

ГОДИШНИК НА СОФИЙСКИЯ УНИВЕРСИТЕТ „СВ. КЛИМЕНТ ОХРИДСКИ“

ГЕОЛОГО-ГЕОГРАФСКИ ФАКУЛТЕТ

Книга 2 – ГЕОГРАФИЯ

Том 113

ANNUAL OF SOFIA UNIVERSITY “ST. KLIMENT OHRIDSKI”

FACULTY DE GEOLOGIE ET GEOGRAPHIE

Livre 2 – GEOGRAPHIE

Volume 113

ИЗПОЛЗВАНЕ НА БЕЗПИЛОТНИ ЛЕТАТЕЛНИ СИСТЕМИ ЗА НАБЛЮДЕНИЕ НА ЛОНГОЗНИТЕ ГОРИ ПО ПОРЕЧИЕТО НА РЕКА ВЕЛЕКА

АЛЕКСАНДЪР ЯНАКИЕВ

*Катедра „Картография и ГИС“
e-mail: ayanakiev@gmail.com*

Alexander Yanakiev. APPLICATION OF UNMANNED AERIAL VEHICLES FOR MONITORING OF VELEKA RIVER LONGOZE FORESTS

Recent developments in UAVs and small scale mapping software have made the unmanned aerial vehicles a powerful tool for remote sensing of protected areas. The paper looks at the possibility to use mapping UAVs for the purpose of monitoring of longoze forests located in Strandja natural park, along Veleka river. It uses describes the process of acquiring and processing of images with UAVs for the purpose of monitoring of longoze forests and similar protected areas.

Key words: remote sensing, radiometry, UAV, photogrammetry.

УВОД

Миниатюризацията в областта на електрониката, развитието на системите и технологиите за глобално позициониране и в частност – появата на технологията Real Time Kinematics, позволяваща успешно позициониране със сантиметрова точност на движещи се обекти, доведе в началото на XXI в. до появата на принципно нов тип платформи за монтиране на сензори за дистанционните изследвания – безпилотните летателни системи (БЛС). Под „безпилотна летателна система“ в случая се имат предвид онези летателни ком-

плекси, които носят специализирани сензори за събиране на информация за решаване на важни за обществото задачи (Филипов 2016).

Ключово предимство на БЛС е възможността за осигуряване на информация за сравнително малка по площ територия с висока пространствена и времева разделителна способност¹. Това ги прави изключително подходящи за изследване на горите, особено на такива, разположени в територии с високо консервационно значение, каквито са природните и националните паркове, както и други, определени с Глава II на Закона за защитените територии.

Горите играят ключова роля в облекчаване на климатичните промени, запазване на биоразнообразието и опазване на водните ресурси и почвите. Поради тази причина наличието на актуална информация за произтичащите в тях процеси, получена по начин, позволяващ минимален контакт с екосистемите в тях, е от ключово значение за устойчивото им управление и опазване (Иванов 2014).

Целта на настоящото изследване е да представи възможностите за използване на безпилотни летателни системи за осигуряване на информация за изследване на екосистеми като лонгозните гори, разположени в територии с високо консервационно значение като природен парк „Странджа“.

ИЗТОЧНИЦИ НА ДАННИ

За целите на изследването е извършено едно заснемане с БЛС и многоканална камера Parrot Sequoia на 26.10.2019 г. Получени са съответно 936 и 1948 изображения за всяка от изследваните гори в описаните по-долу спектрални ленти. Горите, подлежащи на заснемане, са предварително идентифицирани с помощта на цифровия теренен модел (DEM), както и съответните картни листа на Цифровата ортофотокарта на Република България (ЦОФК), покриващи територията на ПП „Странджа“, поради невъзможността лонгозните гори да бъдат разграничени на базата на преки признаци за разпознаване като тон и текстура от другите гори, намиращи се на изследваната територия. Заснемането е осъществено в Red, Green, Red Edge и NIR канали с оглед на осигуряване на необходимата информация за генериране на цифров теренен модел и радиометрични индекси (NDVI), показващи състоянието на изследваната територия.

¹ Възможност за осигуряване на данни с GSD между 2 и 5 см и повторно изследване на територия в рамките на няколко часа, за разлика от спътниците за ДИ и пилотираните платформи.



Фиг. 1. В процес на калибриране на сензора на БЛС, личен архив на автора
Fig. 1. The process of UAV sensor callibration

ИЗСЛЕДВАНА ТЕРИТОРИЯ

Река Велека води началото си от няколко карстови извора в близост до турското село Ахлатлъ. По-голямата ѝ част до вливането в Черно Море при Синеморец протича на българска територия, по територията на ПП „Странджа“. Районът се характеризира с изразен континентално-средиземноморски климат. Наблюдава се есенно-зимен максимум на валежите и липса на устойчива снежна покривка (Асенов 2006). Среднодневните температури за Синеморец и долното течение на реката през 2018 г. са в диапазона 3–28 °С, с ясно изразен максимум през август². Общата дължина на Велека е 147 км. Реката извира северозападно от вр. Антепе на територията на Република Турция и тече на север. Образува речна система с голям брой първоразрядни притоци с перестообразен планов рисунък (Христова 2012). След вливането на р. Младежка (на 73 км от устието) долината на реката се разширява и наклонът рязко

² По данни на meteoblue.

спада. Тази част от долното течение на реката се характеризира с наличието на залесени заливни тераси, които в периода ноември–май периодично се заливат от речните води поради високото ниво на валежите и разликата в плътностите между речните води и водата в Черно море, правеща невъзможно оттичането на падналите валежи в морето, в резултат на което се образуват лонгозните гори, обект на настоящото изследване. Предвид факта, че територията на парк „Странджа“ е труднодостъпна и по времето на Студената война е била гранична между НАТО и ОВД³, на нея липсват крупни промишлени производства и други антропогенни фактори, оказващи влияние върху горите. Най-близките крупни промишлени производства, които биха могли да бъдат източник на замърсяване, което да окаже въздействие върху лонгозните гори, се намират на 70 км на север („Лукойл Нефтохим“ в гр. Бургас) от устието на р. Велека. Полетите за целите на дистанционните изследвания над част от територията на ПП „Странджа“, разположена на 5 км от граничната линия с Република Турция, се регулират от Спогодбата между Народна Република България и Република Турция от 1967 г. за избягване на граничните инциденти и запазване на граничните знаци, което прави невъзможно използването на БЛС на юг от р. Велека.

МЕТОДИ НА ИЗСЛЕДВАНЕ

Суровите данни от изследванията са обработени с Pix4D. От получените изображения съответно 12 и 32 за всяка от горите са изключени от процеса на обработка поради непригодност. Споменатият по-горе софтуерен пакет е предпочетен за целите на обработката на резултатите от заснемането поради възможността за цялостна фотограметрична обработка на данните от заснемането, съчетана с растерен калкулатор, позволяващ генериране на радиометрични индекси и проследяване на определени характеристики на изследвания обект в динамика. Алгоритъмът на работа на използвания програмен пакет съдържа следните стъпки:

Ориентиране на изображенията на местността и намиране на свързващи точки

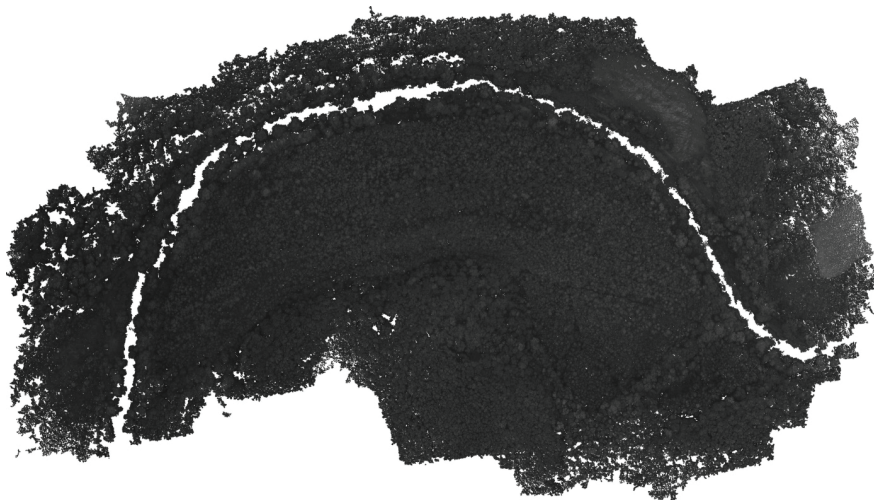
На този етап с помощта на информацията, съхранявана в EXIF файловете⁴ на изображенията и телеметричните данни на БЛС, изображенията се ориентират в пространството и се намират свързващи точки между изображенията с цел последващо формиране на стереодвойки, които да се използват при генериране на цифров теренен модел.

³ Организация на Варшавския договор.

⁴ Генерирани от сензора и съдържащи всички метаданни за изображението.

Създаване на облак от точки

На този етап от създадените стереодвойки изображения се създава триизмерен облак от точки, представляващ изследваната територия. Облакът от точки има същата пространствена ориентация, каквато и изследваната територия, и подлежи на редакция (премахване на ненужни за целите на конкретното изследване елементи като висока растителност, сгради и други) с оглед генериране впоследствие на модел на повърхността (DSM), теренен модел (DTM) или модел на превишенията (DEM).



Фиг. 2. Облак от точки на една от горите, обект на настоящото изследване
Fig. 2. Point cloud for one of the surveyed forests

Генериране на ортомозайка и модел на терена

На този етап с помощта на генерирания облак от точки се създава цифров модел на терена. В зависимост от това дали определени обекти (растителност, сгради, инфраструктура) са били изчистени при редакцията на облака от точки, е възможно генерирането както на модел на релефа (DTM), така и на модел на повърхността (DSM). DSM служат за инструмент за орторектификация⁵ на генерираната като краен продукт ортомозайка. Освен това, както и ортомозайката, DSM може да се обработва с различни софтуерни пакети, разполагащи с функционалности за сравняване на растери с оглед на наблюдение за евентуални изменения в земното покритие.

⁵ Привеждане към планарна проекция с цел последващо картографиране.

Генериране на индексни изображения

За целите на проследяване на изменението на състоянието на изследваните лонгозни гори се използва радиометричният индекс NDVI (Normalized Differential Vegetation Index).

NDVI (Rouse et al. 1973) се базира на отражателната способност на хлорофила в листната маса, в червената (RED) и близката инфрачервена (NIR) честотна лента на електромагнитния спектър. Появата му е в пряка връзка със спектралната разделителна способност на инструмента MSS (Multispectral scanner), монтиран на спътника ERTS (Landsat-1), изстрелян през юли 1972 г. и явяващ се първи цивилен спътник за дистанционни изследвания в света.

Стойностите му се изчисляват по описаната по-долу формула:

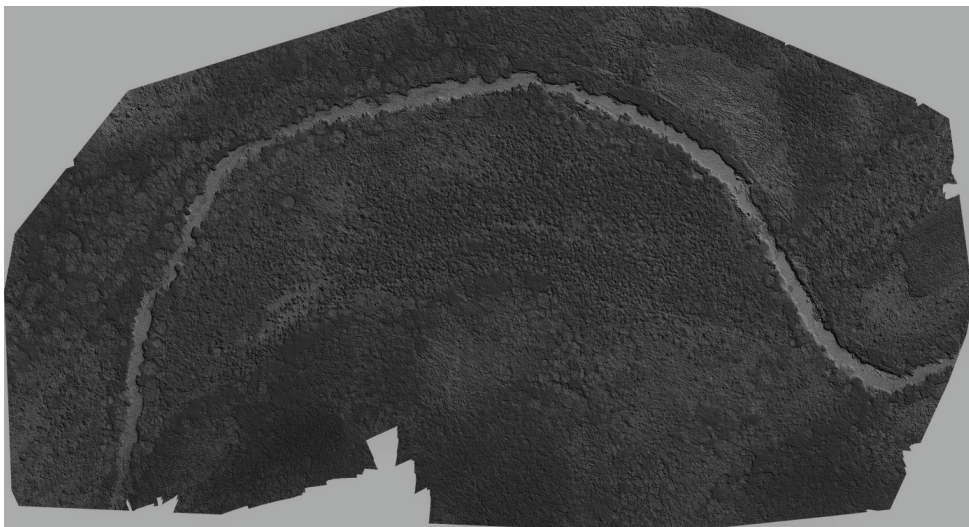
$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$

Изменя се от -1 до 1, като за растителността са характерни положителни стойности, чийто диапазон зависи от сезона и вида растителност. Високите стойности на индекса (близки до 1) предполагат наличието на голямо количество зелена листна покривка, резултат от нормалното протичане на процеса на фотосинтеза при здравите растения.

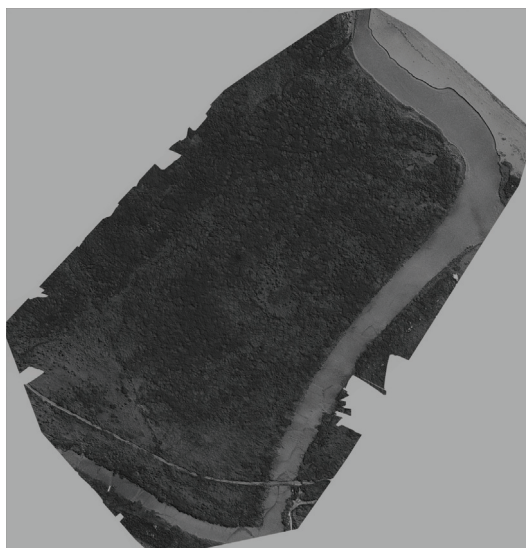
За целите на генериране на индексните изображения могат да се използват както ГИС софтуерни пакети, разполагащи с функционалности за растерна алгебра, така и софтуерни решения за фотограметрична обработка от типа на Pix4D или други, разполагащи с растерни калкулатори.

РЕЗУЛТАТИ

В рамките на изследването е извършено заснемане на две лонгозни гори по долното течение на р. Велека, намиращи се на устието на р. Велека и в близост до с. Бродилово, с помощта на БЛС Sencefly eBee, екипирана с многоканална камера Parrot Sequoia. Заснемането е осъществено едновременно в четири спектрални ленти, описани по-горе, и обработено с Pix4D. Генерирани са цифров модел на повърхността (DSM) и ортомозайка в червената и инфрачервената област на спектъра. На базата на генерираните ортомозайки и DSM са създадени индексни изображения за горите, базирани на индекса NDVI.



Фиг. 3. NDVI – лонгозна гора в близост до с. Бродилово
Fig. 3. NDVI – wetland forest near the village of Brodilovo



Фиг. 4. NDVI – лонгозна гора по устието на р. Велека
Fig. 4. NDVI – wetland forest near Veleka river estuary

ДИСКУСИЯ

От получените в резултат на заснемането данни е видно, че горите са в добро общо състояние, тъй като липсват резки колебания в индексните изображения, както и значителни разлики в текстурата. Повече детайли за състоянието на горите биха могли да се получат при подходящо цветово кодиране на NDVI. Както показват резултатите, БЛС дават възможност да се генерира набор от матери-

али, позволяващи детайлно изследване по дистанционен път на процесите, произтичащи в територии с висока консервационна значимост като националните и природните паркове. Наличието на данни с висока пространствена разделителна способност ($GSD < 1$ м) в RGB и NIR диапазоните на спектъра дава възможност и за изследване на вариациите на стойностите на радиометричните индекси в рамките на конкретен горски масив, включително и за проверка дали отделни части от масива не са нападнати от паразити (Dimitrov et. al. 2019), както и дали горите не са обект на антропогенно въздействие като незаконен дърводобив и др.

Предвид факта, че устието на р. Велека е встрани от орбитите на множество спътникови групировки, осигуряващи данни с висока разделителна способност като WorldView и Komsat, и осигуряването на спътникови данни изисква пренасочване(tasking) на спътник и води до значителни разходи⁶ за данни, както и предвид сравнително малката площ на изследваните обекти и особеностите на пилотираните полети за дистанционни изследвания в района на границата с Р. Турция, БЛС остават единствената алтернатива за осигуряване на пространствени данни за изследване на горите на територията на ПП „Странджа“ и в частност – тези по течението на р. Велека.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Извършеното заснемане и генерираните в резултат на него продукти показват, че БЛС са ключов инструмент за изследване на горските територии с високо консервационно значение, тъй като позволяват да се получи възможно най-пълна информация за тях с минимум присъствие на терен и без пряк контакт с намиращите се на територията екосистеми. Генерираните от БЛС продукти дават възможност да се проследи динамиката на развитие на изследваните горски територии по отношение на сезонните изменения в растителната покривка, екстремни климатични явления, нападения от паразити и антропогенни въздействия. Важно предимство на БЛС, подпомагащо оперативното вземане на решения по отношение на горските територии с високо консервационно значение, е и високата времева разделителна способност, характерна за БЛС. За разлика от орбиталните групировки за дистанционни изследвания и пилотираните полети близо до земната повърхност, при които времевата разделителна способност се колебае от 1 до 5 дни (за Sentinel 2), БЛС са способни да осигурят изцяло нов набор от данни с висока пространствена разделителна способност за изследваната територия в рамките на няколко часа.

ЛИТЕРАТУРА

- Асенов, А. (2006). Биогеография на България. София: Ан-Ди.
Иванов, И. (2014). Съвременни тенденции и методи за наблюдение и управление на горската растителност. – *Год на СУ, ГГФ*, т. 106, кн. 2 – География.

⁶ 49 долара за кв. км към момента на изследване (източник: cloudeo.store).

- Филипов, А. (2016). Използване на безпилотна летателна система за фотограметрични цели. – *Год на СУ, ГГФ*, т. 109, кн. 2 – География.
- Христова, Н. (2012). Речни води на България. София: Тип-топ прес.
- Dimitrov, S., G. Georgiev, P. Mirchev et al. (2019). Integrated model of application of remote sensing and field investigations for sanitary status assessment of forest stands in two reserves in West Balkan Range, Bulgaria. – Proc. SPIE 11174, Seventh International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2019), 1117404 (27 June 2019).
- Lillesand, T., R. Kiefer, J. Chipman. (2008). Remote Sensing and Image Interpretation, sixth edition. New Delhi: Wiley India.
- Rouse, J. W., Jr., R. H. Haas, J. A. Schell et al. 1973. Monitoring the vernal advancement green wave effect and retrogradation of natural vegetation. Prog. Rep. RSC 1978-1, Remote Sensing Center, Texas A&M Univ., College Station, 93 p., <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19730017588.pdf>, последно достъпен на 29.12.2019.
- Schowengerdt, R. (2007). Remote sensing, models and methods for image interpretation. Cambridge University Press.

SUMMARY

APPLICATION OF UNMANNED AERIAL VEHICLES FOR MONITORING OF VELEKA RIVER LONGOZE FORESTS

Recent developments in UAVs and small scale mapping software have made the unmanned aerial vehicles a powerful tool for remote sensing of protected areas. The paper looks at the possibility to use mapping UAVs for the purpose of monitoring of longoze forests located in Strandja natural park, along Velekariver. It is based on one aerial photo mission performed in October 2019 for two forests along Veleka river, between the estuary and the village of Kosti. During the mission both RGB and NIR imagery was acquired, in order to be used for generation of NDVI indices for both forests in order to monitor their health on the basis of chlorophyll reflection in RED and NIR parts of the spectrum. The chlorophyll is a product of the process of photosynthesis of the healthy vegetation. Photo mission results described in the article were processed with Pix 4D. The paper describes in details each step of the process beginning with the acquisition of imagery and ending up with the generation of the NDVI based index imagery, showing the condition of the forest, for subsequent mapping and interpretation. It guides the reader through the main steps of the process of photogrammetric processing, explaining each one of those and the role of the outputs in the forest mapping and monitoring process. On the basis of the photo mission processing results, the paper shows that the forests were healthy by the time of the aerial photo shoot. It compares the UAV and other platforms, carrying remote sensing sensors and argues that due to the high spatial and temporal resolution UAV remote sensing is an invaluable tool for monitoring of riverine forests and other conservation areas that are otherwise hard to reach and can easily be disturbed even by the researcher's presence on site. The reason for that is that UAV allows new photo mission in terms of hours, which unlike satellites and piloted remote sensing flights, gives the most detailed picture of the monitored site in both visual and NIR parts of the spectrum, without the need of a physical presence of the researcher in the respective area.