

ГОДИШНИК НА СОФИЙСКИЯ УНИВЕРСИТЕТ „СВ. КЛИМЕНТ ОХРИДСКИ“
ГЕОЛОГО-ГЕОГРАФСКИ ФАКУЛТЕТ
Книга 2 – ГЕОГРАФИЯ
Том 110

ANNUAL OF SOFIA UNIVERSITY “ST. KLIMENT OHRIDSKI”
FACULTY OF GEOLOGY AND GEOGRAPHY
Book 2 – GEOGRAPHY
Volume 110

ИЗПОЛЗВАНЕ НА БЕЗПИЛОТНА ЛЕТАТЕЛНА СИСТЕМА В АРХЕОЛОГИЧЕСКИ ИЗСЛЕДВАНИЯ

АНТОН ФИЛИПОВ

Катедра Картография и географски информационни системи

Anton Filipov. APPLICATION OF UNMANNED AIR SYSTEM IN ARCHEOLOGICAL RESEARCH

The rapid development of the instrumental segment of geospatial technology continuously expands the range of possible applications. This process is particularly well experienced in the field of archaeological practice. Using of existing at the time of preparation of this paper hardware (aircraft equipment and sensors) and software (software for image processing) had been conducted at test mapping of an archaeological reserve “Deultum”. On the basis of the generated products – digital orthophoto-map, digital model of surface and a map of the distribution of vegetation index (NDVI), was derived information on the spatial location of the potential undiscovered objects. It is recommended before starting a physical control to repeat mapping for confirmation of eventual results, obtained for the position of undiscovered archaeological structures.

Key words: remote sensing, archeological research, unmanned aerial system.

Едно от значимите по своята популярност приложения на безпилотна летателна система (БЛС) е в областта на т.нар. неструктивни археологически проучвания. Това се обуславя от няколко фактора: *a* – появата на пазара на геоинформационните технологии на високотехнологични средства за придобиване на пространствена информация за индивидуално приложение; *b* – възможност за прилагане на тези технологии в избран времеви и пространствен аспект; *v* – възможност за заснемане в различни участъци от електромагнитния спектър и извличане на специализирана информация. Всичко това превърна БЛС в неотменим инструмент на изследователски подход за много научни направления с интерес към пространствено обособени обекти и явления.

Настоящото проучване се отнася към опитите за методическо изясняване на приложимостта на БЛС в археологическите проучвания чрез заснемане на Национален археологичен резерват „Деултум“. Заснемането е осъществено през м. септември 2014 г. като част от оперативните и тестови заснемания от екип на Университетския център за въздушно наблюдение (УЦВН) при СУ „Св. Климент Охридски“.

НАР „Деултум“ е разположен в землището на с. Дебелт, източната част на община Средец, обл. Бургаска, непосредствено на север от път 79 Елхово-Бургас, на площ от около 1,2 km². Територията на резервата е ниско-хълмиста с максимална денивелация от 42 m, покрита преобладаващо с тревна и отчасти с нискостеблена и храстовидна растителност с височина до 4 m. През територията на резервата преминават две трасета на електроразпределителната мрежа с височина на стълбовете от контактната мрежа 8 m. Сградите, в които се помещава управлението на резервата, са разположени в най-ниската южна част и са с височина до 5 m. Тази обстановка позволява осъществяването на полети с БЛС без загуба на пряка видимост с летателния състав.



Фиг. 1. Изглед от високата част на НАР „Деултум“

Fig. 1. View from the high part of National Archeological Reserve “Deultum”

На територията на НАР „Деултум“ по време на заснемането се осъществяваха археологически проучвания в няколко площадки, като основната част от разкрити обекти се локализира в югозападната част в единствената социализирана площадка от резервата към септември 2014 г.

Основна задача при тестовото заснемане на археологически обект НАР „Деултум“ бе получаване на 3 продукта: RGB ортофото-карта с пространствена разделителна спо-

способност не по-ниска от 0,1 m.; цифров модел на подстиращата повърхност с пространствена разделителна способност не по-ниска от 1,0 m; тематична карта като индекс на растителната покривка (NDVI) с пространствена разделителна способност не по-ниска от 0,2 m. Информацията, извлечена от тези продукти, се използва както за различни геометрични дейности, така и за предварително насочване към потенциално-интересни от археологическа гледна точка места като част от т. нар. неинвазивни методи за археологически проучвания.

Изборът на *основен тип летателен състав* в този случай на тестово заснемане се определя от няколко фактора: размери на предвидената за заснемане територия, очакваната пространствена разделителна способност на заснемане, както и наличната летателна техника и полезен товар в УЦВН, а именно: летателен апарат тип „фиксирано крило“ Skywalker-X8.

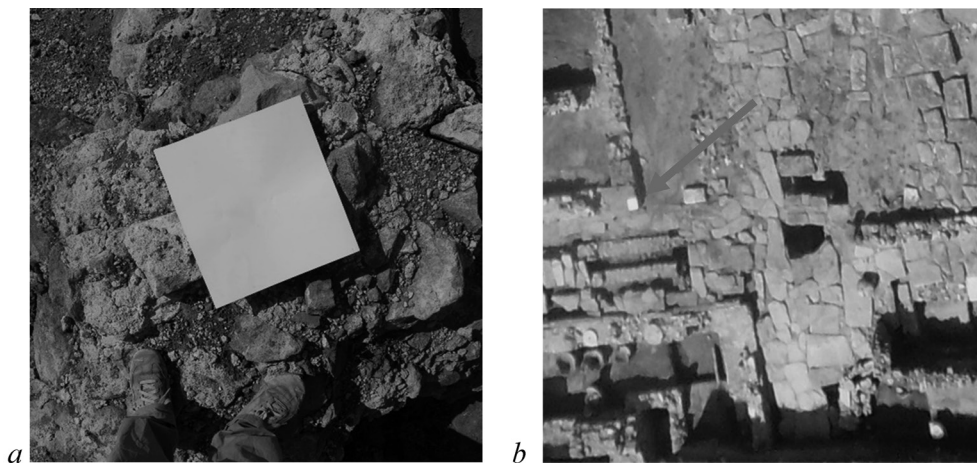
Сензорите, които бяха използвани за заснемането, включваха следните модели: SONY NEX 5R за заснемане на RGB-изображения и комплект от две преоборудвани цифрови фотокамери SAMSUNG S25 за получаване на изображения в червената (600–700 nm) и близката инфрачервена (700–900 nm) зона от електромагнитния спектър. Общото полетно тегло на летателния състав (летателен модел, акумулатори, полезен товар и парашут е 3,95 kg).

Камералният етап от задачата по заснемане на НАР „Деултум“ включваше както стандартните процедури при подготовката на заснемане, така и получаването на необходимата оторизация както при всяка друга археологическа дейност. За разлика от подготовката за заснемане с БЛС на други обекти, заснемането на археологически



Фиг. 2. Летателният състав на БЛС в подготовка за полет над НАР „Деултум“

Fig. 2. Aircraft as a part from UAS in preparation for flight over NAR “Deultum”



Фиг. 3. Поставяне на маркер за наземна контролна точка (а) и неговото изображение от височината на полет (b)

Fig. 3. Placing on ground control point (a) and its image from altitude of flight (b)

обекти се съпровожда от редица съгласувателни и разрешителни документи от НАИМ при БАН и Министерството на културата. Този режим на планиране и извършване на полеви археологически дейности е насочен основно към ограничаване на иманярството, но има и структуриращ ефект по отношение на цялостната археологическа дейност за територията на България.

Полевият етап от тестовото заснемане започва с изграждането на мрежата от наземни контролни точки за района на НАР „Деултум“. Предвидено бе да се използват маркерите, поставени при аерофото-заснемането от 2004 г. (лит. източник). За жалост тези маркери не бяха открити, което наложи изграждането на нова мрежа от временни контролни точки – общо 5 броя. Като маркер за контролна точка беше използван бял картонен лист с размери 0,4×0,4 m.

Прецизното заснемане на наземните контролни точки бе осъществено с диференциален GPS, модел Leica SR20.

Разработеният летателен план за заснемане на територията предвиждаше 6 прелитания на височина 200 m над точката на стартиране на полета със скорост 12 m/s. Този летателен план се изпълнява с избрания летателен модел за около 10 min плюс времето за набор на височина, полет по маршрута и приземяване.

Основната посока на прелитане над територията бе определена съобразно посоката на преобладаващия ветрови поток непосредствено преди осъществяване на полет. Трябва да се има предвид, че в определени метеорологични ситуации може да се наблюдава значителна промяна на скоростта и посоката на вятъра във височина. В случая ветровият поток бе ориентиран от изток в състава на умерена бризова циркулация и наличие на слаба конвективна облачност.



Фиг. 4. Летателен план, използван за заснемане на НАР „Деултум“

Fig. 4. Flightplan used to capture NAR “Deultum”

Осъществяването на основната цел на заснемането и наличната заснемаща апаратура наложи извършването на няколко полета по разработения маршрут. В случай, че се налага неколкостранно повтаряне на полета, се препоръчва полетите да са с ограничена продължителност и да се осъществяват непосредствено един след друг, за да се избегне значително изменение на посоката и ъгъла на слънчевите лъчи към земната повърхност. Нормалното функциониране на сензорите позволи получаване на 151 индивидуални RGB-изображения със SONY NEX 5R и 98 IR-изображения със SAMSUNG S25 в два отделни последователни полета с необходимото надлъжно и напречно престапване.

Генерирането на трите предвидени продукта се осъществи със специализирани софтуерните пакети, както следва:

1. Генериране на цифрова ортофото-карта: При обработката в три последователни стъпки е осъществен алгоритъм за подравняване, съединяване и геопривързване на



Фиг. 5. Последователно заснети RGB-изображения над НАР „Деултум“

Fig. 5. Successively captured RGB images over the NAR “Deultum”

заснетите изображения. При всяка стъпка се въвеждат съответни корекции, съобразно предварителното задание. Важен етап в обработката е разпознаването на маркерите на наземните контролни точки в отделните изображения. Ето защо изборът на размер на маркерите е от съществено значение. Препоръчително е размерът да е така избран, че маркерът да се вижда с поне 5 самостоятелни пиксела в изображението. Това може да се постигне като се следи показанието на служебна информация в съответното поле на софтуера за съставяне и контрол на полета на летателния състав. Знаейки величината на пиксела, който следва да се постигне (по предварителното задание), и типа на заснемащата апаратура, се определя височината на полета. Обикновено заснемането се извършва при височина на полета, гарантираща получаването на изображения с по-висока пространствена разделителна способност от предвидената в заданието. Така например, при зададена ПРС от 0,1 m, полетите се осъществяваха на височина 200 m, при което се получиха изображения с ПРС 0,063 m. Следва да се има предвид, че в процеса на обработка при осъществяването на орторектификацията (отстраняване на ефекта на ъгъла на заснемане спрямо нормалата към земната повърхност) ПРС може да намалее.

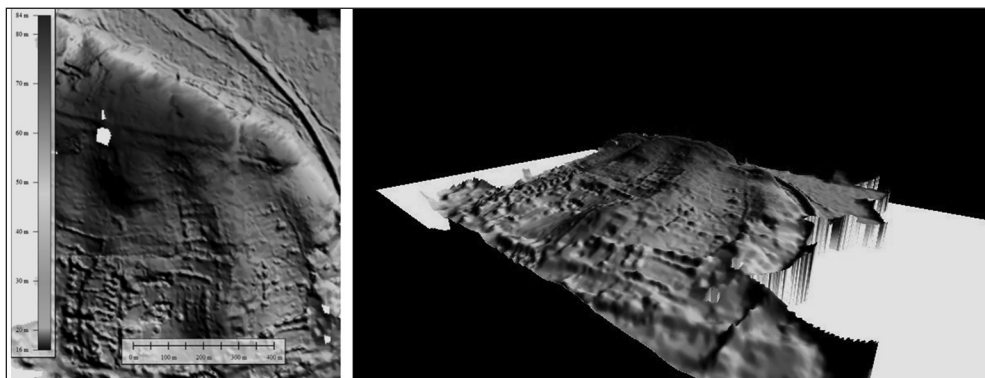
RGB ортофото-картата на НАР „Деултум“ е предназначена главно за документиране на актуалните площадки на археологически разкопки, както и на други обекти от територията на резервата, в единна база от данни, но дава възможност и за различни геометрични анализи. Препоръчително е заснемането на територията на археологическите площадки и генериране на RGB ортофото-карта в карта на всеки сезон, което ще представи динамиката и посоката на полевите проучвания.

2. Генериране на цифров модел на повърхността. Това генериране от 2-мерни изображения по метода “Computer Vision” дава възможност за получаване на 3-измерна представа за формите на релефа и отделните обекти в единното географско пространство.



Фиг. 6. RGB ортофото-карта на НАР „Деултум“ (ляво) и фрагмент в оригинална ПРС (0.069 m)

Fig. 6. RGB orthofoto-maps of the NAR “Deultum” (left) and a fragment in the original spatial resolution (0.069 m)



Фиг. 7. Цифров модел на повърхността на НАР „Деултум“ (ляво) и 3Д-изглед от югоизток (дясно)

Fig. 7. Digital Surface Model (DSM) of the NAR “Deultum” (left) and 3D view from the southeast (right)

Освен по-едрите релефни форми, видими на цифровия модел на повърхността, интерес може да представлява и възможността за прецизно изчисляване на обема на изкопи, насипи и др. Това обаче изисква по-голям брой наземни контролни точки или използване на специализиран режим за пространствено ориентиране на летателния апарат RTK (Real Time Kinematic) при заснемането с БЛС. Друго възможно приложение на генерирането на прецизен модел на подстилащата повърхност/релефа е това за идентифициране на микрорелефни маркери (с височина от няколко сантиметра). Това обаче е възможно само за територии без земеделска дейност (каквато е случая с НАР „Деултум“) и в периода преди израстване на тревната покривка.

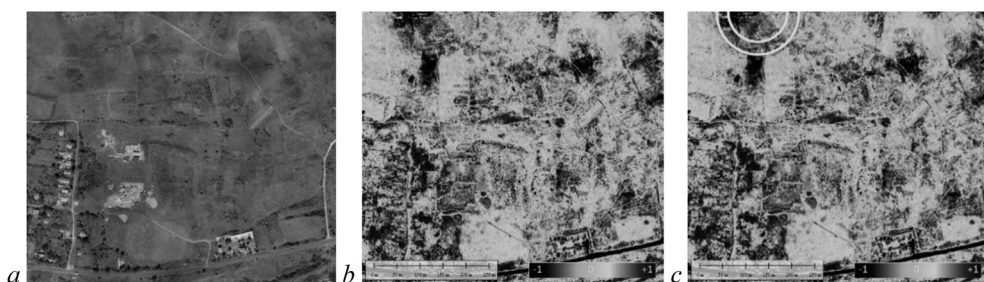
3. Генериране на индекс на растителната покривка (NDVI). Възможността за генериране на индекс на растителната покривка е може би най-интересното приложение на безпилотна летателна система в областта на археологическите неструктивни проучвания. Смисълът на този индекс се състои във възможността за откриване на пространствени нееднородности в състоянието на еднотипна растителна покривка като доказателство/предположение за наличие на неразкрити структури под земната повърхност. Наличието на такива структури с антропогенен произход променя в известна степен химизма на почвения слой, което може да се отрази върху състоянието на растителността. Възможността за прилагане на този метод се ограничава главно от две условия: прилагане на метода върху територия с еднотипна растителна покривка; генериране на NDVI в строго специфични фенологични фази на съответната растителна покривка. И ако първото условие е изпълнимо и при сателитните или аерофото-заснемания, то възможността за заснемане в строго определена фенологична фаза (до няколко дена) показва безспорно предимство на безпилотната летателна система. Заснемането с БЛС може да се организира в точно определен момент за получаване на възможно най-добри резултати.

В конкретния случай заснемането на НАР „Деултум“ се осъществи през м. септември – определено не най-подходящия период за генериране на NDVI, но това бе съобразено с графика и възможностите на екипа на УЦВН.



Фиг. 8. Последователно заснети IR-изображения над НАР „Деултум“
 Fig. 8. Successively captured infrared (IR) images over the NAR “Deultum”

След обработка на получените изображения от 2-каналната електрооптична система е генерирана тематична карта като NDVI. Във връзка с по-трудното откриване на маркерите на наземните контролни точки, геореферирването на IR-изображения се осъществи по метода “image to image” чрез вече генерираната ортофото-карта на НАР.



Фиг. 9. Тематична карта като NDVI на част от НАР „Деултум“:
a – RGB-изображение; *b* – NDVI-изображение; *c* – NDVI-изображение с нанесени позиции на потенциални кръгови структури

Fig. 9. Thematic map like the NDVI of a part of the NAR “Deultum”
a – RGB-image; *b* – NDVI-image; *c* – NDVI-image with positions of potential circular structures

Цветовото кодиране на тематичната карта като NDVI може да подпомогне визуалното откриване на пространствени нееднородности в състоянието на растителната покривка. На фона на добре очертаните пътища, пътеки, сгради и актуални археологически разрития, без да претендираме за категоричност, от пространствения анализ на тази карта би могло да се приеме за наличие на интересни кръгови структури в северозападната част на територията, попаднала в изображението. Това биха могли да бъдат неразкрити археологически структури на малка дълбочина под повърхността. Потвърждение за такива структури може да се докаже след повторното заснемане в друг сезон и едва тогава да се пристъпва към изкопни археологически дейности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Бързото развитие на инструменталния сегмент на геопространствените технологии непрекъснато разширява кръга от възможните им приложения. Този процес особено добре се забелязва при полевата археологическа практика. Чрез използване на наличните към момента на подготовка на тази разработка хардуерни (летателна техника и сензори) и софтуерни (специализиран софтуер за обработка на изображения) данни беше осъществено тестово заснемане на археологически резерват „Деултум“. От генерираните продукти – цифрова ортофото-карта, моделна повърхността и карта на разпределението на растителния индекс NDVI, е извлечена информация относно пространственото разположение на потенциално неразкрити обекти. Препоръчително е преди започване на контролни изкопни работи да се повтори заснемането и евентуално да се потвърдят получените резултати за позицията на неразкритите археологически обекти.

SUMMARY

The rapid development of the instrumental segment of geospatial technology continuously expands the range of possible applications. This process is particularly well experienced in the field of archaeological practice. Using the experience of the University Air Surveillance Center at the Sofia University “St. Kliment Ohridski”, was used Unmanned Air System (UAS) for testing over National Archaeological Reserve “Deultum”.

Based on the generated products – digital orthophotography in the visible and infrared section of the electromagnetic spectrum, digital surface model, and map distribution of the vegetation index (NDVI), information on the spatial location of potential undiscovered objects was obtained. This is possible on the basis of analysis of the method of “vegetation markers” – established spatial heterogeneities in the state of a vegetation cover. It is recommended to repeat the mapping before starting a physical control to confirm the results, obtained for the position of undiscovered archaeological structures.

ЛИТЕРАТУРА

- Филипов, А. 2014. Безпилотната летателна система – новият инструмент за набиране на географска информация. – *Год. на СУ, ГГФ, книга 2 – География*, 105.
- Филипов, А., Л. Цанков. 2014. Използване на безпилотна летателна система за оценка на радиационна обстановка. – *Год. на СУ, ГГФ, Книга 2 – География*, 106.
- Филипов, А. 2017. Използване на безпилотна летателна система за фотограметрични цели. – *Год. на СУ, ГГФ, Книга 2 – География*, 109.
- Lingua, A., Marenchino, D., Nex, F. 2009. Automatic digital surface model (DSM) generation procedure from images acquired by Unmanned Aerial Systems. *Proceedings of GeoCad, Alba Iulia, Romania*.
- Zhou, G. 2009. Near Real-time orthorectification and mosaic of small UAV video flow for time-critical event response. – *IEEE Trans. geoscience and remote sensing*, 47(3), 739–747.

Постъпила април 2017 г.