни визуални обекти, като например интерактивни карти или образователни материали.

7.4. EyeMMV

EyeMMV е инструмент за анализ на данни от проследяване на очите, разработен от Красанакис през 2014 г. [13] като MATLAB toolbox. Основната цел на EyeMMV е да осигури пълна поддръжка за анализиране на данни от проследяване на очите, като предлага разнообразие от функции за обработка и визуализация на тези данни.

Инструментът позволява на изследователите да анализират важни метрики, свързани с движенията на очите, като фиксация, сакади и пътеки на погледа, което е от решаващо значение за разбирането на когнитивните процеси по време на взаимодействие с визуални и географски данни. EyeMMV се използва широко в изследванията за картография, геопропространствени системи и други области, свързани с анализ на визуални стимули.

7.5. Hypothesis

Платформата Hypothesis е създадена чрез сътрудничество между географи и психолози, сред които е и Шашинка. Тя е основно предназначена за експериментални изследвания в области, като картографията и психологичната диагностика, като използва запис на данни за потребителите [21]. Уеб базираната платформа предлага възможност за създаване на различни интерактивни тестове, включително такива с 3D обекти и графичен материал.

8. ПРЕДИМСТВА И ОГРАНИЧЕНИЯ НА ТЕХНОЛОГИИТЕ ЗА СЛЕДЕНЕ НА ПОГЛЕДА В КАРТОГРАФИЯТА

Технологиите за следене на погледа предлагат значителни предимства при разработването на картографски продукти и интерфейси. Те позволяват на картографите да получат изключително точна информация за поведението на потребителите при взаимодействие с картите. Въпреки това, както всяка друга технология, и следенето на погледа има своите ограничения и предизвикателства, които трябва да се вземат предвид при използването му.

8.1. Предимства

Технологиите за следене на погледа предоставят уникална възможност за изследване на вниманието на потребителите и на това как те възприемат картографска информация. Следенето на погледа позволява да се разберат визуалните предпочитания на потребителите и как те възприемат различни стилове на картографиране. Тези данни могат да се използват за създаване на по-интуитивни и визуално приятни картографски интерфейси.

8.2. Ограничения

Един от основните проблеми на технологиите за следене на погледа е тяхната точност. Въпреки че съвременните системи за следене на погледа са много напреднали, те не са напълно безпогрешни. Също така много от най-точните и напреднали технологии за следене на погледа изискват специализирана апаратура като очила със сензори или преносими устройства.

Следенето на погледа генерира голям обем от данни, които трябва да бъдат внимателно обработени и анализирани. Това може да включва обработка на хиляди точки на фиксация и сакади, което изисква значителни компютърни ресурси и време за анализ.

9. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Технологията за следене на погледа предлага нови перспективи за картографията, като предоставя мощни инструменти за анализ на потребителския опит и поведение. Чрез комбинирането на тези системи с други методи за оценка на потребителския интерфейс, картографите могат да подобрят дизайна на картите и навигационните системи, създавайки по-ефективни и интуитивни картографски продукти.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Beitlova, M., S. Popelka, V. Voženílek. Differences in Thematic Map Reading by Students and Their Geography Teacher. *Miscellanea Geographica*, 2020.
2. Burch, M., K. Kurzhals, N. Kleinhans, D. Weiskopf. EyeMSA: exploring eye movement data with pairwise and multiple sequence alignment. *Proceedings of the 22nd IEEE Conference on Information Visualization*, 2018.
3. Castelhamo, M., K. Rayner. Eye movements during reading, visual search, and scene perception: An overview. *Visual Cognition*, 2008.
4. Coltekin, A., B. Heil, S. Garlandini, S. I. Fabrikant. Evaluating the effectiveness of interactive map interface designs: A case study integrating usability metrics with eye-movement analysis. *Cartography and Geographic Information Science*, 36(1), 5–17, 2009.

5. EyeLink 1000 Plus - SR Research. Официален сайт за EyeLink 1000 Plus. 18.11.2023, <https://www.sr-research.com>
6. EyeTech VT3 - EyeTech. Продуктов сайт за EyeTech VT3. 12.01.2024, <https://www.eyetechds.com>
7. International Organization for Standardization. ISO 9241-9: Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs) - Part 9: Requirements for non-keyboard input devices. ISO, Geneva, Switzerland, 2000.
8. Gazepoint GP3 - Gazepoint. Официален сайт на Gazepoint за модела GP3. 04.07.2024, <https://www.gazept.com>
9. Jacob, R. J. K., K. S. Karn. Eye Tracking in Human-Computer Interaction and Usability Research: Ready to Deliver the Promises. Proceedings of the Conference on Human Factors in Computing Systems, 2003.
10. Janthanasub, V., P. Meesad. Evaluation of a Low-cost Eye Tracking System for Computer Input. KMUTNB International Journal of Applied Science and Technology, 8(2), 45-50, 2015. <https://doi.org/10.14416/j.ijast.2015.07.001>
11. Jenks, G. F. Visual integration in thematic mapping: fact or fiction? International Yearbook of Cartography, 13, 27–35, 1973.
12. Jenks, G. F. The average map-reader lives. Paper presented at the Annual meeting of the Association of American Geographers, Seattle, Washington, 1974
13. Krassanakis, V., V. Filippakopoulou, B. Nakos. EyeMMV toolbox: an eye movement post-analysis tool based on a two-step spatial dispersion threshold for fixation identification. Journal of Eye Movement Research, 7(1), 2014. <https://doi.org/10.16910/jemr.7.1.1>
14. Krassanakis, V., P. Cybulski. A review on eye movement analysis in map reading process: The status of the last decade. Geodesy and Cartography, 68(1), 191–209, 2019. <https://doi.org/10.24425/gac.2019.126088>
15. Mardanbegi, D., D. W. Hansen. Parallax error in the monocular head-mounted eye trackers. Proceedings of the ACM Conference on Ubiquitous Computing, 2012, pp. 689–694
16. Narcizo, F. B., Z. Ahmed, D. W. Hansen. Using priors to compensate geometrical problems in head-mounted eye trackers. 19th European Conference on Eye Movements, 2017.
17. Narcizo, F. B., D. W. Hansen. Depth compensation model for gaze estimation in sport analysis. Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision Workshops, 2015, pp. 71–78
18. Popelka, S., M. Beitlova. Scanpath Comparison using ScanGraph for Education and Learning Purposes: Summary of previous educational studies performed with the use of ScanGraph. Miscellanea Geographica, 2022.
19. Schiessl, M., S. Duda, A. Thölke, R. Fischer. Eye tracking and its application in usability and media research. Proceedings of the Conference on Human Factors in Computing Systems, 2003.
20. Słomska, K. Types of maps used as stimuli in cartographical empirical research. Miscellanea Geographica, 22(3), 157–171, 2018. <https://doi.org/10.2478/mgrsd-2018-0014>
21. Šašinka, Č., Z. Stachoň, J. Čeněk, A. Šašinkova, S. Popelka, P. Ugwitz, D. Lacko. A comparison of the performance on extrinsic and intrinsic cartographic visualizations through correctness, response time and cognitive processing. PloS One, 16(4), e0250164, 2021. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0250164>
22. SMI RED250 - iMotions. Официален продуктова страница за SMI RED250. 17.11.2023, <https://imotions.com>
23. Sultan, M. N., S. Popelka, J. Strobl. ET2Spatial–software for georeferencing of eye movement data. Journal of Eye Movement Research, 2022.
24. Tatler, B. W., D. W. Hansen, J. B. Pelz. Eye movement recordings in natural settings. In C. Klein & U. Ettinger (Eds.), Eye Movement Research, Cham: Springer, 2019.
25. The Eye Tribe Tracker - Eye Tribe. Технически сайт. 05.08.2023, <https://theeyetribe.com>
26. Tobii Pro Spectrum. Продуктов сайт за Tobii Pro Spectrum. 02.10.2023, <https://www.tobii.com/products>
27. Yarbus, A. L. Eye movements and vision. Plenum Press, 1967.
28. Zambarbieri, D., E. Carniglia, C. Robino. Eye Tracking Analysis in Reading Online Newspapers. Journal of Eye Movement Research, 2008.
29. Škrabánková, J., S. Popelka, M. Beitlova. Students' ability to work with graphs in physics studies related to three typical student groups. Physics Education, 2020.

АДРЕС НА АВТОРА

Инж. Николета Николова, докторант. Университет по архитектура, строителство и геодезия, Университет по архитектура, строителство и геодезия
+359 8846 77 081; nnikolova_fgs@uacg.bg

6. СПЪТНИКОВИ СИСТЕМИ И ИЗСЛЕДВАНИЯ (VI)

37. XXXIV МЕЖДУНАРОДЕН СИМПОЗИУМ
СЪВРЕМЕННИТЕ ТЕХНОЛОГИИ, ОБРАЗОВАНИЕТО И ПРОФЕСИОНАЛНАТА ПРАКТИКА В
ГЕОДЕЗИЯТА И СВЪРЗАНИТЕ С НЕЯ ОБЛАСТИ
София, 06 – 08 ноември 2024 г.

XXXIV INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON
MODERN TECHNOLOGIES, EDUCATION AND PROFESSIONAL PRACTICE IN
GEODESY AND RELATED FIELDS
Sofia, 06 – 08 November 2024

ПРИЛОЖЕНИЕ НА SAR ТЕХНОЛОГИЯТА ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА КОСЕИЗМИЧНИТЕ ДЕФОРМАЦИИ ЗА ТЕРИТОРИЯТА НА БАЛКАНСКИЯ ПОЛУОСТРОВ

Проф. д-р инж. Мила Атанасова, проф. д-р инж. Христо Николов

APPLICATION OF SAR TECHNOLOGY TO STUDY COSEISMIC DEFORMATIONS IN THE TERRITORY OF THE BALKAN PENINSULA

Prof. Dr. Eng. Mila Atanasova, Prof. Dr. Eng. Hristo Nikolov

АДРЕСИ НА АВТОРИТЕ

1. Проф. д-р. Христо Николов
Институт за космически изследвания и технологии,
Българска академия на науките
Ул. „Акад. Г. Бончев“, бл.1,
1113 София, България
Тел: +359 2 9792458;
hristo@stil.bas.bg
2. Проф. д-р инж. Мила Атанасова,
Национален институт по геофизика, геодезия и география
Българска академия на науките
Ул. „Акад. Г. Бончев“, бл 3,
1113 София, България
Тел. + 359 2 979 33 54;
mila_at_zl@abv.bg

ДЕМОНСТРАТОР ГАЛИЛЕО ЗА ПРОГНОЗА НА БУРИТЕ В БЪЛГАРИЯ

Доц. д-р инж. Гургана Герова, СУ, проф. д-р инж. Керанка Василева

GALILEO DEMONSTRATOR FOR STORM NOWCASTING IN BULGARIA

Assoc. Prof. Dr Eng. Guergana Guerova, SU, Prof. Dr Eng. Keranka Vassileva

SUMMARY

Extreme weather monitoring and forecasting can benefit largely from the ongoing European Union program Galileo, which aims at strengthening industrial and research capabilities in Europe by development of operational products and services based on innovative use of high-quality satellite information on land, atmosphere and ocean state. This paper presents validation of Galileo real time tropospheric products with respect to the WMO requirements for application in severe weather nowcasting. The results of real time troposphere estimates using the Galileo High Accuracy Service (HAS) were validated for summer 2023. The achieved ZTD bias and standard deviation are well within the WMO requirements for both multi-constellation or standalone Galileo solution. The multi-constellation solution is more accurate, which is attributed to more satellites and better geometry. However, thanks to providing both GPS-only and Galileo-only solutions along with the multi-constellation one, we could observe a positive bias for GPS solution when using real-time precise products from Galileo High Accuracy Service. Additionally, the GPS-only solution doesn't seem to outperform the Galileo-only which is still based on fewer satellites.

РЕЗЮМЕ

Мониторингът и прогнозирането на екстремни метеорологични условия могат да се възползват до голяма степен от текущата програма на Европейския съюз Галилео, която има за цел укрепване на промишлените и изследователски способности в Европа чрез разработване на оперативни продукти и услуги, базирани на новаторско използване на висококачествена сателитна информация за сушата, атмосферата и състоянието на океана. Този документ представя валидиране на тропосферни продукти на Галилео в реално време по отношение на изискванията на СМО за приложение при прогнозиране на времето при тежки метеорологични условия. Резултатите от оценките на тропосферата в реално време с помощта на Galileo High Accuracy Service (HAS) бяха валидирани за лятото на 2023 г. Постигнатото отклонение на ZTD и стандартното отклонение са в рамките на изискванията на WMO както за мулти-съзвездие, така и за самостоятелно решение на Galileo. Решението с множество съзвездия е по-точно, което се дължи на повече сателити и по-добра геометрия. Въпреки това, благодарение на предоставянето както на решения само за GPS, така и само за Galileo, заедно с решението за много съзвездия, бихме могли да наблюдаваме положително отклонение за GPS решението, когато използваме прецизни продукти в реално време от Galileo High Accuracy Service. Освен това, решението само за GPS не изглежда да превъзхожда само Galileo, което все още се основава на по-малко сателити.

АДРЕСИ НА АВТОРИТЕ

1. Assoc. Prof. Dr Guergana Guerova

Sofia University "St. Kliment Ohridski"

Tel. 359 2 8161291

E-mail: guerova@phys.uni-sofia.bg

2. Prof. Dr. Eng. Keranka Vassileva

E-mail: keranka.vassileva@gmail.com

**ASSESSMENT OF INLAND WATER BODY EXTENT USING SENTINEL 2 IMAGERY: AN
EXAMPLE FROM THE BATAK RESERVOIR (WESTERN RHODOPE, BULGARIA)**

**Assoc. Prof. Dr. Emilia Tcherkezova, PhD Student Kalin Markov, Assoc. Prof. Dr.
Marian Varbanov, Assistant Prof. Dr. Stefan Genchev**

**ОЦЕНКА НА ОБХВАТА НА ВЪТРЕШНОКОНТИНЕНТАЛНИ ВОДНИ ОБЕКТИ С
ПОМОЩТА НА СПЪТНИКОВИ ИЗОБРАЖЕНИЯ ОТ SENTINEL 2 НА ПРИМЕРА НА
ЯЗОВИР „БАТАК“ (ЗАПАДНИ РОДОПИ, БЪЛГАРИЯ)**

**Доц. д-р. Емилия Черкезова, Калин Марков, докторант, доц. д-р Мариан
Върбанов,
гл. ас. д-р Стефан Генчев, НИГГГ, БАН**

SUMMARY

Climate change and human activities significantly impact inland surface water bodies. Effective water use and resource management depend on accurate delineation of water body boundaries. The rapid development of geoinformation technologies over the past decades provides an opportunity to apply Geographic Information Systems (GIS) and remote sensing methods and techniques for water body delineation and for analysis their spatial and temporal dynamics.

This study utilizes Sentinel-2 optical satellite images to analyse the surface water area changes of the Batak Reservoir (Western Rhodopes, Bulgaria). The analysis covers two years in two seasons: November (2022) and July (2024). It includes the calculation of several water indices, e.g. Normalized Difference Water Index (NDWI), Sentinel Water Mask (SWM), Water Ratio Index (WRI), threshold methods, and Object-Based Image Analysis (OBIA).

The results were compared with in-situ investigation and open source data from the Bulgarian Ministry of Agriculture and Food. They provide valuable spatial information on changes in the Batak Reservoir area, which cannot be identified only by measuring its water levels. This highlights the usefulness and effectiveness of processing satellite imagery data, which can be applied to enhance the quality of existing data sets available from the East Aegean River Basin Directorate (Plovdiv). Also, the methodological approach used in this study can be applied for long-term monitoring of the spatial and temporal changes in the boundaries of the Batak Reservoir.

Keywords: Sentinel-2, water indices, thresholds method, Object-Based Image Analysis (OBIA), open-surface water body extent, Batak Reservoir, Western Rhodopes, Bulgaria.

РЕЗЮМЕ

Вътрешноконтиненталните повърхностни водни обекти са важни компоненти на хидросферата и водни екосистеми. Следователно установяването на техните граници и промени, вследствие на изменението на климата и антропогенните дейности има много важно

значение. Това се отнася особено за извършване на анализ на качеството на водите, оценка на водопотреблението и управление на водните ресурси. Бързото развитие на геоинформационните технологии през последните десетилетия предоставя възможност за прилагане на географските информационни системи (ГИС), както и методи и техники за дистанционно наблюдение за идентифициране на повърхностни водни обекти. В настоящето изследване са използвани оптични сателитни изображения от Sentinel-2 за анализ на промените в площта на повърхностните води в язовир „Батак“ (Западни Родопи, България). Анализът обхваща две години в два сезона – ноември (2022 г.) и юли (2024 г.). Той включва изчисляване на няколко водни индекса, напр. Индекс на нормализирана разлика на водата (NDWI), Sentinel-2 водна маска (SWM), индекс на водно съотношение (WRI), метод на праговете и обектно-базиран анализ на изображения (OBIA). Резултатите са сравнени с *in situ* изследвания и свободно достъпни данни от Министерството на земеделието и храните (МЗХ). Те предоставят ценна пространствена информация за промените в обхвата на язовир „Батак“, които не могат да бъдат идентифицирани само чрез измерване на водните нива или чрез картографски източници с различен мащаб. Това подчертава полезността на ефективната обработка на данни от сателитни изображения и може да допринесе за подобряване на управлението на водните ресурси, както и на качеството на съществуващите набори от данни, предоставени от Басейнова дирекция „Източнобеломорски район“ (Пловдив).

Ключови думи: Sentinel-2, водни индекси, метод на праговете, обектно-базиран анализ на изображения (OBIA), граници на повърхностни водни обекти, яз. Батак (Западни Родопи, България).

1. INTRODUCTION

Inland surface water bodies are important components of the hydrosphere and water ecosystems. Therefore, their identification and the delineation of the changes in their boundaries due to climate change and anthropogenic activities are important for various scientific purposes and water resource management. This particularly applies to the water quality assessment and analysis of the transformation and management of water resources. The rapid development of geoinformation technologies in recent decades provides an opportunity to utilize geographic information systems (GIS) and remote sensing methods and techniques to identify surface water bodies.

Many methods exist to determine their boundaries, mostly from optical satellite images, e.g. [1], [2], [5], [9], [10], [11], [12], [14], [15], [17], [21], [23]. The main methods for extracting surface water bodies can be grouped as follows: 1) spectral index water-based and image thresholding, e.g. [3], [4], [5], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [23] and 2) supervised and unsupervised classification using a single frequency band or multiple bands, e.g. [7], [9].

In recent years, methods such as K-Means [7] have been used for unsupervised classification of water bodies. Various supervised classification approaches have also been used for this task. Examples of these include machine learning methods such as Random Forests [11], Decision Trees [2], Artificial Neural Network (ANN), Maximum Likelihood (ML) [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23], Support Vector Machines (SVM) [18], [25], and others.

The present study uses Sentinel-2 optical satellite images to analyze surface water area changes in the Batak Reservoir (Western Rhodopes, Bulgaria). The analysis covers two years in two seasons – November (2022) and July (2024). It includes the calculation of three water indices, namely Normalized Difference Water Index (NDWI) [13], Sentinel Water Mask (SWM) [17], and Water Ratio Index (WRI) [10], threshold methods, and object-based image analysis (OBIA) by using the Seeded Region Growing algorithm [3].

The results were compared with *in situ* investigation on September 19, 2024, and freely available data from the Ministry of Agriculture and Food [27]. They provide valuable spatial information about changes in the extent of the Batak Reservoir, which cannot be identified solely through water level measurements or maps of different scales. Additionally, they demonstrate the value of efficiently processing satellite imagery to enhance the quality of datasets provided by the East White Sea Basin Directorate (Plovdiv) and to support effective practices in the conservation, monitoring, and management of water resources.

2. STUDY AREA, DATA AND METHODOLOGY

2.1. Study area

Batak Reservoir is located in the catchment area of the Matnitsa River (the right tributary of the Chepinska River) (Fig. 1).

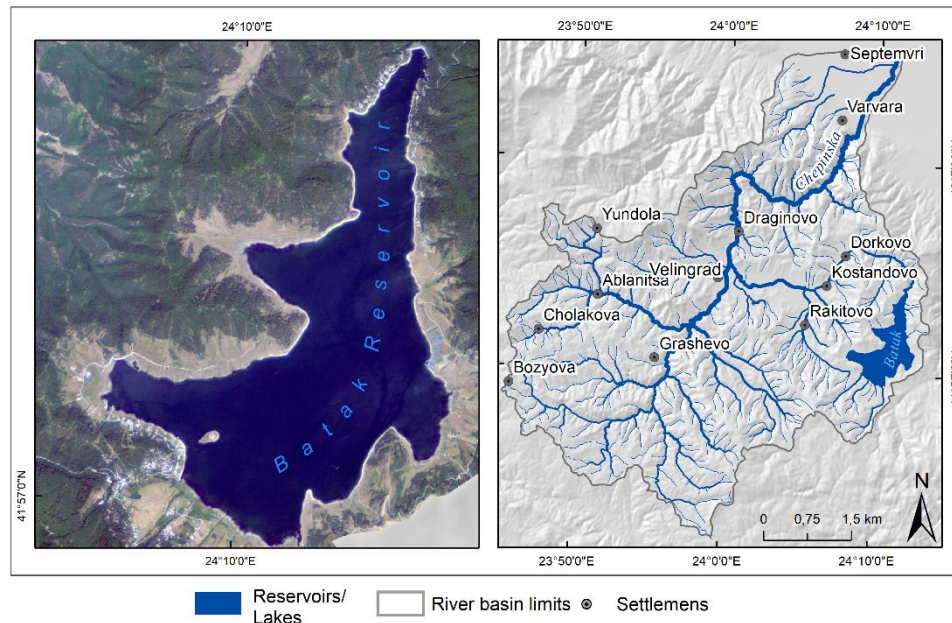


Fig. 1. Study area

It is part of the Batashki Hydroelectric System, known as the "Batak Hydroelectric Cascade," which includes the associated intake structures "Bistritsa," "Ravnogor," "Nova Mahala," "St. Konstantin," "Sokola," and "Peshtera" hydroelectric plants. Its owner is the Natsionalna Elektricheska Kompania EAD (NEK EAD). The reservoir was built in 1959. It is currently used year-round for a complex purpose for tourism and fishing. In its southwestern part is located an island "Golaka" [28]. The climate is temperate continental and is characterized by mild winters, small annual amplitudes of air temperature, two minima (August and September), and two maxima (July and November) of precipitation [24].

2.2. Data and methodology

The following Sentinel 2 Level 1C optical satellite data from the European Union's Earth observation Copernicus program was used in this study: Copernicus Sentinel-2 Collection 1 MSI Level-1C (L1C) from 11/1/2022, cloud cover: 0.0, and from 07/28/2024, cloud cover: 0.0: S2B_MSIL1C_20221101T091029_N0400_R050_T35TKG_20221101T100434.SAFE and S2A_MSIL1C_20240728T090601_N0511_R050_T35TKG_20240728T125237.SAFE.

Free data from the Ministry of Agriculture and Food for the geographical scope of the specialized layers of the Agricultural Parcel Identification System for physical blocks (land parcels) for 2022 and 2023 [27], digital terrain model with grid size 30 m [6], and data from Google Earth Engine were used for validation of the results. The dates of these images are close to the Sentinel 2 images used in this study.

An atmospheric correction of the Sentinel 2 Level 1C product was performed by calculating the Bottom of Atmosphere (BOA) reflectance and using the Sentinel Applications Platform (SNAP, <http://step.esa.int/>). In a next step, all frequency bands with a pixel size of 20 and 60 m were transformed to a spatial resolution of 10x10 m. The following water indices were calculated in the QGIS environment to identify and extract water bodies: Normalized Difference Water Index (NDWI), Sentinel Water Mask (SWM), and Water Ratio Index (WRI). From the results obtained, the water area of the "Batak" Reservoir was extracted by selecting appropriate threshold values from their histograms applying the Threshold to ROI tool of QGIS [29].

Table 1. Calculated spectral water indexes

Water index	Equation (Sentinel-2)	
NDWI	$(B03-B08) / (B03+B08)$	
SWM	$(B02+B03) / (B08 + B11)$	
WRI	$(B03 + B04) / (B08 + B11)$	

Based on a combination of frequency bands B4 (red), B3 (green), and B1 (aerosol) for both images, image segmentation was performed to extract the water area of the Batak Reservoir by using the Seeded Region Growing algorithm [3]. The obtained polygons are grouped into 255 clusters by classification without training – the "K-means clustering" method. For performing supervised classification after the band sets segmentation, 2 classes of test areas (training areas) were used – "surface water body" and "land" and Maximum Distance method were used.

To validate the results, 2858 control points were generated from Google Earth Engine. Many GIS functions were also used to process all the raster and vector data utilized, including intermediate and final results: georeferencing, intersecting, resampling, descriptive statistics, grid calculation, image correlation, visualization, and others.

3. RESULTS

Table 2 shows the Pearson correlation coefficient between NDWI, SWM, and WRI water indices. The WRI and SWM indices show the best correlation, followed by the correlation coefficient of the WRI and NDWI indices for the two satellite images used.

Table 2. Pearson's correlation coefficient between the water indices NDWI, Sentinel Water Mask и WRI

S2 L1C 2022-11-01	NDWI	Sentinel WM	
NDWI	1.000		
Sentinel WM	0,9689	1.000	
WRI	0,9708	0,9995	
S2 L1C 2024-07-28	NDWI	Sentinel WM	
NDWI	1.000		
Sentinel WM	0.9290	1.000	
WRI	0.9643	0.9919	

Applying the determined threshold values from the histograms of the calculated water indices from the two satellite images, the limits of the "Batak" Reservoir were identified (Fig. 2, Table 3).

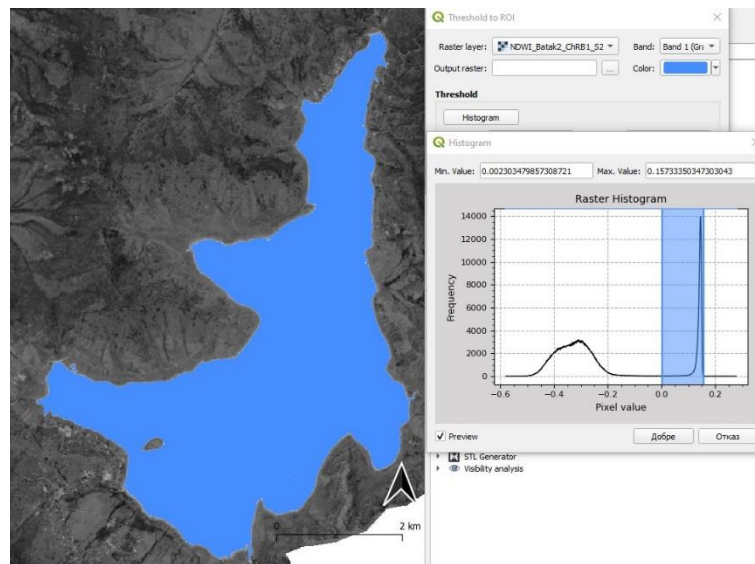


Fig. 2. Delineation of threshold values for the boundaries of the "Batak" Reservoir an example on the NDWI-index, Sentinel 2 L1C 2022-11-01

Table 3. Boundaries of the Batak Reservoir determined by different methods from satellite images Sentinel 2 Level 1C 2022-11-01 and from Sentinel 2 Level 1C 2024-07-28

Sentinel 2 Level 1C 2022-11-01	площ (km ²)	Sentinel 2 Level 1C 2024-07-28	площ (km ²)
NDWI	19.02	NDWI	18.22
Sentinel WM	18.82	Sentinel WM	18.03
WRI	18.75	WRI	17.96
OBIA	19.06	OBIA	18,24
Водно тяло* (по МЗХ)	20.78	Водно тяло* (по МЗХ)	20.78

*data from the Ministry of Agriculture and Food, Bulgaria (2022 and 2023)



Fig. 3. K-means clusters (Sentinel 2 L1C 2024-07-28)

Figure 3 shows the result from the band set B4 (red), B3 (green), and B1 (aerosol) segmentation and the unsupervised K-means clustering. It could be used further not only for delineations of water body limits, but also for analysis of turbidity and phytoplankton.

Table 2 presents the area of the defined reservoir boundaries, determined by the methods used in the present study.

The Kappa coefficient values for NDWI, Sentinel VM, WRI, and object-oriented analysis are 0.9850, 0.9805, 0.9787, and 0.9856, respectively.

The visual interpretation and these statistical data show high accuracy of the results. A small difference in the area was obtained between the boundaries determined by the NDWI, Sentinel Water Mask, WRI and OBIA indices for 1.11.2022 and 28.07.2024, respectively (Fig. 4).

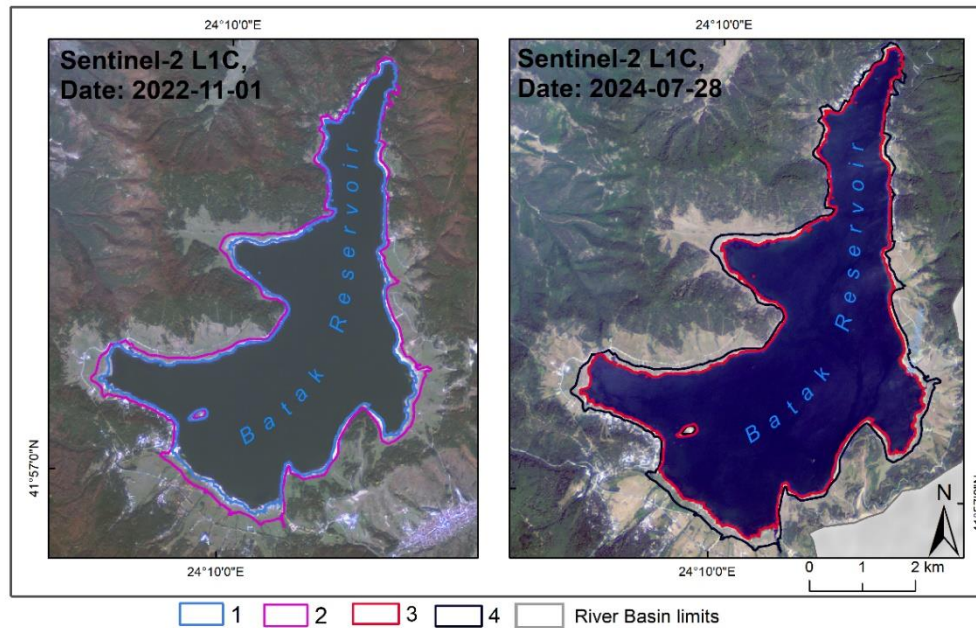


Fig. 4. Batak Reservoir limits delineated by the object-based analysis of Sentinel 2 Level 1C 2022-11-01 and Sentinel 2 Level 1C 2024-07-28 (1 and 3) and by data from the Ministry of Agriculture and Food (2 and 4)

- Field research in September 2024 confirmed the reduced reservoir area due to the extreme drought this year compared to previous years, as well as the use of the dam for drinking and domestic water supply, electricity production, and irrigation, as the "available" and "available useful" volume, respectively 233.375 million m³ and 213.425 million m³ for June 2024, decreased to 221.803 million m³ and 9 201.853 million m³ in July 2024, respectively [30-31]

According to the spatial data by the Ministry of Agriculture and Food, the Batak Reservoir has a larger extent due to the large-scale used, and includes adjacent parcels.

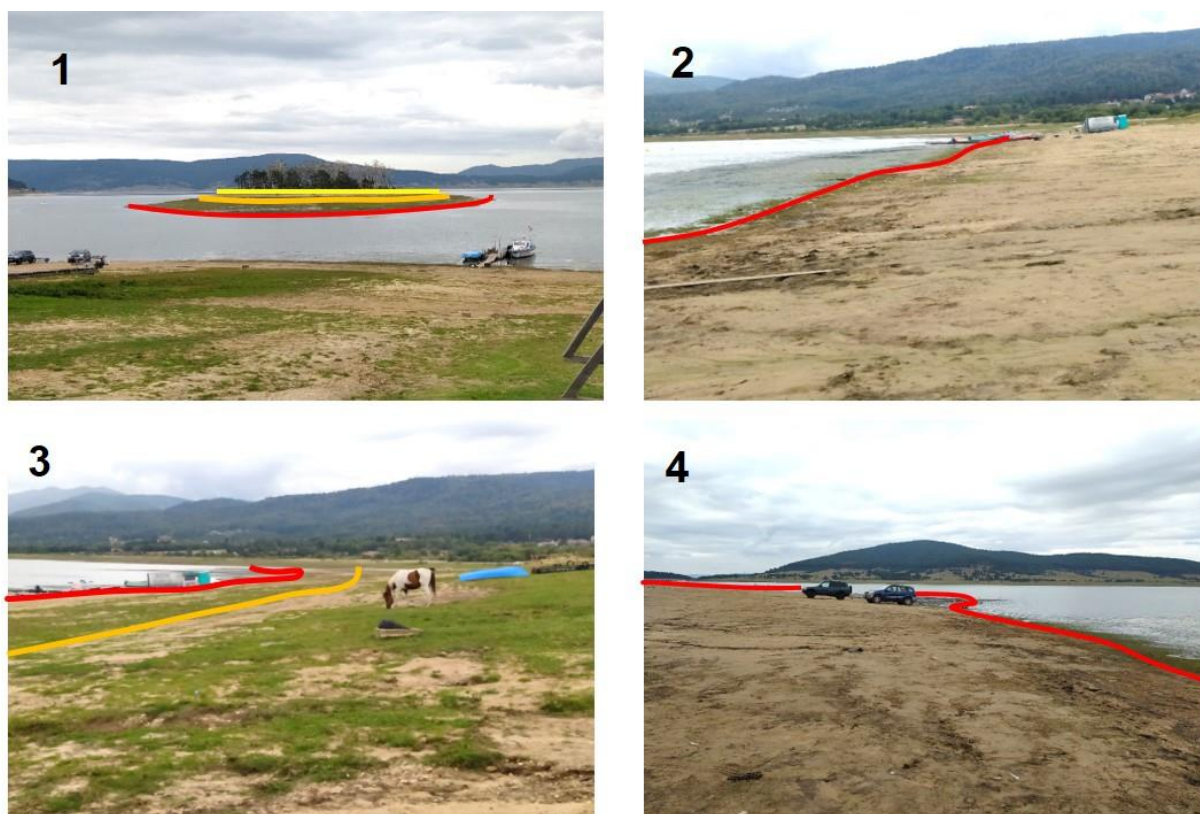


Fig. 5. Batak Reservoir (SW-part: Photo 1. Golaka Island; Photos 2, 3 and 4: Reservoir limits in red color - 19.09.2024); boundary changes – in orange and yellow color

4. CONCLUSIONS

Inland surface water bodies are important components of the hydrosphere and the aquatic ecosystems. Establishing their extent and changes due to climate change and anthropogenic activities is crucial for many scientific and practical purposes, such as water quality analysis, water consumption assessment, and water resource management.

The water index-based, threshold-based, and object-oriented analysis approaches were selected for the study.

The obtained results show a good correlation between these indices (NDWI, SWM, and WRI) and OBIA segments for the selected optical satellite images, with small differences in the extracted area of the Batak Reservoir.

Utilizing satellite imagery to extract the boundaries of surface water bodies can be very useful for long-term monitoring. The quick and accurate determination of their boundaries is an important tool for water resource management.

The results provide valuable spatial information on the changes in the Batak Reservoir area, which cannot be identified by only measuring its water levels. This highlights the usefulness and effectiveness of processing satellite imagery data, which can be applied to enhance the quality of existing data sets available from the East Aegean River Basin Directorate (Plovdiv). Also, the analysis of satellite imagery data can be used for long-term monitoring of the spatial and temporal changes in the boundaries of the Batak Reservoir. It can also be helpful for its water resource management.

5. ACKNOWLEDGMENTS

This research has been carried out in the frame of the project “Models of anthropogenic impact on the natural environment at river basin scale (ModAiNe)”, funded by the National Science Fund, Ministry of Education and Science (Bulgaria), competition for financial support for basic research projects – 2022 (contract no КП-06-H64/6, signed on 15.12.2022).

6. REFERENCES

1. Acharya, T.D., Subedi, A., Lee, D.H. Evaluation of Water Indices for Surface Water Extraction in a Landsat 8 Scene of Nepal. *Sensors*, 2018, 18, 2580.
2. Acharya, T.D., Lee, D.H., Yang, I.T., Lee, J.K. Identification of Water Bodies in a Landsat 8 OLI Image Using a J48 Decision Tree. *Sensors*. 2016, 16, 1075. <https://doi.org/10.3390/s16071075>.
3. Adams, R., Bischof, L. Seeded Region Growing. *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*. 1994, Vol. 16, No. 6. 641-647.
4. Chen, F., Chen, X., Van de Voorde, T., Roberts, D., Jiang, H., Xu, W. Open water detection in urban environments using high spatial resolution remote sensing imagery. *Remote Sens. Environ.* 2020, Vol. 242, 111706, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111706>.
5. Feyisa, G.L., Meilby, H., Fensholt, R., Proud, S.R. Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery. *Remote Sens. Environ.* 2014, 140, 23–35.
6. Hengl, T., Leal Parente, L., Krizan, J., Carmelo, B. Continental Europe Digital Terrain Model at 30 m resolution based on GEDI, ICESat-2, AW3D, GLO-30, EUDM, MERIT DEM and background layers (v0.3) [Data set]. 2020, Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4724549>.
7. Hu, F., Xia, G. -S., Wang, Z., Huang, X., Zhang, L., Sun, H. Unsupervised Feature Learning via Spectral Clustering of Multidimensional Patches for Remotely Sensed Scene Classification," *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*. 2015, vol. 8, no. 5, pp. 2015-2030, doi: 10.1109/JSTARS.2015.2444405.
8. Ji, L., Geng, X., Sun, K., Zhao, Y., Gong, P. Target Detection Method for Water Mapping Using Landsat 8 OLI/TIRS Imagery. *Water*. 2015, 7, 794–817.
9. Kaplan, G., Avdan, U. Object-based water body extraction model using Sentinel-2 satellite imagery. *European Journal of Remote Sensing*. 2017, 50(1), 137–143. <https://doi.org/10.1080/22797254.2017.1297540>.
10. Khalid, H.W., Khalil, R.M.Z., Qureshi, M.A. Evaluating spectral indices for water bodies extraction in western Tibetan Plateau. *Egypt. J. Remote Sens. Space Sci.* 2021, 24, pp. 619–634.
11. Ko, B.C., Kim, H.H., Nam, J.Y. Classification of Potential Water Bodies Using Landsat 8 OLI and a Combination of Two Boosted Random Forest Classifiers. *Sensors*. 2015, 15, 13763-13777. <https://doi.org/10.3390/s150613763>.
12. Li, W.; Du, Z.; Ling, F.; Zhou, D.; Wang, H.; Gui, Y.; Sun, B.; Zhang, X. A Comparison of Land Surface Water Mapping Using the Normalized Difference Water Index from TM, ETM+ and ALI. *Remote Sens.* 2013, 5, 5530-5549. <https://doi.org/10.3390/rs5115530>.
13. McFeeters, S.K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the Delineation of Open Water Features. *International Journal of Remote Sensing*, 1996, 17, 1425–1432.
14. Niu, L., Kaufmann, H., Xu, G., Zhang, G., Ji, C., He, Y., Sun, M. Triangle Water Index (TWI): An Advanced Approach for More Accurate Detection and Delineation of Water Surfaces in Sentinel-2 Data. *Remote Sens.* 2022, 14, 5289. <https://doi.org/10.3390/rs14215289>.
15. Pena-Regueiro, J.; Sebastián-Frasquet, M.-T.; Estornell, J.; Aguilar-Maldonado, J.A. Sentinel-2 Application to the Surface Characterization of Small Water Bodies in Wetlands. *Water*. 2020, 12, 1487. <https://doi.org/10.3390/w12051487>.
16. Reis, L.G.d.M.; Souza, W.d.O.; Ribeiro Neto, A.; Fragoso, C.R., Jr.; Ruiz-Armenteros, A.M.; Cabral, J.J.d.S.P.; Montenegro, S.M.G.L. Uncertainties Involved in the Use of Thresholds for the Detection of Water Bodies in Multitemporal Analysis from Landsat-8 and Sentinel-2 Images. *Sensors* 2021, 21, 7494. <https://doi.org/10.3390/s21227494>.
17. Robak, A., A. Gadawska, A., Milczarek, M., Lewiński, S. The detection of water on Sentinel-2 imagery based on water indices, *Teledetekcja Środowiska*. 2016, Tom 55 (2016/2), pp. 59-72. (на полски, резюме на английски).
18. Rokni, K., Ahmad, A., Solaimani, K., Hazini, S. A new approach for surface water change detection: Integration of pixel level image fusion and image classification techniques. *Internat. J. Appl. Earth Observ. Geoinform.* 2015, 34, 226–234.
19. Shen, L., C. Li, C. Water body extraction from Landsat ETM+ imagery using adaboost algorithm. 18th International Conference on Geoinformatics. IEEE. 2010, 1–4.
20. Sheng, Y., Shah, C.A., Smith, L.C. Automated Image Registration for Hydrologic Change Detection in the Lake-Rich Arctic. *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.* 2008, 5, 414–418.

21. Sherjah, P.Y., Sajikumar, N. Delineation of water body from Sentinel 2 MSI imagery – A comparative study. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2021, doi:10.1088/1757-899X/1114/1/012029.
22. Skakun, S. A neural network approach to flood mapping using satellite imagery. Comput. Inform. 2010, 29, pp. 1013–1024.
23. Sun, F., Zhao, Y., Gong, P., Ma, R., Dai, Y. Monitoring dynamic changes of global land cover types: fluctuations of major lakes in China every 8 days during 2000–2010. Chin. Sci. Bull. 2014, 59, 171–189.
24. Velev, S. Climatic zoning. Geography of Bulgaria. Physical geography and Socio-economic geography (Editors: I. Kopraleov, M. Yordanova, Ch. Mladenov), Publishing House ForCom, Sofia, 2002, 155-166. (In Bulgarian).
25. Yang, J, Du, X. An enhanced water index in extracting water bodies from Landsat TM imagery. Ann. Gis. 2017, 23 (3), 141–148.
26. Xu, H. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. International Journal of Remote Sensing. 2006. 27(14), 3025–3033. <https://doi.org/10.1080/01431160600589179>.
27. Identification of agricultural parcels, Ministry of Agriculture and Foods, 16.02.2024
<https://cadis.bg/2024/03/29/%d1%81%d0%bb%d0%be%d0%b5%d0%b2%d0%b5-%d1%84%d0%b8%d0%b7%d0%b8%d1%87%d0%b5%d1%81%d0%ba%d0%b8-%d0%b1%d0%bb%d0%be%d0%ba%d0%be%d0%b2%d0%b5-%d0%b8-%d0%bf%d0%b7%d0%bf-%d0%ba%d0%be%d1%81%d0%b5%d0%bd%d0%b5/>.
28. NEK EAD, 16.10.2024 r., <https://nek.bg/dams/index.php/bg/za-nas/2020-12-08-07-51-58>
29. Threshold to ROI - QGIS Plugin, 15.08.2024 r.,
https://github.com/silver9704/Threshold_to_ROI/blob/main/README.md.
30. Schedule for the use of the waters of the complex and significant dams in June 2024, 15.08.2024,
https://www.moew.government.bg/static/media/ups/tiny/filebase/Water/Povarhnostnivodi/Mese_chen_grafik/2024/graf_06_2024.pdf.
31. Schedule for the use of the waters of the complex and significant dams in June 2024 17.09.2024,
https://www.moew.government.bg/static/media/ups/tiny/filebase/Water/Povarhnostnivodi/Mese_chen_grafik/2024/graf_07_2024.pdf.

ADDRESS OF THE AUTHORS

1. Assoc. Prof. Dr. Emilia Tcherkezova
National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography
Bulgarian Academy of Sciences, Acad. G. Bonchev Str., Bl. 3, Sofia 1113, Bulgaria
e-mail: eti2015@abv.bg
2. PhD Student Kalin Markov
National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography
Bulgarian Academy of Sciences, Acad. G. Bonchev Str., Bl. 3, Sofia 1113, Bulgaria
e-mail: kalin.markov@gmail.com
3. Assoc. Prof. Dr. Marian Varbanov
National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography
Bulgarian Academy of Sciences, Acad. G. Bonchev Str., Bl. 3, Sofia 1113, Bulgaria
e-mail: marian.varbanov@gmail.com
4. Assistant Prof. Dr. Stefan Genchev
National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography
Bulgarian Academy of Sciences, Acad. G. Bonchev Str., Bl. 3, Sofia 1113, Bulgaria
e-mail: st.genchev85@abv.bg.

**РЕГИСТРИРАНЕ ДВИЖЕНИЕТО НА ЛЕДНИК ПЕРУНИКА ЧРЕЗ РАДАРНИ
ДИСТАНЦИОННИ МЕТОДИ**

Инж. Мартин Берданков, гл. ас. д-р инж. Наталия Александрова, МГУ

**REGISTERING THE MOVEMENT OF THE PERUNIKA GLACIER THROUGH RADAR
REMOTE SENSING METHODS**

Eng. Martin Berdankov, Senior Asst. Dr. Eng. Natalia Alexandrova, MGU

SUMMARY

Satellites equipped with Synthetic Aperture Radar (SAR) provide a reliable method for mapping and monitoring snow and ice systems on a global scale. The report explores the potential application of satellite radar technologies for studying glacier movements, specifically focusing on monitoring the Perunika Glacier during two seasons of the year. The glacier is located on Livingston Island, part of the South Shetland Islands archipelago in Western Antarctica, between Greenwich and Snow Islands, where the Bulgarian research station "St. Kliment Ohridski" has been maintained since 1994. To achieve the set goal, the technology of Offset Tracking. Radar images from the European Space Agency's (ESA) Sentinel-1 satellite were used. Two pairs of images covering the area of interest - the Perunika Glacier - were utilized to achieve the specified objective.

Keywords: Radar, Remote sensing, Glacier, Livingston Island, SAR.

РЕЗЮМЕ

Спътниците, оборудвани с радар със синтезирана апертура (РСА), осигуряват надеждни методи за картографиране и мониторинг на снежните и ледени системи в глобален мащаб. В доклада се разглеждат възможностите за прилагане на спътниковите радарни технологии за изучаване на движенията на ледниците, като по-специално внимание е отделено на ледника Перуника за мониторинг през два годишни сезона. Ледникът се намира на остров Ливингстън и е част от архипелага Южни Шетландски острови, западна Антарктика, разположен между островите Гринуич и Сноу, като от 1994 г. на него се поддържа българската научно-изследователска база „Свети Климент Охридски“. За осъществяване на поставената цел е приложена технологията на офсетно проследяване – Offset Tracking. Използвани са радарни изображения, получени от спътника Sentinel-1 на Европейската космическа агенция (ESA). За постигане на определената по този начин цел бяха използвани две двойки изображения, обхващащи една област на интерес – ледник Перуника.

Ключови думи: радар, дистанционни методи, ледник, остров Ливингстън, РСА.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Топенето на ледниците и ледените шапки в световен мащаб е безпрецедентно и това е потвърдено с достатъчно доказателства и с висока степен на достоверност [18]. Промяната на климатичните модели, покачването на морското ниво, изчерпването на ресурсите на сладководните води поставят в опасност жизнените форми на Земята. Тези фактори подсказват,

че има необходимост от обективна оценка на криосферата. Криосферата обхваща всички замръзнали области на планетата, където водата е под формата на лед или сняг. Спътниците, оборудвани с радар със синтезирана апертура, представляват съществен напредък в изследването на криосферата [9], [15]. Модерните технологии в тази област осигуряват надеждни методи за картографиране и мониторинг на снежните и ледени системи в глобален мащаб. Сред множеството им приложения са прецизното топографско моделиране, както и извършване на оценка и анализ на деформации на земната повърхност [7]. Големият брой проучвания, които са извършени с помощта на тези подходи, повишават значително общото разбиране за поведението и реакцията на ледниците. Свободният достъп и наличие на продукти от различни мисии на радари със синтезирана апертура, като напр. ERS-1/2, ALOS-1/2, RADARSAT-1/2, TanDEM-X, ENVISAT, RISAT и др., оказват значително влияние върху развитието на този вид проучвания. Предоставените данни от Европейската космическа агенция осигуряват големи възможности за редовно наблюдение на ледници и навременна оценка на ледниковите изменения.

През 2014 г. група учени от САЩ, Германия, Швейцария и Испания публикуват изследване и карта на движението на ледниците на остров Ливингстън. Наблюденията са проведени в периода между 2007 и 2011 г., като са използвани данни от мисиите PALSAR-1, TerraSAR-X и TanDEM-X. Проучването е установило, че ледникът Хурон се движи със скорост до 250 m годишно, а хоризонталното преместване на ледник Перуника е около 40 m годишно [14].

Кarti на движението на няколко ледника, разположени на остров Ливингстън, включително и ледник Перуника, са направени през 2022 г. от учени от Института по геофизика, геодезия и география на Българска академия по науките. Получените резултати, отчетени от представените карти, показват движение на ледник Перуника между 20 и 50 cm на ден в периода на наблюдение. Изследванията са извършени за периода 04.11.2021 – 10.12.2021 г. [5]. Друго изследване за проследяване на промени на скоростта на леда на ледниците на остров Ливингстън е извършено за периода от декември 2021 г. до края на март 2022 г. и декември 2022 г. до края на март 2023 г. Създадена е времева поредица от SAR изображение от два типа орбити, като данните са представени таблично с минимална и максимална скорост регистрирана за период от 12 дни и са създадени карти на скоростта на ледниците [1].

2. ОБЕКТ НА ИЗСЛЕДВАНЕ

2.1. Описание на изследвания обект – ледник Перуника

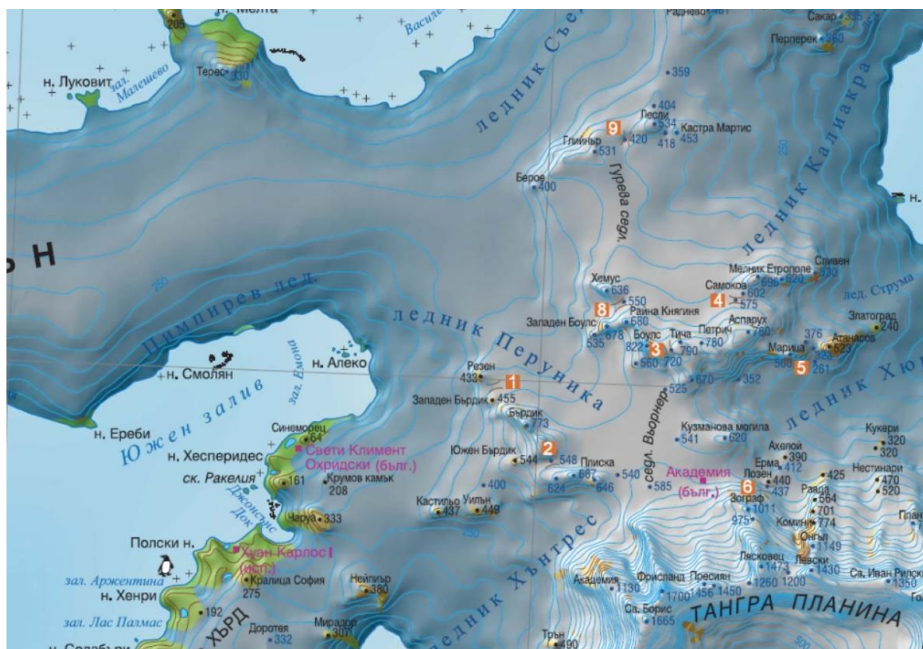
Архипелагът Южни Шетланди, представен на фиг. 1, е разположен в Южния океан от 60° 59' до 63° 22' ю.ш. и от 53° 58' до 62° 49' з.д., между Антарктическият полуостров и Южна Америка, от които го отделят съответно протоците Брансфийлд и Дрейк. Островите са отдалечени на около 450 km на югоизток от точката в проток Дрейк, където се срещат водите на Южния, Тихия и Атлантическия океан. Границата между последните два минава по меридиана на н. Хорн, като по-рано, преди Международната хидрографска организация да признае съществуването на отделен Южен океан, е достигала на юг до Антарктида, като южношетландските води съответно са били смятани за атлантически. Остров Ливингстън, представен на фиг. 1, е част от архипелага Южни Шетланди, на английски – Livingston Island, е разположен на



Фиг. 1. Обзорна карта на о-в Ливингстън с местоположението на ледник Перуника [8]

62°36' ю.ш. и 60°30' з.д. (приблизителна средна точка за острова). Отдалечен е 110 km северозападно от нос Рокморел на Антарктическия полуостров, 809 km на юг-югоизток от нос Хорн, 796 km югоизточно от острови Диего Рамирес, 1063 km точно на юг от Фолкландските острови (о. Бошен), 1571 km югозападно от Южна Джорджия (острови Уилис) и 3040 km от Южния полюс [3].

Ледник Перуника (62°36'45" ю.ш., 60°15'48" з.д.), представен на фиг. 2, е с дължина 8 km и средна ширина 3 km, намира се в източната част на о. Ливингстън. Оттича се на северозапад между хребетите Бърдик и Боулс, северно от вр. Резен завива на запад-югозапад и се влива в зал. Емона, между Българско крайбрежие и Пимпирев бряг.



Фиг. 2. Местоположение на ледник Перуника и на българската база „Свети Климент Охридски“ [2]

Силно напуканата повърхност в долната част на ледника получава приток от ледник Балкан и от района на Гурева седловина. Обект е на испански и български глациоложки проучвания. Ледника води името си селището Перуника в Южна България, одобрено на 23 февруари 1995 г. [3].

3. МЕТОДОЛОГИЯ

3.1. Приложение на данни от радар с синтезирана апертюра

Изображенията от радар с синтезирана апертюра са успешно използвани за изучаване на лед и ледници, особено чрез диференциална SAR интерферометрия (DINSAR), което позволява генериране на карти на преместванията с теоретична точност под сантиметър. Въпреки това, приложението на тази техника е ограничено от фазов шум, който се причинява основно от времева декорелация. Общ параметър за определяне на шума е пространствената кохерентност. На ледниковите повърхности кохерентността обикновено се влияе от времето и характеристиките на потока, което я прави силно зависима от интервала от време между придобиванията, използвани за генериране на интерферограми. Една възможна причина за времева декорелация е движението на ледника, което води до внезапни и бързи промени между съседните пиксели [13].

Поради тази причина методите за офсетно проследяване (Offset Tracking), с данни от радар с синтезирана апертюра, са алтернатива на DInSAR и се прилагат в области, където скоростите на движение са значителни и има големи хоризонтални премествания [11].

При този метод се разчита само на амплитудата на сигнала, като се избягва необходимостта от фазово разгъване – една от най-критичните стъпки при прилагането на техниките InSAR/DINSAR. Прецизността на резултатите в този случай е пряко свързана с грешките при съвместна регистрация, които зависят от използвания алгоритъм и обикновено се изменят от 1/20 до 1/30 от размера на пиксела. Допълнително предимство на Offset Tracking е способността му да оценява изместванията в посоката на движение на радара (по азимут), което е ключово ограничение на DInSAR [13].

Освен за определяне на скоростите на движение на ледниците [17], [16] техниката е приложима и за измерване на преместванията в минни райони [19], както и в зони на свлачища или пясъчни дюни [12].

3.2. Достъп до данни и обработка

Използваните данни са свободно достъпни и са налични на сайта на ESA на адрес: <https://dataspace.copernicus.eu/> (фиг.3) [20] .



Фиг. 3. Платформата “Copernicus” за достъп до спътникови радарни изображения

Продуктите, насочени към ниво 1 са общодостъпни продукти, предназначени за повечето потребители на данни, това са: Single Look Complex (SLC) или Ground Range Detected (GRD). Всеки режим на придобиване на данни потенциално генерира SLC и GRD продукти от ниво 1. Разделителната способност на GRD продуктите е в зависимост от режима на работа на апаратурата и от нивото на търсените данни.

Продуктите от ниво 1 - открит обхват (GRD), се състоят от фокусирани данни за SAR, които са проектирани до земната повърхност, като се използва елипсоиден модел на Земята, като WGS84. Елипсоидната проекция на GRD продуктите се коригира, като се използва височинен модел на терена (DEM) – ACE30, предоставен и за територията, на която се намира ледник Перуника [10].

Обработката се извършва от минимум два продукта GRD Sentinel-1 IW в среда на софтуерния продукт SNAP [21]. За целта са използвани данни в периода 24.07-05.08.2019 г. и 08.01-20.01.2020 г., с обхват над ледника Перуника.

За да се генерира карта на скоростта на хоризонталните премествания на ледника, с помощта на инструмента за проследяване – Offset tracking, входните продукти е необходимо да са минимум два, с покритие върху една и съща зона, придобити за различен времеви период. За целта са използвани следните GDR продукти, регистрирани през 12 дни:

S1A_IW_GRDH_1SSH_20190724T081741_20190724T081806_028256_033122_2C13
S1A_IW_GRDH_1SSH_20190805T081741_20190805T081806_028431_03367C_2F03
S1A_IW_GRDH_1SSH_20200108T081742_20200108T081807_030706_03851C_63B5
S1A_IW_GRDH_1SSH_20200120T081742_20200120T081807_030881_038B41_9A9B

Последователността на прилагания метод на работа предоставя възможност за оценка на настъпилите хоризонтални премествания за определен времеви диапазон.

За обработка на отместването двете изображения е необходимо да бъдат регистрирани в стек (пакетирани вертикално). Изображението, което е придобито от по-ранен период, се избира за главно, а другото изображение е подчинено. Пикселите в подчинено изображение се преизчисляват, за да се приведат в съответствие с главното изображение, с помощта на орбитални данни и референтен височинен модел на терена.

Корегистрацията гарантира, че всеки наземен обект от неподвижната сцена допринася за един и същ пиксел (по обхват и азимут) както в главното, така и в подчиненото изображение.

За прилагане на "offset tracking" се използва DEM Assisted Coregistration, като се създават продуктите строго въз основа на геометрията, DEM, орбитални данни и време. Това избягва възможно изкривяване на изображението поради движението.

Преди корегистрация на изображението, орбитални вектори в оригиналния продукт на GRD трябва да бъдат актуализирани с по-точните, предоставени в наличния орбитален файл.

Услугата за точно определяне на орбитата за SENTINEL-1 предоставя файлове за възстановени орбити и орбитални файлове с точни орбитални ефемериди. Тези файлове обхващат приблизително 28 часа и съдържат вектори на състоянието на орбитата на фиксирани стъпки от интервали от 10 секунди. Файловете се генерират по един файл на ден и се доставят в рамките на 20 дни след получаване на данните [10].

Операторът за проследяване на преместването извършва оценка на движението на повърхностите на ледника между главни и подчинени изображения в посока наклона и по азимут. Извършва се кръстосана корелация на избрана контролна точка на земната повърхност (GCP) в главни и подчинени изображения. След което скоростите на ледника върху избраните GCP се изчисляват въз основа на компенсациите, изчислени от кръстосаната корелация и се генерира картата на скоростта на движение на ледника чрез интерполация на изчислените скорости на GCP мрежата.

Проследяването на отместването се извършва в следната последователност:

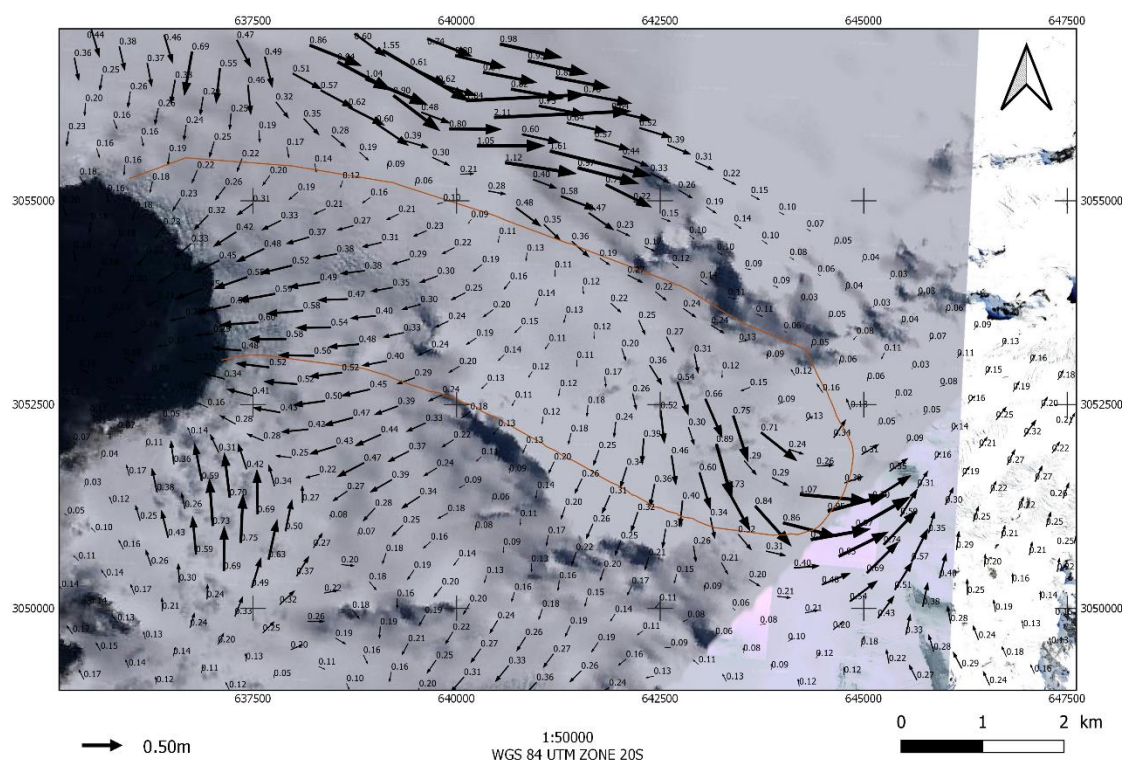
- За всяка точка от зададената от потребителя GCP мрежа в главното изображение се изчислява съответното ѝ положение в подчинено изображение, използвайки нормализирана кръстосана корелация;
- Ако изчисленото изместване между главните и подчинените GCP позиции надвишава максималното изместване (изчислено от максималната скорост, определена от потребителя), тогава GCP точката се маркира като по-външна;
- Изчислява се средна стойност за компенсиране на валидни GCP точки;
- Запълват се празните участъци, причинени от външни елементи. Отместването в точката на празни участъци се заменя с ново отместване, изчислено от средно претеглена средна стойност;
- Изчисляват се скоростите за всички точки на GCP мрежата от техните компенсации;
- Изчисляват се скоростите за всички пиксели в главното изображение от скоростите в GCP мрежата чрез интерполация [10].

4. РЕЗУЛТАТИ И АНАЛИЗ НА ПОЛУЧЕНИТЕ ДАННИ

Резултатите от извършеното изследване се визуализират под формата на две карти създадени в среда на QGIS, представящи посоката и вектори на преместването на ледника.

4.1. Първо регистриране движението на ледник Перуника

Получените данни, след обработката в SNAP, са допълнително обработени и визуализирани в среда на QGIS и показват нагледно движението на ледника за периода 24.07.2019 г. – 05.08.2019 г., което за района на ледника е зимния сезон. Фигура 5 представя посоката и големината на преместване чрез векторите, като дължината на векторите отразява размера на хоризонталното преместването, а ъгълът им – посоката на съответното преместване, също с червен контур е показана приблизително границата на ледника.



Фиг. 4. Посока на движение на ледник Перуника в периода 24.07. – 05.08.2019 г.

Преместванията се изменят от 10 cm до 60 cm за 12 дневен период на проследяване, което съответства на премествания за един ден между 1 cm и 5 cm.

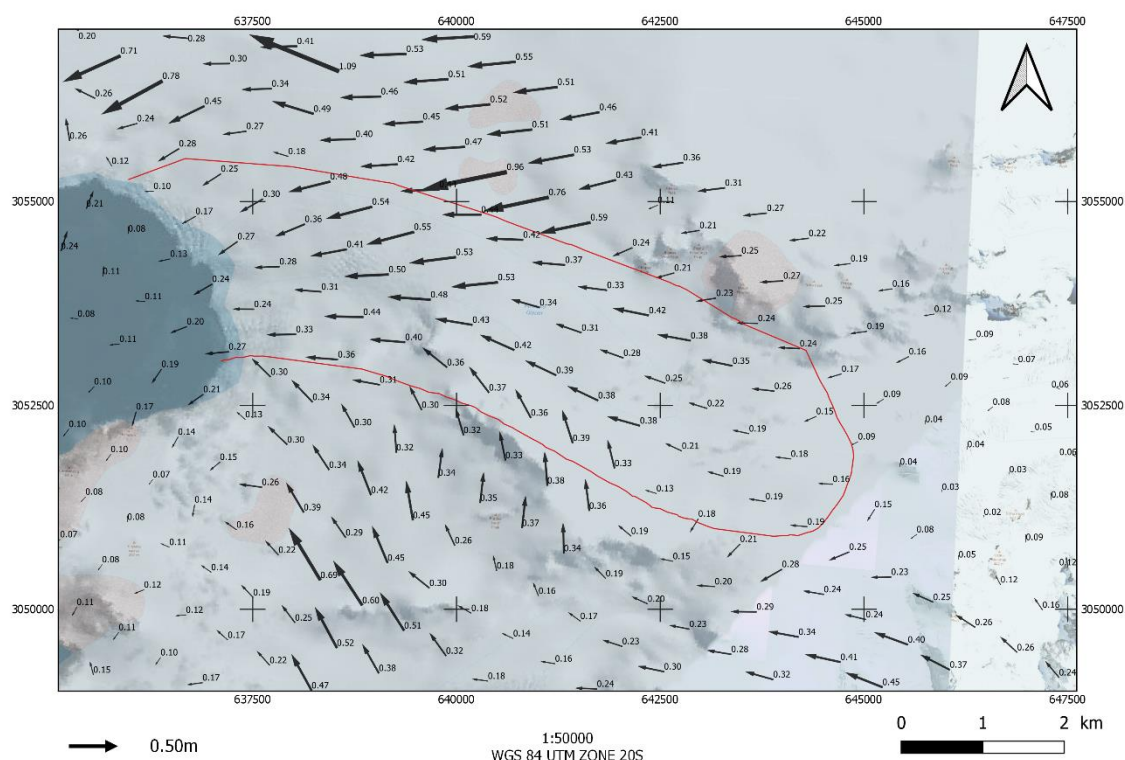
Представената визуализация на фиг. 4 показва, че най-големите премествания са около брега на ледника и са с посока към океана.

4.2. Второ регистриране движението на ледник Перуника

Получените данни от второто изследване от 08.01. – 20.01.2020 г., се отнасят за летния период и показват още по-значителни премествания спрямо първото проследяване. Отчетените премествания са приблизително от 20 cm до 50 cm за целия период на проследяване от 12 дни, което означава, че за един ден преместванията са между 2 cm и 4 cm. За разлика от първото изследване, тук, преместванията са по цялата дължина на ледника, като посоката към океана се запазва.

На фиг. 5 е представено големината на хоризонталните премествания и тяхната посока в определени контролни точки, а с червен контур е показана приблизителната граница на ледника.

Извършена е статистическа обработка на преместванията. За зимния период математическото очакване на преместването е 0.333, а дисперсията: $\sigma=0.15$. За летния период математическото очакване на преместването е 0.368, а дисперсията: $\sigma=0.088$.



Фиг. 5.

Посока на движение на ледник Перуника в периода 08.01. – 20.01.2020 г.

Регистрираните данни за движението на ледник Перуника, както и направените изводи са подобни и на получените измервания на място, извършени от А. Камбуров по време на 21-та българска полярна експедиция на о-в Ливингстън. Основната цел на изследователския проект е била „Изследване на влиянието на 24-ия Слънчев максимум върху измервания с глобални навигационни спътникови системи (ГНСС) в полярни условия, което включва и мониторинг на краткосрочното преместване на ледник Перуника. Чрез статични ГНСС измервания в началото и края на кампанията (23.12.2012 г. – 08.01.2013 г.) се стига до заключението, че ледник Перуника се е преместил с 12 cm за 10 дни [4].

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Използвани са данни от радар със синтезирана апертура за създаване на карти, представящи вектори на преместването на ледник Перуника, за определяне на измененията в два годишни сезона. Използваните свободно достъпни данни и методи са подходящи за приложения на дистанционните методи за изследване на трудно достъпни райони по цялата Земя. Получените карти на преместването представят конкретно разликата между зимния период на наблюдение движението на ледника и летния период. През зимния период, когато температурите са ниски, движението е концентрирано около брега на ледника в посока океана, докато през летния сезон, когато температурите се покачват, движението на ледника е по цялата му дължина с посока към океана, което води до загуба на ледникова маса. Получените резултати са сравнени с предишни изследвания в същия район, използващи както различни, така и сходни методи.

Резултатите от направения анализ на получените данни от измерванията, показват тенденцията на движение на ледника без да има пряка връзка със сезона.

Приложената методика позволява определяне на стойностите на преместванията, тяхното направление и пространствено разпределение върху ледника. Това може да се

представи в табличен и графичен вид, както и под формата на карти на преместванията на ледника. В резултат на извършения анализ се обосновава препоръката за изследване на пространственото разпределение по площта на ледника.

Използването на изцяло свободно достъпни софтуерни продукти като: SNAP и QGIS допринася за бърза и акуратна обработка и визуализация на получените данни, което от своя страна улеснява представянето и съответно разбирането на този вид данни от по-широк кръг потребители.

За бъдещи изследвания е възможно да се разшири времевият диапазон на изследването и да се наблюдават пряко настъпващите промени, включително чрез представяне на средната годишна температура.

6. ЛИТЕРАТУРА

1. Атанасова, М. Мониторинг на скоростта на леда на ледниците на остров Ливингстън чрез времеви серии от SAR данни. XI National Geophysical Conference, 9th June 2023., XI, НИГГГ-БАН CD, 2023, DOI:<https://doi.org/10.48368/BGS-2023.1.N14>
2. Иванов, Л. Антарктика: Остров Ливингстън и острови Гринуич, Робърт, Сноу и Смит. Топографска карта в мащаб 1:120000. Троян, 2009. ISBN 978-954-92032-4-0
3. Иванов, Л., Н. Иванова. Антарктика, 2014, ISBN 978-619-90008-1-6
4. Камбуров, А. Геодезически изследвания в Антарктика., Минно дело и геология, 2013, № 4, 55-60. ISSN 0861-5713.
5. Atanasova-Zlateva, M., Nikolov, H.- Creation of glaciers velocity maps in Livingston island using Sentinel-1 data, 2022
6. Cai, J., Wang C., Mao X., Wang, Q. An adaptive offset tracking method with SAR images for landslide displacement monitoring, 2017, Remote Sensing 9(8): 830.
7. Campbell, J., Wynne, R., Introduction to Remote Sensing. Fifth Edition, 2011
8. Ivanov, L. Overview Map of Livingston Island, Antarctica; Affiliation: Antarctic Place-names Commission of Bulgaria, 2012
https://www.researchgate.net/publication/320182672_Overview_Map_of_Livingston_Island_Antarctica/fullTextFileContent
9. Kulkarni, A. V., Rathore, B. P., Singh, S. K., & Bahuguna, I. M. Understanding changes in the Himalayan cryosphere using remote sensing techniques. International Journal of Remote Sensing, 2011, 32(3), 601–615. <http://doi.org/10.1080/01431161.2010.517802>
10. Lu, J., L. Veci. Sentinel-1 Toolbox Offset tracking tutorial, 2016
<https://step.esa.int/docs/tutorials/S1TBX%20Offset%20Tracking%20Tutorial.pdf>
11. Mahagaonkar, A. Glacier Surface Velocity Estimation & Facies Classification using InSAR and Multi-Temporal SAR Techniques in Indian Himalaya, 2019
12. Mahmoud, A.M.A., Novellino A., Hussain E., Marsh S., Psi moulis P., Smith M. The use of SAR offset tracking for detecting sand dune movement in Sudan, 2020, Remote Sensing 12(20): 3410.
13. N. Riveros, L. Euillades, P. Euillades, S. Moreiras, S. Balbarani, Offset tracking procedure applied to high resolution SAR data on Viedma Glacier, Patagonian Andes, Argentina, Advances in Geosciences 35, 2013, 7–13.
14. Osmanoglu B., , Navarro F. J., Hock R., Braun M., Corciera M. I.- Surface velocity and mass balance of Livingston Island ice cap, Antarctica, 2014
15. Spasova, T., Avetisyan D.; A synchronized remote sensing monitoring approach in the Livingstone island region of Antarctica RSCy 2023, Ayia Napa, Cyprus, april, 2022
16. Strozzi, T., Paul F., Wiesmann A., Schellenberger T., Kääb A. Circum-arctic changes in the flow of glaciers and ice caps from satellite SAR data between the 1990s and 2017, 2017, Remote Sensing 9(9): 947.
17. Yan, S., Guo H., Liu G., Fu W. Monitoring Muztagh Kuksai glacier surface velocity with L-band SAR data in southwestern Xinjiang, China, 2013, Environmental Earth Sciences 70(7): 3175–3184.
18. Zemp, M., H. Frey. Historically unprecedented global glacier decline in the early 21st century, Journal of Glaciology, Vol. 61, No. 228, 2015 doi: 10.3189/2015JoG15J017

19. Zhao, G., Wang L., Deng k., Wang M., Xu y., Zheng M., Luo Q. An adaptive offset-tracking method based on deformation gradients and image noises for mining deformation monitoring, 2021, Remote Sensing 13(15): 2958.
20. <https://dataspace.copernicus.eu/>, 30.09.2024
21. <https://step.esa.int/main/toolboxes/snap>, 30.09.2024

АДРЕС НА АВТОРИТЕ

1. Инж. Мартин Берданков
Е-mail: m.berdankov@gmail.com
Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“
гр. София, ул. „проф. Боян Каменов“ 1
2. Гл. ас. д-р инж. Наталия Александрова
Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“
гр. София, ул. „проф. Боян Каменов“ 1
Е-mail: nataliya.aleksandrova@mgu.bg

**СРАВНЕНИЕ НА РЕЗУЛТАТИТЕ ОТ ЙОНИЗАЦИОННИЯ МОДЕЛ CORSIMA
ПРИЛОЖЕН ЗА АНОМАЛНИ КОСМИЧЕСКИ ЛЪЧИ ВЪЗ ОСНОВА НА СПЪТНИКОВИ
ДАНИИ**

**Чл.-кор. проф. Петър Велинов, доц. д-р Симеон Асеновски, доц. д-р инж. Лъчезар
Матеев**

**COMPARISON OF THE CORSIMA IONIZATION MODEL WITH SATELLITE DATA FOR
ANOMALOUS COSMIC RAYS**

**Corr. Memb, Prof. Peter Velinov, Assoc. Prof., Simeon Asenovski, Assoc. Prof.,
Lachezar Mateev, SRTI – BAS**

SUMMARY

Cosmic rays play a significant role in ionization processes within the Earth's atmosphere. Among these, Anomalous Cosmic Rays (ACRs) are a key component, originating from the solar wind and interacting with the interstellar medium. ACRs can be single- or multiply-charged (MCACRs).

This study focuses on the application of the CORSIMA (COsmic Ray Spectra and Intensity in the Middle Atmosphere) model, which calculates the ionization rates caused by MCACRs. We specifically analyze the impact of these cosmic rays on the ionosphere-middle atmosphere system, with a focus on the altitude range of 40-50 km. Using satellite data for key ACR constituents, such as protons, helium, and oxygen nuclei, the CORSIMA model was tested for its accuracy in predicting ionization levels at various atmospheric layers.

Keywords: Multiply Charged Anomalous Cosmic Rays (MCACRs), spectra, ionosphere.

РЕЗЮМЕ

Космическите лъчи играят важна роля в процесите на йонизация в земната атмосфера. Сред тях аномалните космически лъчи (ACRs) са ключов компонент, произхождащ от слънчевия вятър и взаимодействащ с междувездната среда. ACR могат да бъдат еднократно или многократно заредени (MCACR).

Това изследване се фокусира върху прилагането на модела CORSIMA (COsmic Ray Spectra and Intensity in the Middle Atmosphere), който изчислява скоростите на йонизация, причинени от MCACR. Ние конкретно анализираме въздействието на тези космически лъчи върху системата йоносфера-средна атмосфера, с фокус върху диапазона на надморската височина от 40-50 km. Използвайки спътникови данни за ключови компоненти на ACR, като протони, хелий и кислородни ядра, моделът CORSIMA беше тестван за неговата точност при прогнозиране на нивата на йонизация в различни атмосферни слоеве.

Ключови думи: многозарядни аномални космически лъчи (MCACRs), спектри, йоносфера.

1. INTRODUCTION

About 50 years ago, a new component of quiet-time cosmic ray flux with an unusual composition and energy spectrum was discovered, now known as Anomalous Cosmic Rays (ACRs) [4]. During the acceleration process, some of these ACRs, which are typically singly-ionized, lose additional electrons, resulting in the formation of more efficiently accelerated multiply-charged (MC) ions. Most ACRs with energies ≥ 30 MeV/nucleon are multiply charged [9], [11].

This paper explores the behavior of these multiply charged ACRs, particularly their penetration and ionization effects within the ionosphere-middle atmosphere system [15,10,2,13]. ACRs are thought to originate as singly-ionized particles [5], and studies have confirmed this for most ACRs with energies around 10 MeV/nucleon. However, data from the Solar Anomalous and Magnetospheric Explorer (SAMPEX) showed that at energies ≥ 25 MeV/nucleon, many ACRs have an ionic charge $Q \geq 2$ [12]. This indicates that some ACRs are stripped of electrons during acceleration and gain energy in proportion to their charge, as proposed by Jokipii [9].

For example, oxygen ACRs can be accelerated to energies as high as ~ 100 MeV/nucleon, with approximately 20% of oxygen ions being multiply charged. SAMPEX data also revealed that the ratio of $Q=1$ to $Q \geq 2$ for nitrogen, oxygen, and neon crosses 50% at an energy of ~ 360 MeV [12].

This study investigates the ionization effects of Multiply Charged ACRs (MCACRs) at the boundary between the ionosphere and middle atmosphere (40-50 km), using the CORSIMA (COsmic Ray Spectra and Intensity in Middle Atmosphere) model [16]. ACR spectra are analyzed at various altitudes, utilizing satellite measurements of protons, helium, and oxygen nuclei. The findings show that MCACR influence extends to polar regions above 65° - 70° geomagnetic latitude, where ionization rates are comparable to those of Galactic Cosmic Rays (GCRs).

2. MODEL APPROXIMATIONS

In this study, we introduce a refined approach to calculate ionization losses due to Multiply Charged Anomalous Cosmic Rays (MCACRs) in the ionosphere and middle atmosphere. The ionization loss function, represented as dE/dh , depends on two primary factors: the particle's energy E and its charge Z . Mathematically, we express this dependence as:

$$(1) \quad \frac{dE}{dh} = f(E, Z)$$

where:

- E is the kinetic energy of the particle;
- Z is the charge of the particle, which directly affects the rate of energy loss during its interaction with atmospheric molecules.

To better approximate ionization losses across different energy ranges, we divide the energy spectrum into six characteristic intervals. These intervals allow us to apply specific formulations for dE/dh based on both energy and charge, enhancing the accuracy of the results. The intervals are described as follows:

$$(2) \quad -\frac{1}{\rho} \frac{dE}{dh} = \begin{cases} 2.57 \times 10^3 E^{0.5} & \text{if } kT \leq E \leq 0.15 \text{ MeV/n} & , \text{ interval 1} \\ 1540 E^{0.23} & \text{if } 0.15 \leq E \leq E_a = 0.15 Z^2 \text{ MeV/n} & , \text{ interval 2*} \\ 231 \times Z^2 E^{-0.77} & \text{if } E_a \leq E \leq 200 \text{ MeV/n} & , \text{ interval 2} \\ 68 \times Z^2 E^{-0.53} & \text{if } 200 \leq E \leq 850 \text{ MeV/n} & , \text{ interval 3} \\ 1.91 \times Z^2 & \text{if } 850 \leq E \leq 5 \times 10^3 \text{ MeV/n} & , \text{ interval 4} \\ 0.66 \times Z^2 E^{0.123} & \text{if } 5 \times 10^3 \leq E \leq 5 \times 10^6 \text{ MeV/n} & , \text{ interval 5} \end{cases}$$

By segmenting the energy range into these intervals, we can better capture the behavior of cosmic rays as they penetrate through the atmosphere. This refinement improves the accuracy of our predictions

compared to previous models, which used fewer intervals and less detailed representations of energy loss [5], [2].

Our model is designed to analyze the ionization contributions from different types of cosmic rays (CRs) in the ionosphere and middle atmosphere. These types include Galactic Cosmic Rays (GCRs), Solar Cosmic Rays (SCRs), and Anomalous Cosmic Rays (ACRs). Each sub-model within our framework is tailored to evaluate the specific ionization contributions of these CR types, taking into account their distinct energy characteristics across the atmosphere.

To accurately assess the impact of differential energy spectra on ionization processes in the middle atmosphere, we rely on satellite measurements of cosmic ray spectra. In this study, we place particular emphasis on ACR spectra. By decomposing the ACR spectra into various groups based on the nuclei type and corresponding energy intervals, we can analyze their properties and understand how they influence ionization losses at different atmospheric boundaries.

Our newly developed model, CORSIMA (COsmic Ray Spectra and Intensity in the Middle Atmosphere), builds upon advancements made in our previous model, CORIMIA (COsmic Ray Ionization Model for Ionosphere and Atmosphere) [16]. CORSIMA refines the analysis by introducing more detailed energy intervals, which allows us to capture the contributions of ACRs more accurately across different atmospheric layers. This improvement helps us provide a comprehensive understanding of how ACR spectra contribute to ionization in the middle atmosphere, especially in the context of space weather interactions.

By leveraging the capabilities of CORSIMA and refining the treatment of energy intervals, we aim to enhance the precision of ionization models and offer new insights into the behavior of cosmic rays in the Earth's atmosphere.

3. MODEL DESCRIPTION FOR ACRS

The submodel for calculating the ionization rate profiles of Anomalous Cosmic Rays (ACRs) differs significantly from the submodels used for Galactic Cosmic Rays (GCRs) and Solar Cosmic Rays (SCRs). One of the key differences is that ACR constituents are multiply charged, unlike most GCRs and SCR. This requires the introduction of a charge decrease interval to account for the effects of multiple ionizations as ACRs travel through the atmosphere [16], [1]. Additionally, the atomic weight A of the particles is taken into consideration, as it plays a significant role in the ionization process.

When analyzing the penetration of ACRs into the atmosphere, we focus on the electron production rate within three energy intervals. These intervals pertain to the low-energy range of ionization losses, measured in $\text{MeV} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{cm}^2$, and follow the Bohr-Bethe-Bloch formula. This formula allows us to calculate the energy loss per unit of path length based on the particle's charge and energy.

Unlike single-ionized particles, which have a more straightforward ionization loss function, multiply charged ACRs introduce new dependencies across the energy intervals. As a result, the ionization loss function for ACRs becomes more complex and generalized compared to the case where the charge $Z=1$. This refinement provides a more accurate representation of how ACRs interact with the atmosphere, particularly in the low-energy regime where ionization losses are most significant.

By incorporating these adjustments into the model, we are able to better understand the impact of ACRs on atmospheric ionization and how they contribute to electron production at different altitudes.

$$(3) \quad -\frac{1}{\rho} \frac{dE}{dh} = \begin{cases} 2.57 \times 10^3 E^{0.5} & \text{if } kT \leq E \leq 0.15 \text{ MeV/n} & , \text{ interval 1} \\ 1540 E^{0.23} & \text{if } 0.15 \leq E \leq E_a = 0.15 Z^2 \text{ MeV/n} & , \text{ interval 2}^* \\ 231 \times Z^2 E^{-0.77} & \text{if } E_a \leq E \leq 200 \text{ MeV/n} & , \text{ interval 2} \end{cases}$$

We will now present the interval values crucial for calculating cosmic ray (CR) spectra, intensities, and ionization rates in the middle atmosphere and lower ionosphere. All particle energies are given in units of MeV/nucleon . The lower energy bound is defined by the parameter kT , which reflects the thermal state of charged particles.

In the first two intervals, $kT < E < 0.15 < E_a = 0.15 Z^2$, the CR spectrum exhibits both descending and ascending phases. The particle intensities change their slope at approximately 0.15 MeV/nucleon , with interval 2* representing the charge decrease interval due to electron capture during atmospheric penetration. These first two intervals also highlight the increase in ionization losses, as demonstrated by the ionization loss function in equation (1).

In the next interval, $E_a < E < 200$ MeV/nucleon, ionization losses and spectrum intensities begin to decrease. This decreasing trend in ionization losses continues into interval 3, $200 < E < 850$ MeV/nucleon, but with a shallower slope that reflects the physical nature of the energy loss process.

The subsequent intervals, interval 4, $850 < E < 5000$ MeV/nucleon, and interval 5, $E > 5000$ MeV/nucleon, involve relativistic particles whose energies increase significantly. Beyond interval 5 lies the "knee" of the CR spectrum at $E \sim 3 - 4 \times 10^{15}$ eV. Cosmic ray energies can reach $E > 10^{18}$ eV for Ultra High Energy Cosmic Rays (UHECRs) and $E > 10^{20}$ eV for Extremely High Energy Cosmic Rays (EHECRs) [7].

Now, we introduce the energy intervals and subintervals used in the ionization rate models CORIMIA and CORSIMA:

$$(4) \quad kT < E_{eff} < 0.15 < E_{0.15,2} < E_a < E_{a,2} < 200 < E_{200,3} < 850 < E_{850,4} < 5000 < E_{5000,5} < \infty$$

This sequence of inequalities defines the subintervals with the corresponding energy bounds, reflecting the physical characteristics of particles in each interval. These intermediary bounds characterize the CORIMIA and CORSIMA models, and depend on the particle's path through the atmosphere, as considered in the relevant formulas.

We will now demonstrate the mathematical expression for calculating the ionization rate when the effective rigidity of particle penetration falls within interval 1 from equation (1), and does not exceed the upper boundary:

$$(5) \quad q(h) = \frac{\rho(h)}{Q} \left(\int_{E_{eff}}^{0.15} D(E) \left(\frac{dE}{dh} \right) dE_k + \int_{0.15}^{E_{0.15,2}(h)} D(E) \left(\frac{dE}{dh} \right) dE_k + \right. \\ \left. + \int_{E_{0.15,2}}^{E_a} D(E) \left(\frac{dE}{dh} \right) dE_k + \int_{E_a}^{E_{a,2}(h)} D(E) \left(\frac{dE}{dh} \right) dE_k + \right. \\ \left. + \int_{E_{a,2}}^{200} D(E) \left(\frac{dE}{dh} \right) dE_k + \int_{200}^{E_{200,3}(h)} D(E) \left(\frac{dE}{dh} \right) dE_k + \dots \right.$$

Here, $Q=35$ eV is the energy required to form one electron-proton pair [15], [13]. The integral bounds are determined by formulas (1) and (14), as well as reference [1]. The ionization loss function without boundary crossings is calculated in equations (6), (7), and (8) for terms I, II, and III of equation (5). The ionization loss function with boundary crossings is calculated in equations (9) and (10) for terms II, IV, and VI of equation (4). The integration bounds of term VI are further explained in [1].

Table 1: Subtracted differential spectra for Helium observed by several telescopes (LET1, red and HET B, blue) of the ISOIS instrument onboard Parker Solar Probe (PSP) [14, Fig. 10a]. Here are the source data for the calculations of Fig. 2.

Energy (MeV nucl ⁻¹) PSP-ISOIS:LET1 (red color line)	Flux [cm ⁻² s ⁻¹ sr ⁻¹ MeV nucl ⁻¹] 1] PSP-ISOIS: LET1 (red color line)
1.2	7e-4
1.35	3.2e-4
1.6	1.6e-4
1.9	1.4e-4
2.2	1.1e-4
2.6	5e-5
3.0	2.4e-5
3.7	2e-5
4.3	2.1e-5

5.1	2.5e-5
6.1	2.8e-5
7.1	3.8-5
8.7	3.8-5
11	4e-5
13	4.5e-5
16	4.4e-5
18	4.6e-5
21	4.5e-5
25	4.6e-5
30	3.8e-5

Energy (MeV nucl ⁻¹) ISOIS:HET B (blue color line)	Flux [cm ⁻² s ⁻¹ sr ⁻¹ MeV nucl ⁻¹] ISOIS:HET B (blue color line)
16	4.4e-5
18	4.2e-5
21	3.9e-5
25	3.6e-5
30	3.5e-5
35	3.4e-5
41	3.4e-5
50	3.1e-5

$$(6) \quad \frac{1}{\rho} \left(\frac{dE}{dh} \right)_1 = 2570 E_1^{0.5}(h) = 2570 \left(E_k^{0.5} - \frac{1285}{A} \tilde{h} \right)$$

$$(7) \quad \frac{1}{\rho} \left(\frac{dE}{dh} \right)_{2^*} = 1540 E_{2^*}^{0.23}(h) = 1540 \left(E_k^{0.77} - \frac{1185.5}{A} \tilde{h} \right)^{0.3}$$

$$(8) \quad \frac{1}{\rho} \left(\frac{dE}{dh} \right)_2 = 231 Z^2 E_2^{-0.77}(h) = 231 Z^2 \left(E_k^{1.77} - \frac{408.87 Z^2}{A} \tilde{h} \right)^{-0.43}$$

$$(9) \quad \frac{1}{\rho} \left(\frac{dE}{dh} \right)_{2^*1} = 2570 E_{2^*1}^{0.5}(h) = 2570 \left(0.15^{0.77} - \frac{1285}{A} \tilde{h} + 1.08(E_a^{0.77} - 0.15^{0.77}) \right)$$

$$(10) \quad \frac{1}{\rho} \left(\frac{dE}{dh} \right)_{22^*} = 1540 E_{22^*}^{0.23}(h) = 1540 \left(E_a^{0.77} - \frac{1185.8}{A} \tilde{h} + \frac{2.9}{Z^2} (E_k^{1.77} - E_a^{1.77}) \right)^{0.36}.$$

The electron production rate expression involves the following key terms: $\rho(h)$, the atmospheric density at height h ;

$E_1(h)$, $E_2(h)$, $E_3(h)$, $E_{21}(h)$, $E_{32}(h)$, the energy decrease laws for the respective energy intervals; and $D(E)$, the differential spectrum in cm⁻²s⁻¹sr⁻¹MeV⁻¹. The cutoff energy $E_{min}=E_{eff}$ is calculated using formula (13) and the geomagnetic cutoff ER . Atmospheric electric fields can also affect the general cutoff rigidity E_{min} [15,16,1].

The initial energies for the boundaries of interval 2* before entering the atmosphere are provided by formula (11):

$$(11) \quad E_{0.15,2^*}(h) = \left(0.15^{0.77} + \frac{1185.8}{A} \tilde{h} \right)^{1.3}$$

Additional formulas, such as equation (12), describe energy values beyond the upper boundary of interval 2, while equations (5) - (9) detail ionization losses for different intervals, both with and without boundary crossings.

This sequence of intervals and energy values expands up to 5 GeV for ACRs, and the bounds are included in the respective calculations.

$$(12) \quad E_{0.15,2}(h) = \left(E_a^{1.77} + \frac{408.87Z^2}{A} \tilde{h} - 0.34Z^2(E_a^{0.77} - 0.15^{0.77}) \right)^{0.56}$$

This model takes into consideration energy values above the upper boundary of interval 2, which are characteristic for the spectra presented in the table below (related to the figure).

It is valid for various combinations of evaluated parameters and for other mathematical expressions of the CORSIMA and CORIMIA models, which reflect the full energy range under consideration. The energy values and intervals for ACRs expand up to 5 GeV and beyond, and these bounds are incorporated into the respective calculations [7].

We now present the initial energy values for the interval boundaries that are critical for calculating the electron production rate by Multiply Charged ACRs (MC ACRs), as described in formula (10). These values depend on the depth of penetration into the atmosphere. The initial energy for $E_{min}=kT$, when located in interval 2*, is given by:

$$(13) \quad E_{A2}(h) = \left(E_a^{1.77} + \frac{408.87Z^2}{A} \tilde{h} - 0.32Z^2(0.15^{0.5} - (kT)^{0.5}) - 0.34Z^2(E_a^{0.77} - 0.15^{0.77}) \right)^{0.56}.$$

The initial energy situated in interval 1 is given by formula (14):

$$(14) \quad E_{A1}(h) = \left((kT)^{0.5} + \frac{1285}{A} \tilde{h} \right)^2$$

The initial energy for the boundary E_a , before the spectrum penetrates into the atmosphere, when it is situated in interval 2, is given by formula (15):

$$(15) \quad E_{a,2}(h) = \left(E_a^{1.77} + \frac{408.87Z^2}{A} \tilde{h} \right)^{0.56}$$

4. RESULTS

Figures 1-3 present the evolution of the spectra for the main ACR species—protons (Fig. 1), helium (Fig. 2), and oxygen (Fig. 3). These spectra are specifically calculated for a geomagnetic latitude of $\lambda m=90$. In the lower portion of the profiles, the proton and helium spectra are primarily influenced by atmospheric cut-offs. For protons, the spectrum drops to zero below 40 km (Fig. 1), while the helium spectra decrease below 40 km due to atmospheric cut-off effects (Fig. 2). Notably, the helium and oxygen spectra display the highest intensities among the ACR species.

Figure 1 illustrates a 3D model of the energy spectra for hydrogen (protons) $H+H^++H^+$ within anomalous cosmic rays. The x-axis represents kinetic energy in Mega-electronvolts per nucleon (MeV/n), capturing the range of energies for ACR protons. The y-axis represents the altitude range from 40 km to 50 km in Earth's atmosphere, while the z-axis shows the differential flux, quantifying the intensity of protons at each energy level. The surface plot, marked with a color gradient, visualizes the expected intensities of proton flux at various energies and altitudes.

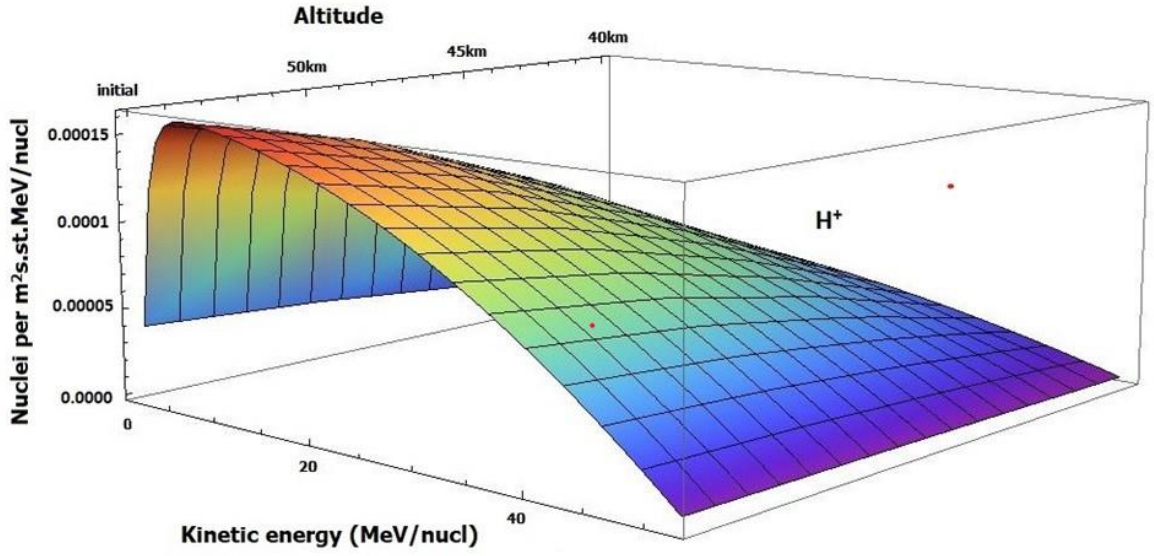


Fig. 1. Modeled altitude-dependent differential spectra of hydrogen protons (H^+) in anomalous cosmic rays (ACRs), showing flux variation with kinetic energy and altitude in Earth's stratosphere.

This model is based on initial spectra extracted from references [9], [10], providing insight into the distribution and penetration of ACR protons into the stratosphere.

Figure 2 presents a 3D model of the energy spectra for ACR helium nuclei He^{++} . The x-, y-, and z-axes correspond to those in Fig. 1. The data in Fig. 2 are related to Table 1 [7], which shows event-subtracted spectra for helium observed by two telescopes, LET1 (red) and HET B (blue), from the ISOIS instrument onboard the Parker Solar Probe (PSP). Data were taken during the periods 2018.7–2019.9 and 2018.7–2021.2, respectively. Particles in the 1–3 MeV/n range represent solar cosmic rays (SCRs) or solar energetic particles (SEPs); 3–60 MeV/n are ACRs, and above 60 MeV/n are Galactic Cosmic Rays (GCRs). GCRs at 1 AU were simulated using the HelMod-4 (Heliospheric Modulation Model, version 5.1) online calculator (www.helmod.org).

The initial MC ACR helium spectrum before entering the atmosphere is described by the mathematical expression (15), modified by the particle's path during penetration toward Earth. The spectrum shapes at heights above 40 km are shown in Fig. 2.

$$(16) \quad D(E) = 3,34 \times 10^{-7} \times E^2 + 9,19 \times 10^{-9} \times E^3 + 1,49 \times 10^{-3} \times e^{-E}.$$

This MC ACR helium spectrum is calculated based on numerical values from Table 1, which is derived from observations by the LET1 and HET B telescopes onboard the PSP [7].

Figure 3 illustrates modeled altitude-dependent differential spectra of multi-charged oxygen nuclei in ACRs, showing flux variation with kinetic energy and altitude in Earth's stratosphere. This figure provides a theoretical visualization of the differential spectra based on computational modeling, rather than experimental data. The x-axis signifies the kinetic energy of ACRs (in MeV/n), while the y-axis represents altitudinal levels in the stratosphere (from 40 km to 50 km). The z-axis measures the differential flux, indicating the density of cosmic ray particles at each energy level. This model is based on initial spectra for different charge states of oxygen nuclei presented in reference [12].

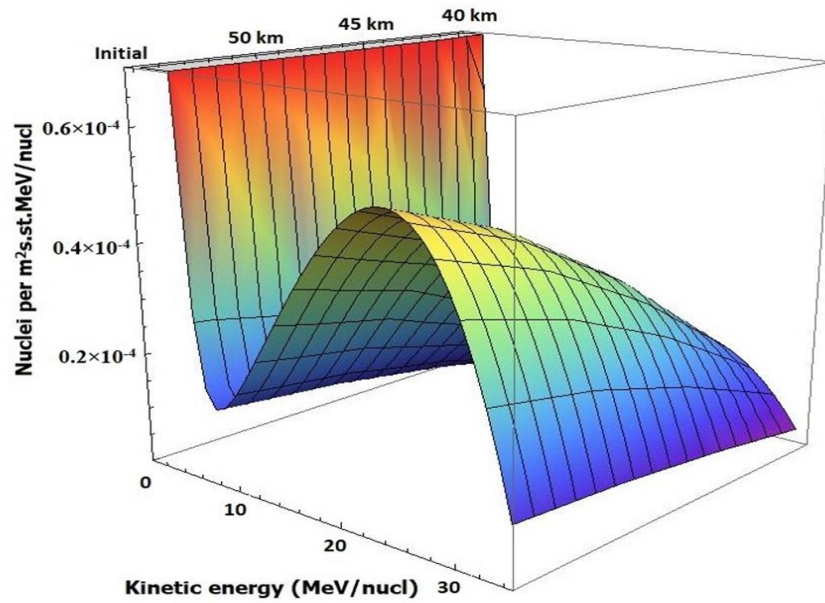


Fig. 2. Altitude-dependent modeled differential spectra of helium nuclei (He) in anomalous cosmic rays (ACRs), illustrating flux variation with kinetic energy and altitude in Earth's stratosphere.

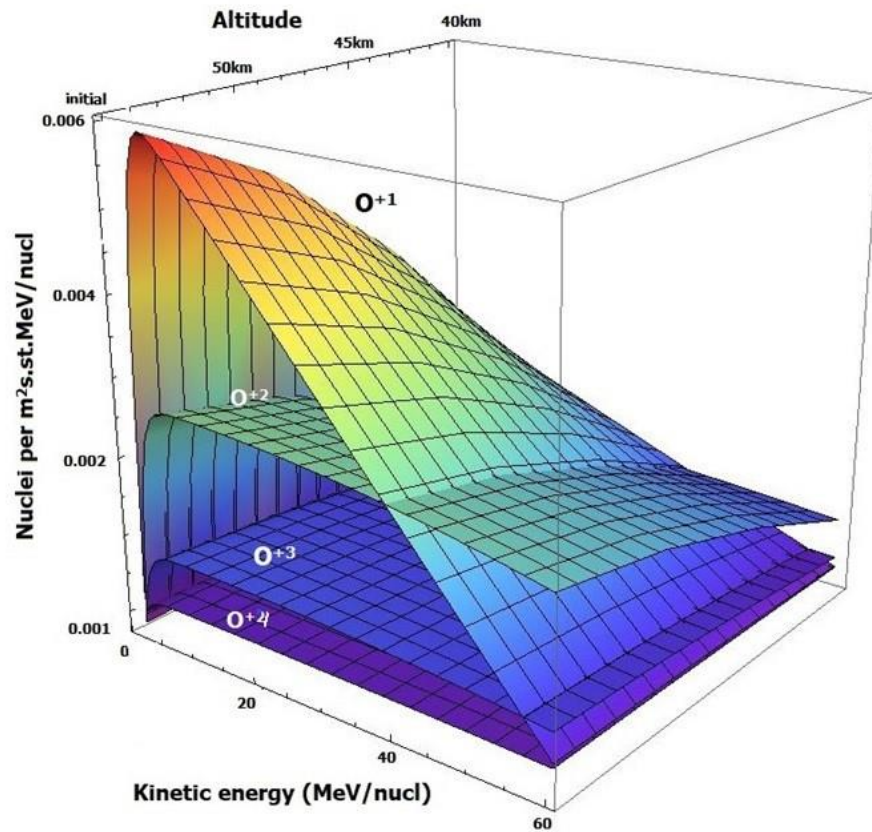


Fig .3. Modeled altitude-dependent differential spectra of multi-charged oxygen nuclei in anomalous cosmic rays (ACRs), showing flux variation with kinetic energy and altitude in Earth's stratosphere.

The surface plot, marked by a color gradient, illustrates the modeled flux intensities across the specified altitudes and energy ranges. The color intensities and surface shapes reflect the distribution and peak densities of ACRs. The model also distinguishes between different charge states of oxygen nuclei, such as O⁺¹, O⁺², O⁺³, and O⁺⁴, representing ionized oxygen. These distinctions are important

for understanding the ionization states of ACRs and their potential interactions as they traverse the upper atmosphere.

Overall, Figures 1, 2, and 3 depict the variation in the intensity of anomalous cosmic ray spectra with altitude, particularly between 50 km and 40 km in Earth's atmosphere. The difference in intensity between these two altitudes is clearly visible, with higher intensity observed at 50 km compared to 40 km. This variation in spectra provides significant insights into the dynamics of Earth's upper atmosphere and the interactions between cosmic rays and atmospheric particles at different altitudes.

5. CONCLUSION

In the present study, we apply the computer programs CORSIMA [16] and CORIMIA [1]—designed for multiply charged particles, which are frequently observed [4], [9], [11], [5], [12]—to determine the effect of anomalous cosmic rays (ACRs) on the polar caps of the Earth's ionosphere. We utilized experimental satellite data [5], [12], [7] as input spectra for our calculations. Ionization spectra were obtained for the main ACR species (protons, helium, and oxygen) in high-latitude regions, specifically for altitudes between 40 and 50 km. Characteristic variations in the spectra were observed in these regions due to the atmospheric cut-off effect. The impact of ACRs is primarily limited to the polar cap regions above geomagnetic latitude $\lambda_m=62^\circ\text{--}63^\circ$.

The united model, CORIMIA-CORSIMA, is an extension of previous models [16], [1]. This combined model can be applied to complex studies investigating the relationship between astroparticles, space weather, and the Earth's environment [14], [6], [8], with a particular focus on applications in ionospheric physics.

6. REFERENCES

1. Asenovski S. Operational Model CORIMIA (COsmic Ray Ionization Model for Ionosphere and Atmosphere), PhD Thesis, Sofia, IKIT BAN, 2013, 160 p.
2. Bojilova, R., Mukhtarov, P. Response of total electron content to the three G4–severe geomagnetic storms in January 2005 associated with cosmic ray events GLE 68 and GLE 69. *C.R Acad. Bulg. Sci.*, 2019, 72 (9), 1244-1250.
3. Bojilova, R., Mukhtarov, P. Response of the electron density profiles to geomagnetic disturbances in January 2005. *Studia Geophys. Geod.*, 2019, **63** (3), 436-454.
4. Cummings A.C., E.C. Stone, W.R. Webber, Evidence that the anomalous component is singly ionized. *Astrophys. J. (Letters)*, 1984, 287, 99-103.
5. Cummings, A. C., Stone, E. C., Composition of Anomalous Cosmic Rays, *Space Sci. Rev.*, 2007, 130 (1–4), 389–399. [Doi:10.1007/s11214-007-9161-y](https://doi.org/10.1007/s11214-007-9161-y).
6. Eroshenko E., Relationships between neutron fluxes and rain flows, *Adv.Space Res.*, 2010, 46 (1), 637–641, <https://doi.org/10.1016/j.asr.2010.04.016>
7. Giacalone, J., Fahr, H., Fichtner, H., Florinski, V., Heber, B. et al. Anomalous cosmic rays and heliospheric energetic particles, *Space Sci. Rev.*, 2022, 218 (4), article id.22, [Doi:10.1007/s11214-022-00890-7](https://doi.org/10.1007/s11214-022-00890-7)
8. Gronoff G., C. Mertens, J. Liliensten, L. Desorgher, E. Flückiger et al. Ionization processes in the atmosphere of Titan. III – Ionization by high-Zcosmic rays, *Astron. & Astrophys.*, 2011, 529 (5), A143, <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201015675>
9. Jokipi J. R. Theory of Multiply Charged Anomalous Cosmic Rays. *Astrophys. J.*, 1996, 466:L47–L50
10. Kilifarska, N., Bojilova, R. Geomagnetic focusing of cosmic rays in the lower atmosphere—evidence and mechanism. *C.R Acad. Bulg. Sci.*, 2019, 72 (3), 365 –374.
11. Mewaldt R. A. Implications of multiply-charged anomalous cosmic rays, *AIP Conference Proceedings*, 2006, 858, 92–97. <https://doi.org/10.1063/1.2359311>
12. Mewaldt R. A., R. S. Selesnick, J. R. Cummings, E. C. Stone, Evidence for Multiply Charged Anomalous Cosmic Rays. *The Astrophys. J.*, 1996, 466, L43–L46.
13. Mishev A. Normalized ionization yield function for various nuclei obtained with full Monte Carlo simulations, *Adv. Space Res.*, 2011, 48, 19–24
14. Tsagouri I., A. Belehaki, Progress in space weather modeling in an operational

- environment, J. Space Weath. & Space Clim., 2013, 3, A17, 1–72,
<https://doi.org/10.1051/swsc/2013037>
15. Usoskin I. G., L. Desorgher, Ionization of the Earth's atmosphere by solar and galactic cosmic rays, Acta Geophys., 2009, 57(1), 88–101
16. Velinov P. I. Y. I., Asenovski, S., Mateev, L., Quantitative evaluation of spectra and intensity of anomalous cosmic rays in middle atmosphere. C. R. Acad. Bulg. Sci., 2023, 76 (10), 1544-1553.

ADDRESS OF THE AUTHORS

1. Corr. Memb. Prof. Peter I.Y. Velinov
Space Research and Technology Institute,
Bulgarian Academy of Sciences (BAS)
PeterIYVelinov@gmail.com
2. Assoc. Prof. Simeon Asenovski
Space Research and Technology Institute – BAS
asenovski@gmail.com
3. Assoc. Prof., Lachezar Mateev
Space Research and Technology Institute - BAS
lachezar909@gmail.com.

**СЕНЗОРИ ИЗПОЛЗВАНИ ПРИ ИЗМЕРВАНЕ НА DC И AC ЕЛЕКТРИЧНИ ПОЛЕТА В
МАГНИТОСФЕРАТА И ЙОНОСФЕРАТА ОТ БОРДА НА САТЕЛИТИ И МКС**

**Проф. д-р Инж. Димитър Теодосиев, доц. д-р инж. Анна Бузекова-Пенкова, Бойко
Цинцерски, Йордан Георгиев, проф. д-р инж. Деница Борисова**

**SENSORS USED IN MEASURING DC AND AC ELECTRIC FIELDS IN THE
MAGNETOSPHERE AND IONOSPHERE FROM ON BOARD SATELLITES AND THE ISS**
**Prof. Dr. Eng. Dimitar Teodosiev, Assoc. Prof. Dr. Eng. Anna Buzekova-Penkova,
Boyko Tsintzerski, Yordan Georgiev, Prof. Dr. Eng. Denitsa Borisova**

АДРЕС НА АВТОРИТЕ:

1. Проф. д-р Димитър Теодосиев,
Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
(ИКИТ-БАН), София 1113, ул. „Акад. Г. Бончев“, бл.1,
dteod@space.bas.bg
2. Доц. д-р инж. Анна Бузекова-Пенкова,
ИКИТ-БАН
a_bouzekova@space.bas.bg
3. Бойко Цинцерски
ИКИТ-БАН
4. Йордан Георгиев
ИКИТ-БАН
5. Проф. д-р инж. Деница Борисова
ИКИТ-БАН,
dborisova@stil.bas.bg

**ПОВИШАВАНЕ КАЧЕСТВОТО НА ИНФОРМАЦИЯТА ПОЛУЧАВАНА ОТ РАДАРИ
СЪС СИНТЕЗИРАНА АПЕРТУРА ПОСРЕДСТВОМ СЪВМЕСТНО ИЗПОЛЗВАНЕ НА
ТРИСТЕННИ ОТРАЖАТЕЛИ И GNSS ИЗМЕРВАНИЯ**

**Проф. д-р инж. Христо Николовдоц, д-р инж. Константин Методиев, ИКИТ– БАН
проф. д-р инж. Мила Атанасова, НИГГГ – БАН
д-р инж., Иван Калчев, "Гео плюс " ЕООД**

**AUGMENTING THE INFORMATION QUALITY FROM SYNTHETIC APERTURE RADARS
USING INNOVATIVE PASSIVE REFLECTORS**

**Prof. Hristo Nikolov, Assoc. Prof. Konstantin Metodiev, SRTI-BAS
Prof. Dr. Eng Mila Atanasova, NIGGG-BAS
Dr. Eng. Ivan Kaltchev, LTD**

SUMMARY

Over the past two decades, satellite remote sensing (RS) techniques have become indispensable for investigating land surface dynamics, particularly geodynamic processes of varying magnitudes, including earthquakes, tectonic deformations, landslides, and subsidence phenomena. The increasing application of RS in geodynamic studies is primarily driven by advancements in spaceborne synthetic aperture radar (SAR) technology, the development of high-precision RS instruments, improvements in computational processing capabilities, and the continuous refinement of SAR data analysis methodologies.

A key data source within the Copernicus program is the Sentinel-1 (S-1) satellite, which provides consistent SAR observations independent of atmospheric conditions. Differential interferometric synthetic aperture radar (DInSAR) and its advanced derivatives enable the extraction of both topographic information and precise measurements of surface displacements. However, in non-urbanized areas, where natural reflectivity is often insufficient for reliable phase measurements, the deployment of artificial passive persistent reflectors—commonly referred to as corner reflectors (CRs)—is necessary to enhance data accuracy. These reflectors serve as stable, high-backscatter reference points, improving the reliability of interferometric phase measurements. To the best of our knowledge, no such passive reflectors have been established in Bulgaria to support SAR-based deformation monitoring. To address this limitation, we designed, developed, and implemented a pilot network of six CRs at selected locations. This study presents the technical specifications, deployment methodology, and preliminary results from the newly established CR network, with a focus on its application in monitoring surface deformations.

Keywords: SAR data, surface displacements, passive reflectors design, stable backscatter

РЕЗЮМЕ

През последните две десетилетия използването на методи и технологии за изследвания на земната повърхност от спътници за изучаване на протичащите процеси по нея, и по-конкретно

за получаване на информация за движенията на земната повърхност, дължащи се на геодинамични процеси с различни магнитуди (земетресения, тектонични движения, свлачища и процеси на срутване и т.н.) стана повсеместно поради повече налични данни от радар с синтезирана апертура (РСА). Основната движеща сила за това увеличаване на приложението на спътници в околоземна орбита при изучаване на споменатите процеси са технологичният прогрес в космическата индустрия, създаването на апаратурни комплекси разположени на спътници за наблюдение на различни обекти от земната повърхност с по-добра пространствена разделителна способност, подобряването на изчислителните възможности на съвременните компютърни системи, както и все по-широкото и широко разпространено развитие на иновативни методи за обработка на РСА данни.

Сателитът Sentinel-1 (S-1), на който е разположен РСА е един от източниците на данни за тематичните категории по програма Коперник, и който има за задача да осигурява надеждни данни независимо от атмосферните условия. След тематичната им обработка с помощта на метода на диференциалната интерферометрия (DInSAR) и неговите подобрения е възможно да се получи информация за релефа на земната повърхност, както и за настъпилите премествания по нея. За да се повиши качеството на тази информация за неурбанизирани територии, е необходимо да се разположат изкуствени, пасивни устойчиви отражатели (известни също като тристенни ъглови отражатели - ТО) на добре известни позиции с проверени характеристики на обратно разсейвания радарен сигнал. И тъй като на територията на България, доколкото е известно на авторите, няма разположени такива пасивни отражатели, от типа описан по-горе, които се използват за подобряване на надеждността на информацията, получена при обработката на РСА данни от S-1 бяха проектирани, разработени и внедрени в експлоатация пилотна мрежа от шест броя ТО. В тази статия представяме техническите параметри, процеса на настройка на ТО, както и първите резултати след разполагането им на избрано място за изследване на премествания по земната повърхност.

Ключови думи: РСА данни, премествания по земната повърхност, проектиране на пасивни отражатели, стабилно обратно разсейване.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Територията на България от сеизмична и тектонична гледна точка се счита за активна зона, като това твърдение се потвърждава от различни източници [11]. Резултатът от тези внезапни или бавни движения на повърхността са повърхностни премествания, регистрирани от геодезически изследвания, използващи конвенционални техники като нивелация или други, често допълвани от GNSS измервания. Тези регистрации се правят в специално създадени и поддържани геодезически мрежи, често в близост до природни феномени като добре проучени разломи [13] и в свлачищни райони, както и около критични инфраструктурни обекти – язовири [5], промишлени предприятия [2], мостове [1] и др. Геодезическите методи предлагат висока прецизност и надеждност, но данните отразяват състоянието на доста ограничени площи, а освен това необходимите ресурси за получаване и обработка на данни включват разходи за апаратура, за квалифициран персонал, за специализиран софтуер. От друга страна чрез изследвания от спътници на големи участъци от земната повърхност могат да бъдат наблюдавани на редовни интервали, много по-кратки от тези за геодезически измервания. Като недостатък на този метод на изследване се счита, че фиксираната конфигурация на регистрираните по земната повърхност площи, определени от конфигурацията на апаратурата, както и по-ниската пространствена разделителна способност в сравнение с тази на геодезическа мрежа, която може да бъде с произволен размер/форма и разделителна способност, тъй като е проектирана да отговаря на специфичните изисквания на реалния изследван обект.

През последните двадесет години деформациите на земната повърхност и топографията на терена се регистрират надеждно от спътници, оборудвани с РСА, формиращи изображение и работещи на различни дължини на вълната. Може да се каже, че Европа има значителен принос в напредъка на тази технология, като се започне със сателита ERS-1, изведен в орбита през 1991 г., до момента със Sentinel-1, който повече от 10 години предоставя надеждни данни [16]. Разполагайки с данни от РСА разположени на спътници, работещи на една и съща дължина на вълната в рамките на времеви диапазон от 30 години с различни интервали на повторно преминаване, беше възможно да се създадат дълги времеви серии от тях. По този начин беше предоставена възможността да се проучат движенията на земната повърхност във времеви интервал, за който има регистрирани данни от РСА.

Същността, едро мащабно обобщение и приложението на спътниковите методи и технологии в различни области на знанието и специално в геодезията и изследване на деформациите у нас е дадена в Милев, Г., И. Милев. Приложна геодезия Част 1, Инженерна геодезия. Книга 1. Основи, системи и технологии в Инженерната геодезия. С. СГЗБ. „Авангард“. 2017. 498 – <https://tinyurl.com/wmbqz5c>. Там е отразено, че през 2011 г. по предложение на почетен проф. д-р инж. Иво Милев, Германия, за изследване на деформациите в района гр. Перник, предизвикани вследствие самообрушаване на стари минни разработки, при изпълнение на проект ръководен от д-р инж. И. Калчев, беше приложена, за първи път у нас, D-InSAR технологията у нас. Използвана са няколко преминавания (заснемания, около 50 000 km²) от спътника TerraSAR – Германия. От обработка, направена от проф. И. Милев, бяха установени премествания в отделни райони на гр. Перник от порядък на 15 cm.

2. МЕТОД И ДАННИ

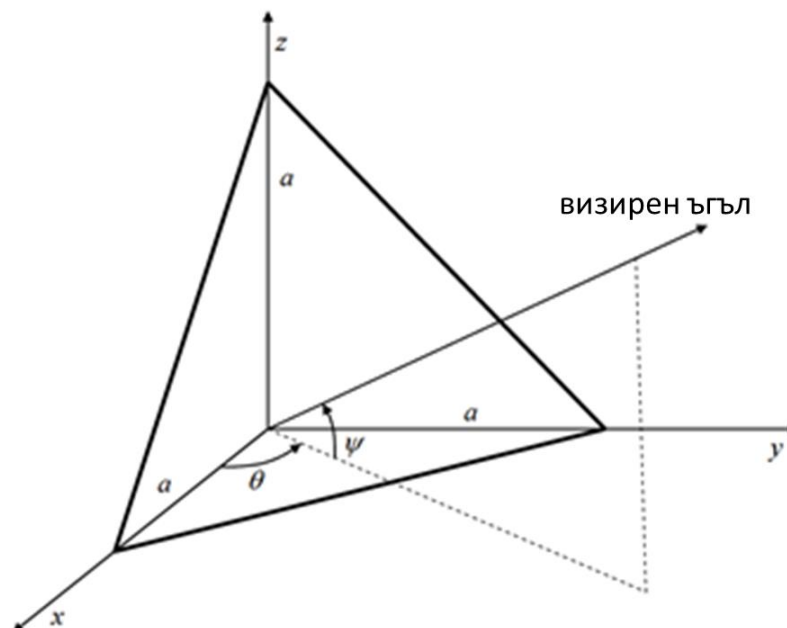
Основният подход за измерване на малки промени по земната повърхност е разработен в началото на 90-те години с помощта на интерферометричния принцип, приложен към фазовия компонент на радарния сигнал, наречен радарна сателитна интерферометрия (InSAR), който предоставя количествена информация за настъпилите промени. По-късно този метод беше модифициран с премахване на приноса на реалния терен посредством цифров модел на релефа получен от външен източник, създавайки диференциална интерферограма и наречен DInSAR [15]. Тъй като до голяма степен DInSAR се използва за създаване на единично интерферометрично изображение, създаването на набор от интерферометрични изображения за изследване на единично събитие или регион беше наречено подобрен (A-DINSAR) или многовременно (MT-DINSAR). Наличието на времева серия доведе до разработването на нови методи за обработка на PCA данни като PS-DINSAR, IPTA и др., позволяващи извличането на качествено нова информация от тях [10].

В процеса на интерпретиране на информацията получена от PCA данни за движенията на земната повърхност в хоризонтална и вертикална равнина, е важно да се отчита, че в този случай следва да прилага принципа на двойната разлика: първо, резултатите са валидни само за периода между двете регистрации на PCA данни и второ, те винаги трябва да бъдат свързани с точка (наричана също точка на измерване - ТИ) на повърхността с известни движения, ако има такива, която запазва своите високи свойства на обратно разсейване във всички използвани набори от PCA данни поради много по-високите съотношения сигнал/шум в сравнение със заобикалящите я елементи по терена. Както бе споменато по-горе, идеалният кандидат за такава точка трябва да бъде съчетан с инсталиран ТО, който е част от геодезическата мрежа, като се постигат две цели: първо, точката ще бъде измервана прецизно от ГНСС поне веднъж годишно; второ, точката да бъде лесно различима във всяко PCA изображение, формиращо времевите серии от интерферограми. В рамките на проведеното проучване за осъществимост бяха оценени различни типове на ТО, включително двустенни, плоски повърхности и други, за да се определи най-ефективният от тях за конкретното приложение. Въпреки това въз основа препоръките в повечето от проучените литературни източници стигнахме до заключението, че тристенният ъглов рефлектор е най-добрият компромис между най-често използваните. Ето защо трябваше да намерим оптимален баланс между несложна форма, лесно и надеждно производство и внедряване, издръжливост, стабилно обратно разсейване на PCA сигнала през целия планиран период на експлоатация и, което е важно, приемлива обща прогнозна цена.

В рамките на изследването първата стъпка бе проучване за осъществимост, фокусирано върху тип на ТО, разработването и внедряването на разработения прототип на ТО, който трябва да се използва за PCA апаратурни комплекси, работещи в С и Х обхвати на електромагнитния спектър. Първо трябваше да бъде тестван с данни от мисията Sentinel-1, тъй като информационните продукти от нея се получават редовно, предоставят надеждна информация след обработка по DInSAR и са свободно достъпни. Очакваме, че дизайнът на ТО, описан по-долу, също ще бъде подходящ за обработка на данни от PCA апаратурни комплекси, планирани да предоставят отворени данни на други дължини на вълните, например NISAR в L- и S-обхвати. Въпреки това проекта на ТО трябва да може лесно да се адаптира, за да изпълни и изискванията

на комерсиалните сателити като TerraSAR -X или COSMO- SkyMed, тъй като те предлагат по-добра пространствена разделителна способност, например 3 m, което се счита за разумен компромис между цената, платена за данните, и стойността на получената нова информация.

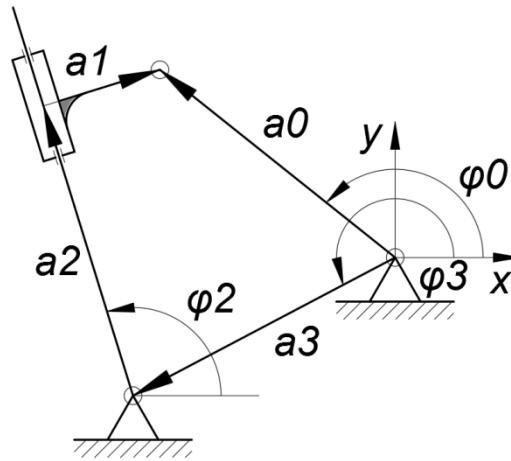
Най-важното изискване, което трябваше да бъде установено на етапа на проектиране, е дължината на страните на равностранните триъгълници, формиращи ТО (вижте сегментите, обозначени с a на фиг. 1).



Фиг. 1. Схематично представяне на геометрията на основната структура на ТО (адаптирано от [9]).

Както е посочено в [9], не се препоръчва този елемент да надвишава 2,5 m по размер поради увеличаване на общата маса на CR. Затова решихме да започнем с размер от 1 m и, ако е необходимо, да го увеличим до 1,5 m, като гарантираме, че и двата размера няма да доведат до насищане от страната на приемника по време на регистрацията на РСА данни. Друго важно изискване, зададено за ТО, беше възможността да обслужва както възходящите, така и низходящите орбити на спътника посредством наклон на равнината, определена от осите x/y под ъгъл ψ , вариращ от 0 до 45 градуса, за да се увеличи максимално амплитудата на радарния сигнал, отразен обратно от рефлектора. Тези стойности бяха зададени на етапа на проектиране според локалните ъгли на падане, получени от възходяща и низходяща орбита на продукти Sentinel-1 за територията на България [14]. В идеалния случай наклонът на ТО трябва точно да съответства на посоката на радарния сигнал. Постигането на това изискване на практика обаче е почти невъзможно. Следователно действителната отразателна способност на ТО често се отклонява от теоретично изчислените параметри. За да опростим дизайна на ТО, решихме да фиксираме азимуталната ориентация (известен още като ъгъл на насочване) и по време на монтажа в зависимост от типа орбита на сателите, която трябва да бъде обслужвана, да извлечем необходимата информация от метаданните на използваните продукти и да я коригираме на бетонната плоча, където е поставен рефлекторът. Това може да се счита за недостатък, но с оглед безпроблемното производство на ТО, проложихме вариант, който елиминира възможните проблеми при монтажа, като азимутално неправилно подравняване. По този начин азимуталната ориентация остава фиксирана, но тъй като орбитите на Sentinel-1 и TerraSAR -X имат подобни ъгли на насочване [12], това не би трябвало да намалява отразяващата способност на ТО при двете дължини на вълната. Като се има предвид влиянието на йоносферата върху крайните резултати, беше направено заключението, че тъй като площта, в която беше предвидено да се монтират ТО е малка (вж. раздел 3), забавянето на разпространението през нея остава постоянно през целия период на регистрация за всички ТО, като по този начин влиянието върху обратното разсейване остава константно и може да бъде оценено и елиминирано.

Както е показано на фиг. 2 докато рефlectorът извършва единствено равнинно движение, е допустимо да бъде заменен с равнинен механизъм.



Фиг. 2. Означения възприети на етапа на проектиране

За да бъде извършен конструкторския проект възприети бяха за следните уравнения за затваряне на цикъла и неговия комплексно спрегнат израз.

$$(1) \quad \begin{aligned} a_0 e^{i\varphi_0} &= a_3 e^{i\varphi_3} + a_2 e^{i\varphi_2} + a_1 e^{i(\varphi_2 - \pi/2)} \\ a_0 e^{-i\varphi_0} &= a_3 e^{-i\varphi_3} + a_2 e^{-i\varphi_2} + a_1 e^{-i(\varphi_2 - \pi/2)} \end{aligned}$$

който след преобразуване приема следния вид:

$$(2) \quad \begin{aligned} a_0 e^{i\varphi_0} - a_3 e^{i\varphi_3} - a_1 e^{i\varphi_2} e^{-i\pi/2} &= a_2 e^{i\varphi_2} \\ a_0 e^{-i\varphi_0} - a_3 e^{-i\varphi_3} - a_1 e^{-i\varphi_2} e^{i\pi/2} &= a_2 e^{-i\varphi_2} \end{aligned}$$

Като се отчете формулата на Ойлер:

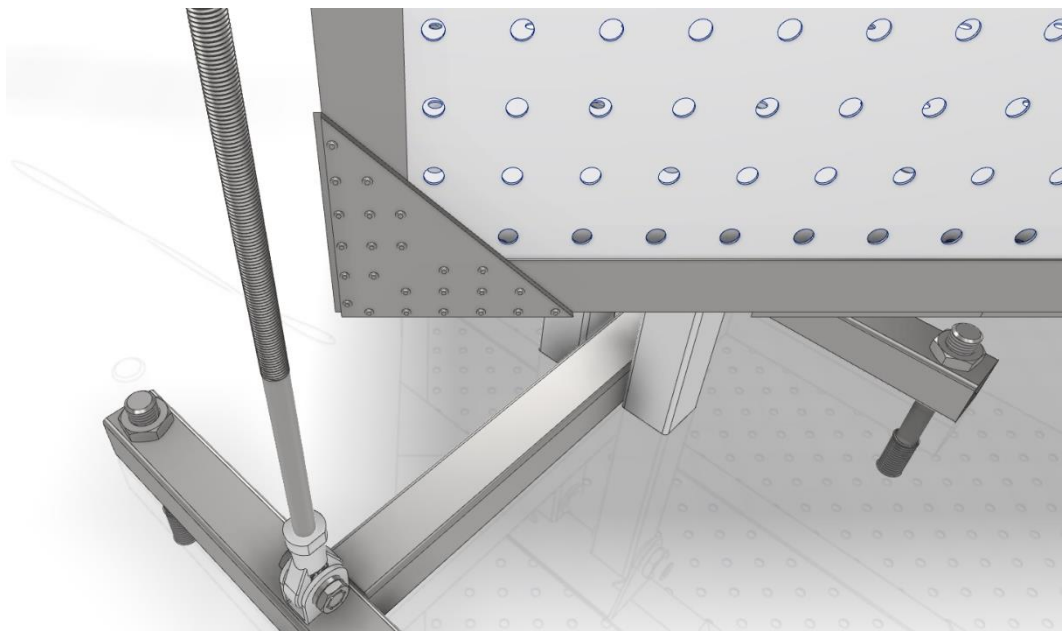
$$(3) \quad e^{i\varphi} = \cos \varphi + i \sin \varphi$$

уравнения (2) приемат следния вид:

$$(4) \quad \begin{aligned} a_0 e^{i\varphi_0} - a_3 e^{i\varphi_3} + i a_1 e^{i\varphi_2} &= a_2 e^{i\varphi_2} \\ a_0 e^{-i\varphi_0} - a_3 e^{-i\varphi_3} - i a_1 e^{-i\varphi_2} &= a_2 e^{-i\varphi_2} \end{aligned}$$

и тях се получава стойността за вектор a_2 :

$$(5) \quad \begin{aligned} 2a_0 a_1 \sin(\varphi_0 - \varphi_2) + 2a_1 a_3 \sin(\varphi_2 - \varphi_3) - 2a_0 a_3 \cos(\varphi_0 - \varphi_3) + \\ + a_0^2 + a_1^2 + a_3^2 &= a_2^2 \end{aligned}$$



Фиг. 3. Изглед на съединението на L-образни елементи със стоманени пръти заедно с частта от носещата основа.

Полученото уравнение (5) дава възможност на проектанта да получи линейния параметър (дължина на щифта) a_2 чрез регулиране на останалите (линейни $a_0 \dots a_3$ и ъгли $\varphi_0 \dots \varphi_3$, $\varphi_2 = \pi/2$). Като алтернатива, следният програмен фрагмент може да се изпълни в MatLab или GNU Octave, за да се получи идентичен резултат.

```
% y = a2([phi0,phi2,phi3],[a0,a1,a3])
fubction [ y ] = a2 ( phi , a )
phi0 = phi ( 1 ); phi2 = phi ( 2 ); phi3 = phi ( 3 );
a0 = a ( 1 ); a1 = a ( 2 ); a3 = a ( 3 );
w = a0 * exp ( j * phi0 ) - a3 * exp ( j * phi3 ) - a1 * exp ( j * ( phi2 - pi / 2 ) );
w_ = conj ( w );
a2 = sqrt ( w * w_ );
y = a2 ;
end
```

3. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЯ

След завършване на проучването за осъществимост на ТО етапът на разработка започна с разработването на първия прототип за серия от шест броя. От механична гледна точка, рефлекторът е изпълнен като фермова конструкция изработена от стоманени равностранични рамена с L-образни профили 30x3 mm и стоманени плоски пръти 30x3 mm. Конструкцията е проектирана така, че да сведе до минимум неравностите по страничния лист, ако има такива. Алюминиевите странични листове са прикрепени към фермата чрез разглобяеми резбови съединения, поставени по дължината на рамената при постоянна стъпка. Фиксиращите гайки с тефлонови краища се използват като средство против саморазвинтване. Страничните листове са перфорирани с $\varnothing 5$, за да се избегне създаването на аеродинамична сила при силен вятър и дрениране на рефлектора от дъждове и топене на сняг. И секциите, и плоските пръти са свързани във възлите на фермата чрез постоянни съединения, състоящи се от заварки, нитове и триъгълни вложки (фиг. 3).

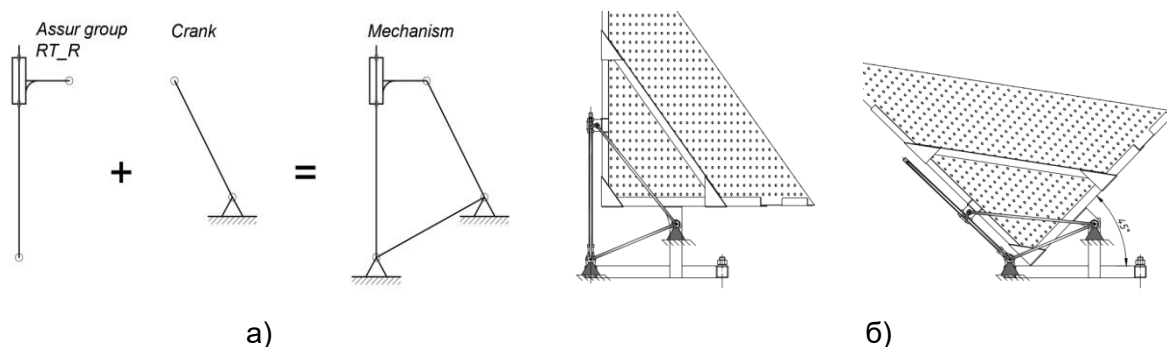
Носещата основа (напречната част) на рефлектора е заварена конструкция, изработена от квадратен профил с размери 40x40x3 mm. Двете връзки между напречната греда и фермата се осъществяват чрез вилка и шпилка. Рефлекторът се монтира здраво към основната плоча с анкерни болтове. Страничните листове са прикрепени към твърдата основа с помощта на стоманени въжета като допълнителни опори, за да устоят на поривите на вятъра.

Както беше посочено в предишния раздел ходът на рефлектора променя единствено ъгъла на повдигане ψ . Постига се чрез кулисен механизъм, известен още като обърнат плъзгач-манивела тип I, който съдържа водеща манивела и диаден изомер на Assur, RT_R [13].

Схематичната диаграма на рефлектора е показана на фиг. 4 а). Същата диаграма е насложена върху страничен изглед на рефлектора, фиг. 4 б), за да се осигури по-добро разбиране на хода на механизма. В рефлектора не е внедрен механизъм за ориентация по азимут, отчитайки изискването за несложна и надеждна конструкция.

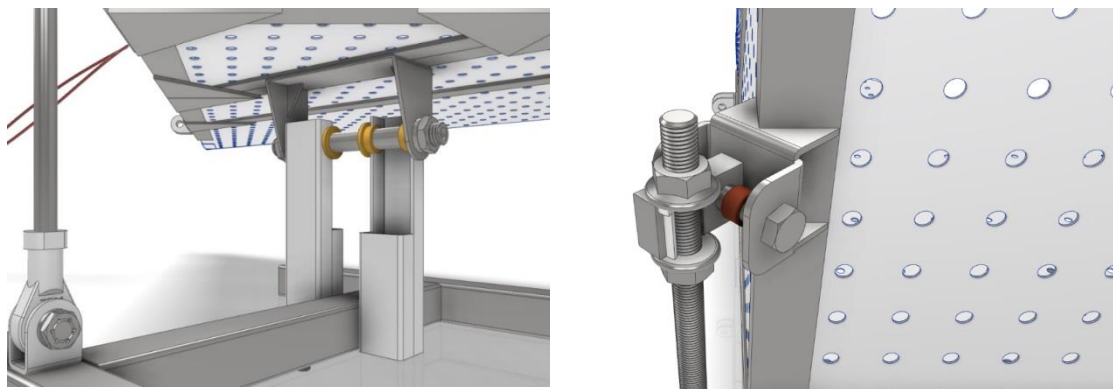
На фиг. 5 са показани всички въртящи се двойки на рефлектора. Частите са конструктивно изпълнени от плъзгащи лагери с бронзови втулки. Краят на пръта, който свързва шпилката и напречната част, също съдържа бронзова втулка за да се опрости процедурата на сглобяване, без да се жертва неговата издръжливост. След приемане на позиция под ъгъл ψ в рамките на 0 до 45 градуса, единствената плъзгаща се двойка (плъзгача) се заключва от двете страни с гайки, така че да обездвижи целия механизъм, което води до нулеви степени на свобода.

Издръжливостта на рефлектора се счита за основен проблем и следователно материалът, използван за плоските плочи на рефлектора, е перфориран алуминий. В допълнение към намаляването на теглото чрез избора на този специфичен материал, ние също предположихме, че пробиването на отвори в трите ортогонални плочи ще



Фиг. 1. Схема на механизма на кулиса, позволяващ наклонянето на CR.

намали допълнително общото тегло на устройството. Вzeti са специални мерки вътрешният ъгъл, където се събират трите оси, да не се пълни с вода от дъжд или топене на сняг. Друг фактор, който трябва да се вземе предвид, е да се сведе до минимум натоварването от вятър, действащо върху ъгловия рефлектор. Този проблем беше решен по време на фазата на проектиране чрез използване на перфорирани листове за плочите и добавяне на куки, разположени на „вътрешните крака“ на равнината x/y (вижте фиг. 1), които бяха закотвени към терена с метални въжета.



Фиг. 2. Местоположение на плъзгащите лагери с бронзови втулки

Повечето части на рефлектора са проектирани така, че производството на ТО да се реализира на универсални машини за рязане на метал без CNC функция, т.е. струг, фреза, машина за огъване на ламарина (известна още като абкант преса, сгъваема преса, абкант). Изключение правят заготовките от ламарина, които се изрязват на машини с помощта на водоабразивни или лазерни технологии за рязане. Стоманените части на фермовата конструкция са грундираны с подготвително покритие (грунд), което ги предпазва от корозия и осигурява по-добра адхезия на боята. Върху грунда е нанесена акрилна боя, която не се влияе от температурни разлики, не се напуква на слънце и допълнително предпазва детайлите от корозия.

За тестовото внедряване беше избрана малка площ, обхващаща около 51 хектара. По време на огледа на терена проектантският екип установи, че предложените места за

рефлекторите са разположени върху обработен терен на строителна площадка, състояща се предимно от мека земна основа. За по-сигурно закрепване на рефлекторите беше решено да се променят първоначално планираните размери на основата на плочата от 1000 x 1000 x 150 mm, както е посочено в проекта. Вместо това са изградени фундаменти със същите проектни размери, но с увеличена дебелина от 500 mm, като 250 mm от фундамента са заложени под нивото на терена. Това подобрение доведе до това, че половината от основата е под нивото на околния терен, докато останалата половина се простира над терена, както е илюстрирано на фиг. 6 б). Тестовата площадка, използвана за инсталиране на ТО, се намира в зона с ограничен достъп, поради което не се очакват интервенция от хора или животни и поради тези причини не са поставени никакви огради около тях.

В споменатия район са инсталирани шест броя ТО, три за възходяща и три за низходяща орбита, разположени по периметъра на полигона (фиг. 7) и следните параметри за орбиталните пътечки (табл. 1). Точната им позиция е установена чрез прецизни ГНСС измервания в режим RTK (сантиметрова точност), за да могат да бъдат идентифицирани на PCA изображенията. Тъй като първите експерименти бяха предвидени да използват данни от Sentinel-1, следователно това пространствено местоположение на ГНСС беше счетено за достатъчно, за да се установи позицията на ТО в PCA данните. Както е показано на фоновото изображение на фиг. 6, ТО са поставени на места, лесно достъпни с автомобил, за да се осигури лесен монтаж и поддръжка. Тъй като това беше пилотна разработка, екипът реши да разположи ТО на известно разстояние един от друг, за да покрие цялата изследвана площ с тях, а най-голямото разстояние между ТО е 800 m.



а)

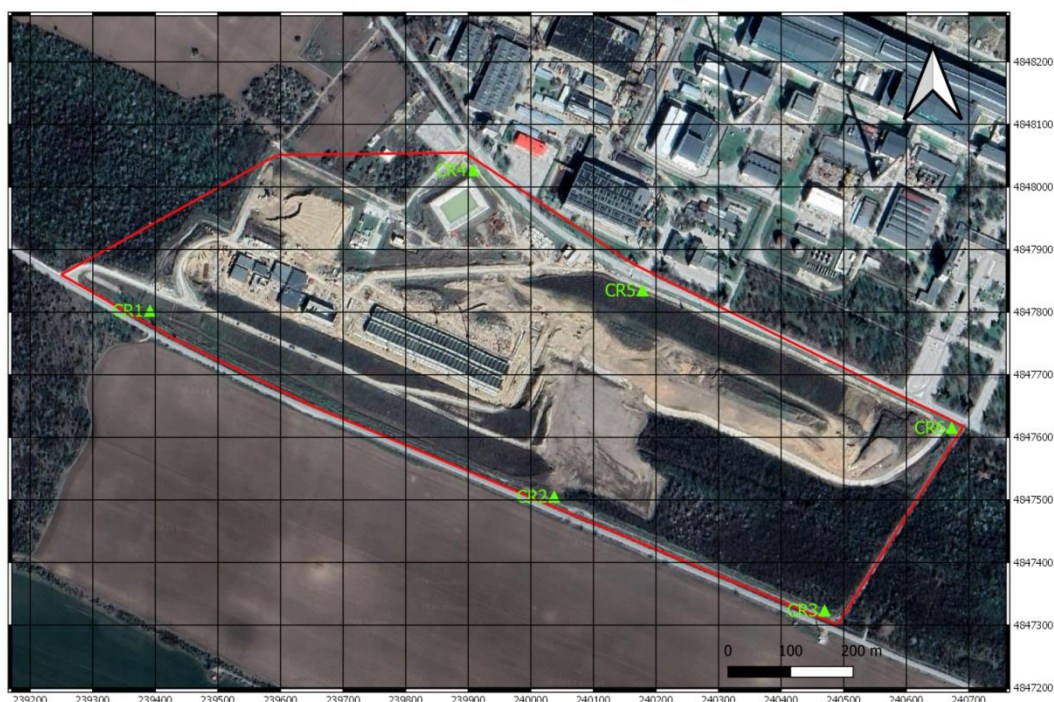


б)

Фиг. 3. Пример за един ТО преди и след монатаж на тестовата площадка.

Тъй като в избрания тестови район основната цел е дългосрочното наблюдение на повърхностни премествания по метод DInSAR и неговите подобрения това е причината да се изтеглят и обработват данни от PCA, получени от мисията Sentinel-1 в режим IW, обработени до SLC продукт. В този тип продукти задължително се запазва фазовият сигнал, необходим за създаване на интерферограми. Изборът и изтеглянето на продуктите Sentinel-1²² бяха направени с помощта на скрипт на Python от хранилището ASF на USGS. Интерферометричната обработка беше извършена с помощта на Microwave toolbox, част от софтуера SNAP, предоставен безплатно от ESA. За това изследване бяха използвани две орбитални траектории на спътника, а именно възходяща 102 и низходяща 7 – повече подробности са дадени в Таблица 1 по-долу.

²² **Data Availability Statement** Copernicus Sentinel data 2023. Retrieved from ASF DAAC (<https://search.asf.alaska.edu/#/>) 10 April 2024, processed by the ESA



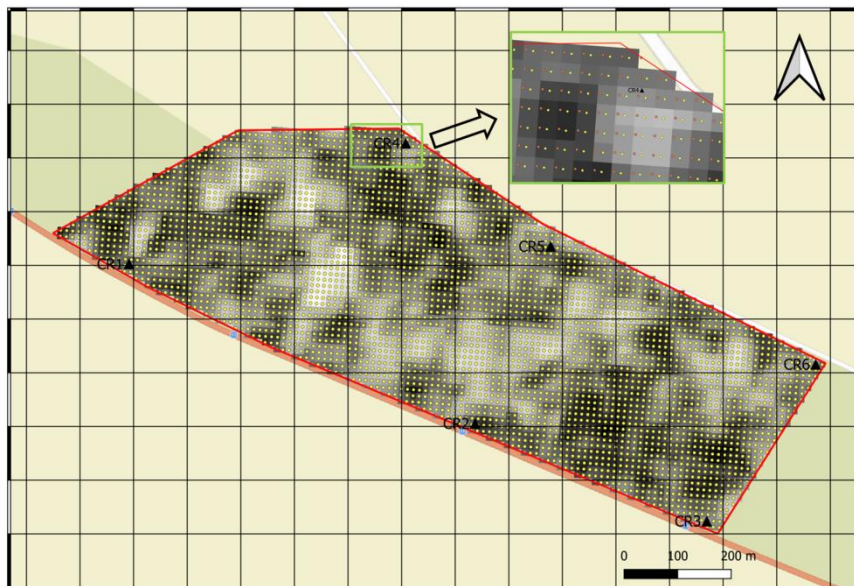
Фиг. 4. Местоположение на монтираните ТО в тестовия район.

Таблица 1. Орбити и техните параметри, използвани за подравняване на CR.

Тип на орбитата	Пътечка	Подсцена	Ъгъл на падане - начален	Ъгъл на падане - краен	Отклонение от север	Име на ТО
			[градус]	[градус]	[градус]	
Възходяща	102	3	41.35	46.01	348	CR2, CR4, CR6
Низходяща	7	2	36.05	41,96	192	CR1, CR3, CR5

Ефектът от инсталирането на ТО беше оценен чрез изготвяне на две интерферограми от двете орбити – едната преди и след монтажът им. Трябва да се отбележи, че за периода от един месец преди и след инсталирането на ТО само три SLC продукта на орбитална посока са били обработени след повредата на сателита Sentinel-1/B. Целта на обработката не беше да се открият движения на повърхността, а да се създаде кохерентно изображение, в което стабилните обратни разсейвания на EMC, присъстващи в наборите от данни да могат да бъдат ясно открити и се очаква въвеждането на допълнителни такива да бъде забележимо.

Тези кохерентни изображения бяха използвани за количествено определяне на промяната на яркостта в интерферометричния пиксел, съдържащ единичен ТО, заедно с околните пиксели, в резултат на очакваното намаляване на времевата декорелация. Това беше постигнато чрез метода за откриване на кохерентни промени (CCD) На фиг. 8 е представено примерно кохерентно изображение с точки в центъра на пикселите, които са използвани за извличане на стойностите от всеки от тях и извършване на анализи на кохерентността на промените. Беше забелязано, че дори датите са в период от един месец, броят на пикселите в кохерентните изображения не е постоянен и центровете на пикселите са изместени (вж. вмъкването на фиг. 8). Това може да се дължи на промени в посоката на С-Ю по време на регистрацията на PCA данните, следователно позицията на ТО трябва да бъде визуално установена във всяко едно от получените изображения и маркирана в данните, преди да бъде направен допълнителен анализ.



Фиг. 5. Кохерентно изображение използвано в анализа по метод CCD.

В табл. 2 са дадени стойностите на кохерентността за низходящата орбита 7, извлечени от интерферограми преди/след инсталирането на ТО на 26.03.2024 г. Вижда се, че увеличението на кохерентността не е голямо с изключение на CR2 и CR6, докато останалите резултати не показват такова рязко увеличение. Този ефект може да се дължи на заобикалящата среда (с малко или почти никаква растителност около ТО) и следователно малка промяна в съотношението сигнал/шум, т.е. незабавна и видима промяна в стойностите на кохерентността. Също така, трябва да се спомене, че ефективната площ на отражение на единичен ТО е по-малка от 1% от общата отразяваща площ в пиксела Sentinel-1, което е около 200 m². Въпреки това, авторите са уверени, че бъдещите резултати от обработката по метод DInSAR, предвидена за зимния период на 2024 г., ще предоставят повече информация този тестов район.

Таблица 2. Стойности за кохерентността, извлечени от местоположенията на ТО

ТО	coh_11 март 2024 г._23 март 2024 г	coh_23 март 2024 г._04 април 2024 г	разлика	увеличение [%]
1	0,5082	0,6686	0,1604	32
2	0,2180	0,4340	0,2160	99
3	0,3754	0,5704	0,1950	34
4	0,4552	0,5521	0,0969	18
5	0,3892	0,4307	0,0415	11
6	0,1571	0,5090	0,3519	69

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В представената статия изложихме накратко преминатите етапи при проектиране, разработване и пилотно инсталиране на мрежа от шест ТО, отразяващи PCA сигнал от апартурни PCA комплекси разположени на сателити. По време на фазата на проектиране бяха направени няколко модификации на първоначалната идея, насочени към повишаване на надеждността на свойствата на обратното разсейване и в същото време опростяване на производствените и настройващите процеси. Произведен е първият набор от шест ТО под наблюдението на авторите. Инсталацията е направена на малък обект с ограничен достъп, като са създадени три ТО за всяка сателитна орбита на разстояние една от друга. При прилагането на метода DInSAR бяха произведени четири кохерентни изображения, за да се извършат анализи по метод CCD. Наслагването на кохерентните изображения разкри малко изместване в центровете на пикселите, което беше най-ясно изразено за данните от низходяща орбита. За пикселите, съдържащи ТО, се забелязва увеличение на отразяващата способност в пикселите, където са инсталирани ТО, въпреки че това увеличение не е еднакво за всички ТО. Следващите

стъпки от разработването на описаните ТО ще включват първо извършване на измервания на неговата ефективна площ на отражение в безехова камера при дължините на вълните, на които работят повечето от съвременните РСА сателити. Друго подобрение на ТО, което се предвижда е възможността за промяна на азимуталната ориентация чрез добавяне на въртяща се основа, което ще го направи по-гъвкав. Последно, но не и по важност, е установяване на редовно получаване на интерферометрични изображения за избраната тестова площадка насочени към създаване на времеви серии за използване в анализи по метод CCD.

Резултатите, представени в тази статия, предоставиха достатъчни основания за съвместяването на ТО с мрежа от ГНСС на регионално или национално ниво, създавайки системи, подобни на AOGS. Авторите са уверени, че разположените ТО ще се използват за надеждни точки за измерване, които ще се вземат предвид от Европейската услуга за движения на земната повърхност (EGMS), като по този начин точността на техните информационни продукти на регионално ниво ще се подобри.

7. БЛАГОДАРНОСТИ

Авторите са благодарни на фирма Autodesk за предоставянето на 30-дневен пробен безплатен лиценз за следния софтуер – Autodesk Inventor, v.2022, както и на разработилите GNU Octave. В работата са използвани модифицирани данни от Copernicus Sentinel 2024.

5. ЛИТЕРАТУРА

1. Ангелов А., Автоматизирани системи за наблюдение на деформационни процеси в инженерни съоръжения, свлачища и хвостохранилища, Минно дело и геология, 2022, том 3-4
2. Вълев, Д., Г. Райнов, К. Василева, Анализ на деформациите на Мировското солно находище от 26 години комплексни геодезически измервания, Геодезия, картография, земеустройство. 2017, 3-4, 2-8, ISSN:0324-1610
3. Геозащита Варна – Годишен отчет 2018, <https://www.mrrb.bg/bg/godishen-doklad-za-2017-g-na-durjavnoto-drujestvo-za-geozastita-varna/> (Посетен на 03.02.2024)
4. Alaska Satellite Facility Data Search. Available, <https://search.asf.alaska.edu/#/> (accessed on 10th April 2024)
5. Antova G., Visualization of geodata in dam deformation monitoring, Proceedings of III International Conference on Cartography and GIS, Nesebar, Bulgaria, 2010, ISSN 1314-0604
6. Closson, D.; Milisavljevic, N. InSAR Coherence and Intensity Changes Detection. In Mine Action: The Research Experience of the Royal Military Academy of Belgium; Beumier, C., Closson, D., Iacroy, V., Milisavljevic, N., Yvinec, Y., Eds.; IntechOpen: London, UK, 2017
7. Danezis, C. et al. (2022). CyCLOPS: A National Integrated GNSS/InSAR Strategic Research Infrastructure for Monitoring Geohazards and Forming the Next Generation Datum of the Republic of Cyprus. In: Freymueller, J.T., Sánchez, L. (eds) Geodesy for a Sustainable Earth. International Association of Geodesy Symposia, vol 154. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/1345_2022_161
8. Doerry, A. W., and B. C. Brock (2009), Radar Cross Section of Triangular Trihedral Reflector with Extended Bottom Plate Rep. SAND2009-2993, Sandia National Laboratories, New Mexico
9. Garthwaite, M. C., Nancarrow, S., Hislop, A., Thankappan, M., Dawson, J. H., Lawrie, S. "The Design of Radar Corner Reflectors for the Australian Geophysical Observing System: a single design suitable for InSAR deformation monitoring and SAR calibration at multiple microwave frequency bands." Record 2015/03. Geoscience Australia, Canberra, 2015. <http://dx.doi.org/10.11636/Record.2015.003>
10. Hooper, A., Zebker, H., Segall, P., & Kampes, B. A new method for measuring deformation on volcanoes and other natural terrains using InSAR persistent scatterers. Geophysical research letters; 2004; 31(23). DOI: <https://doi.org/10.1029/2004GL021737>
11. Matova M. "About seismotectonic activity of Bulgaria". Reports on Geodesy, vol. 5/80, 2006
12. N Wang, D Q Wang, J Dong, Y C Liu, L Zhang, M S Liao, Monitoring artificial canals with multiple SAR satellites: A case study of the Changge Canal of the South-to-North Water Diversion Project in China, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, volume 122, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.jag.2023.103449>

13. Nakov R., V. Kotzev, B.C. Burchfiel, R.W. King. Crustal motion in Bulgaria based on geological and GPS data, Reports on Geodesy, vol. 5/80, 2006
14. Nikolov H., Mila Atanasova-Zlatareva M., Establishing the surface deformations in the Sofia valley by means of SAR data, International Workshop on Geosciences in Active Areas (WGAAL), 16-20 October 2023, Arrecife-Lanzarote, Canary Islands, Spain
15. Ouchi, K., Recent Trend and Advance of Synthetic Aperture Radar with Selected Topics. Remote Sens. 2013, 5, 716-807. <https://doi.org/10.3390/rs5020716>
16. Solari L, Del Soldato M, Bianchini S, Ciampalini A, Ezquerro P, Montalti R, Raspini F and Moretti S., From ERS 1/2 to Sentinel-1: Subsidence Monitoring in Italy in the Last Two Decades, Front. Earth Sci. 6:149. 2018, doi: 10.3389/feart.2018.00149
17. Assur group, https://en.wikipedia.org/wiki/Assur_group , (посетен на 12.03.2024)
18. ESA SNAP, <https://step.esa.int/main/>, (посетен на 10.03.2024).

АДРЕСИ НА АВТОРИТЕ

1. Проф. д-р. Христо Николов
Институт за космически изследвания и технологии,
Българска академия на науките
Ул. „Акад. Г. Бончев“, бл.1,
1113 София, България
Тел: +359 2 9792458;
hristo@stil.bas.bg
2. Доц. д-р инж. Константин Методиев
Институт за космически изследвания и технологии,
Българска академия на науките
Ул. „Акад. Г. Бончев“, бл.1,
1113 София, България
Тел: +359 2 9792467;
komet@mail.space.bas.b
3. Проф. д-р инж. Мила Атанасова,
Национален институт по геофизика, геодезия и география
Българска академия на науките
Ул. „Акад. Г. Бончев“, бл 3,
1113 София, България
Тел. + 359 2 979 33 54;
mila_at_zl@abv.bg
4. Д-р инж. Иван Калчев
„ГЕО ПЛЮС“ ЕООД
бул. „Цар Борис III“ № 215
1618 София, България
Тел: +359885956312
ikaltchev@geoplus-bg.com.