

ПРИЛОЖЕНИЕ НА СПЕЦИАЛИЗИРАНА БЕЗПИЛОТНА СИСТЕМА SENSEFLY eBee AG ЗА КАРТОГРАФИРАНЕ И ОЦЕНКА СЪСТОЯНИЕТО НА ЦАРЕВИЧНИ ПОСЕВИ С РАЗЛИЧНА НОРМА НА ТОРЕНЕ

Георги Желев¹, Евгения Руменина¹, Монко Нанков², Петър Димитров¹, Илина Каменова¹,
Венета Кръстева³, Илияна Илиева¹, Йордан Найденов¹

¹Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките

²Институт по царевичката – Кнежа, ССА

³Институт по почвознание, агроекология и растителна защита „Н. Пушкин” – ССА
e-mail: gjelev@space.bas.bg

Ключови думи: дрон senseFly eBee Ag, земеделие, царевични посеви, картографиране, NDVI

Резюме: В настоящата статия са представени резултатите от проведения на 09.07.2015 г. полев експеримент за картографиране на състоянието на посеви от царевични хибриди Кнежа-517 и Кнежа-435 съответно група по ФАО - 500-599 и 400-499, при различни норми на торене с използване на данни от специализираната безпилотна система за въздушно картографиране senseFly eBee Ag. Съставената карта, получена на базата на NDVI изображение генерирано по данни от камерата NIR/eBee AG, отразява различията в състоянието на царевичните посеви отглеждани в опитните площадки при условия без торене и при извършено минерално торене. Състоянието на посеви от царевичка е определено в четири степенна скала – лошо, средно, добро и много добро. Отделен е и самостоятелен клас почва. За определяне на реалното състояние на царевичният посев в две от опитните площадки синхронно с въздушното заснемане с БЛА eBee Ag са извършени полев наблюдения и измервания. Данните от тях потвърждават определените чрез прагови стойности на NDVI състояния на царевичните посеви в изследваните опитни площадки.

На основата на положителните резултати получени от проведения експеримент може да се разработи методика за извършване на оперативен мониторинг на състоянието на царевични посеви със специализираната безпилотна система за въздушно картографиране SenseFly eBee Ag.

APPLICATION OF SPECIALIZED UNMANNED SYSTEMS SENSEFLY eBee AG FOR MAPPING AND EVALUATION OF MAIZE CROP STATE WITH DIFFERENT FERTILIZING RATE

Georgi Jeleв¹, Eugenia Roumenina¹, Monko Nankov², Petar Dimitrov¹, Iliana Kamenova¹,
Veneta Krasteva³, Iliana Ilieva¹, Yordan Naydenov¹

¹Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences

²Maize Research Institute – Kneja, Agricultural Academy, Bulgaria

³The Institute of Soil Science, Agro-Technology and Plant Protection “Nikola Pushkarov”,
Agricultural Academy, Bulgaria
e-mail: gjelev@space.bas.bg,

Key words: unmanned aerial vehicle, senseFly eBee Ag, agriculture, maize, mapping of crop state, NDVI

Abstract: This paper presents results from a field experiment carried out on July, 9th 2015 for mapping the state of maize cultivars Knezha-517 and Knezha-435 (FAO groups 500-599 and 400-499 respectively), grown at different fertilizing rates, using data from the specialized unmanned aerial vehicle (UAV) - senseFly eBee Ag. The generated map is based on NDVI image, acquired from the NIR/eBee Ag camera data, and depicts the differences in the state of maize crops grown on test plots with and without fertilizer. The state of the maize crop is characterized using a four-level scale – poor, satisfactory, good, and very good. Bare soil is mapped as separate class. In order to determine the actual state of the maize crops in situ measurements and observations

were performed simultaneously with the aerial image acquisition on two of the test plots. The data from these measurements match the crop state determined by the NDVI threshold values of the four-level scale.

Based on these results a methodology for operational monitoring of maize crops state can be developed using the specialized UAV senseFly eBee Ag.

Използването на безпилотни летателни апарати (*дронове*) все повече навлиза в полевите дистанционни изследвания. Те са много полезни при заснемане на изследваните обекти поради малките размери, висока оперативност и получаване на бързи и надеждни резултати. Наличието на камери, заснемащи както във видимата, така и в близката инфрачервена област на електромагнитния спектър дават възможност за регистриране на състоянието на земеделски посеви. За постигане на устойчиво земеделско производство съществена роля играят агротехническите фактори (*обработка, норма на минерално торене, вида на предшественика, напояване и др.*), като основни звена на технологиите за производство. Залагат се опити за изследване на влиянието на тези фактори върху развитието на земеделските култури. Най-често големината на парцелите които се използват за залагане на опитите е малка, в някои случаи и под 50 m². За количествена и качествена оценка на развитието на посевите се използват предимно методите за наземно точково измерване. Като допълнителен компонент за тази оценка могат да се използват специализирани безпилотни системи за въздушно картографиране. Такава система тип *senseFly eBee Ag* е използвана по време на проведения на 09.07.2015 г. полеви експеримент на територията на опитното поле на Института по царевицата - гр. Кнежа (*Фиг. 1.*). Системата включва безпилотен летателен апарат (БЛА), две камери и програмно осигуряване за планиране на полета и обработка на снимките, получени по време на картографирането.

Целта на полевия експеримент е да се картографира и направи оценка на състоянието на посеви от царевица при различни норми на торене с използване на данни от специализираната безпилотна система за въздушно картографиране (*СБСВК*) *senseFly eBee Ag*

Методологията на провеждане на полевия експеримент включва следните етапи на работа:

- ✓ Избор на опитни полета и площадки;
- ✓ Планиране и заснемане със *СБСВК senseFly eBee Ag* на опитното поле на Института по царевицата - гр. Кнежа;
- ✓ Провеждане на наземни изследвания и наблюдения на реалното състояние на царевичните посеви;
- ✓ Обработка на получените от камерата *NIR/eBee Ag* изображения;
- ✓ Генериране на индексни карти;
- ✓ Картографиране и анализ на данните в среда на *ArcGIS*;
- ✓ Верифициране на съставените оценъчни карти с наземни данни.

Обект на изследване

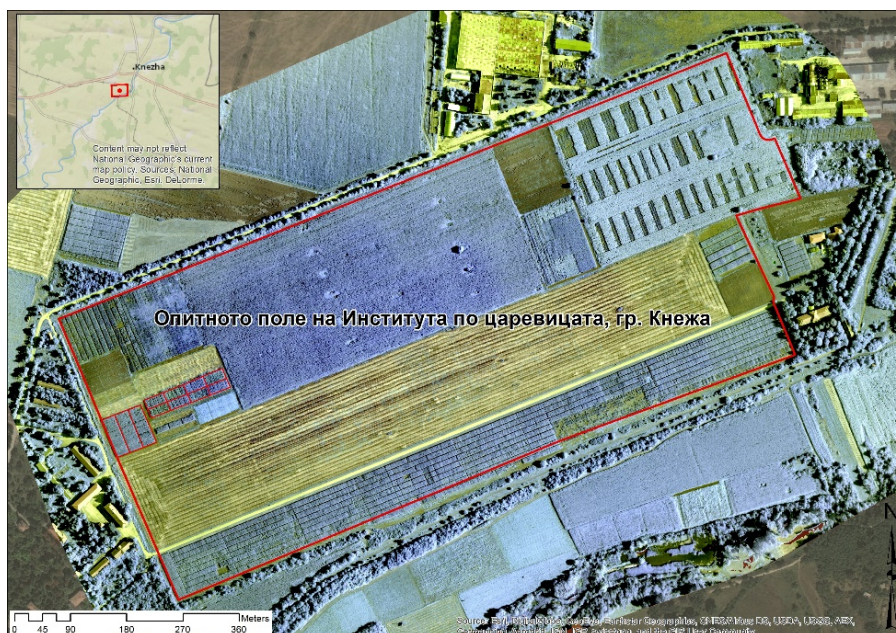
Обект на изследване са две опитни полета засети с царевица за зърно, разположени на територията на Института по царевицата, гр. Кнежа (*Фиг. 1.*). На поле 1 в опитните площадки (*ОП*) от 1 до 8 (*Фиг. 2.*) царевицата се отглежда като монокултура от 54 години. През 2015 г. те са засети с царевичен хибрид *Кнежа-435*, група на зрялост по *ФАО* – 400-499 [6]. Опитът е заложен по блоковия метод в 4 повторения на почвен тип типичен чернозем, при неполивни условия, в два варианта:

- при условия без торене – ОП 2, 3, 6 и 7;

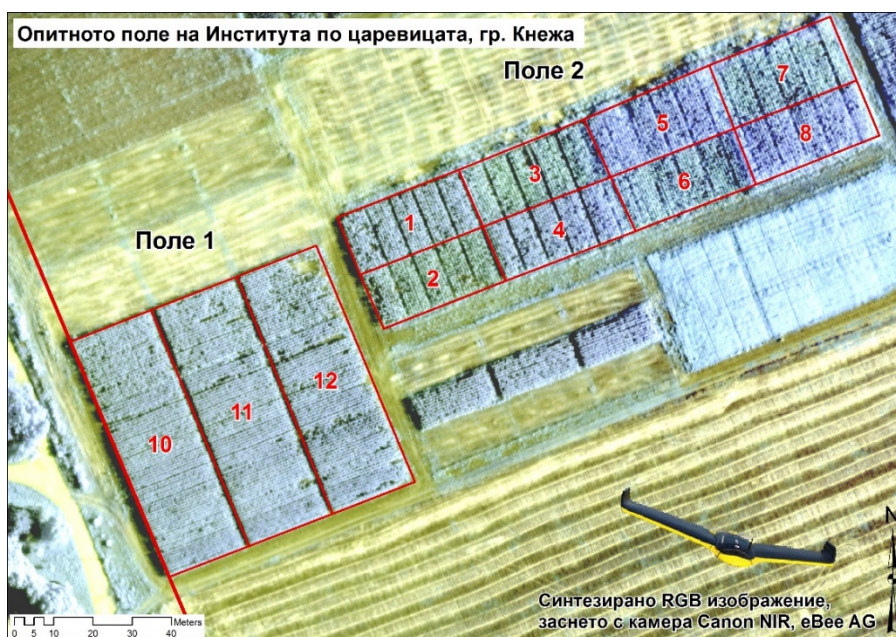
- при извършено минерално торене с торова норма $N_{10}P_{10}$ килограма активно вещество на декар – ОП 1, 4, 5 и 8. (*Фиг. 2.*)

На поле 2 в опитните площадки от 10 до 12 (*Фиг. 2.*) се отглежда царевичен хибрид *Кнежа-517* от група на зрялост по *ФАО* - 500-599 с предшественик овес и еднаква гъстота на посева. Сеитбата е проведена на 27.04.2015 г., три дни по-късно от тази на поле 1. И за двете полета сеитбената норма е една и съща. На трите ОП – 10, 11 и 12 царевичният посев е отглеждан при три различни норми на торене, съответно - $N_9P_7K_7$ kg dka⁻¹, $N_{12}P_9K_9$ kg dka⁻¹, $N_{15}P_{11}K_{11}$ kg dka⁻¹.

Торенето с фосфор и калий е извършено през есента на 2014 г. Азота е внесен през пролетта преди последното култивиране (20.02.2015 г.) под форма на амониева селитра. Сеитбата на царевицата е извършвана в оптималните агротехнически срокове за района на 24.04.2015 г. при сеитбена норма - 5 000 растения на декар и широчина на междуредието 70см.



Фиг. 1. Район на изследване



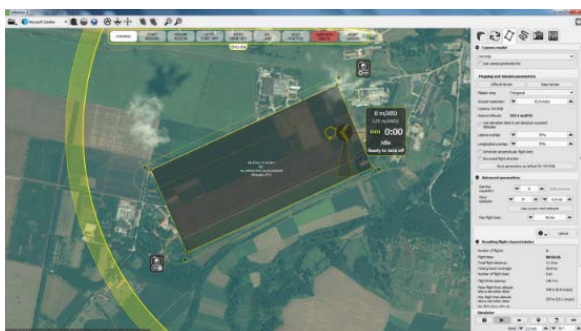
Фиг. 2. Опитни площадки на които е проведен експериментът

Планиране и заснемане със СБСВК *senseFly eBee Ag*, на опитното поле на Института по царевицата - гр. Кнежа

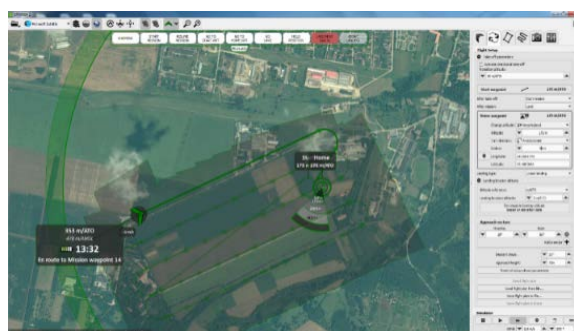
Преди да се извърши самото заснемане с NIR/eBee Ag на опитното поле на Института по царевицата - гр. Кнежа е съставен план на полета и е проведена симулация. Използван е софтуерният продукт *eMotion 2* за планиране и симулиране на полета (Фиг. 3 и 4). Това става в няколко стъпки [4]:

- ✓ Задава се видът на камерата – S110 NIR;

- ✓ Определя се мястото на пускане на дрона – стартова позиция и точка на приземяване (*на терена дрона автоматично се позиционира и определя своята стартова позиция чрез вградената си GPS*);
- ✓ Изчертава се полигонът на заснемане и се определят неговите параметри;
- ✓ Задава се желаната пространствената разделителна способност на изображенията – 10 cm/пиксел, като автоматично се изчислява височината на полета на базата на техническите характеристики на камерата – 286,1 m;
- ✓ Определя се в проценти застъпването на снимките в двете посоки – 70%;
- ✓ Симулира се посока и скорост на вятъра като се задават съответно в градуси и m/s (*на терена скоростта и посоката на вятъра се определят автоматично*);
- ✓ Задава се максималното време на полета (*то зависи от живота на батериите и е до 40 min*);
- ✓ Задава се обхват на радиомодема – 2 500 m;
- ✓ Определя се посока и ширина на сектора за приземяване в градуси;
- ✓ Задават се рестрикции при аварийни ситуации;
- ✓ Симулира се полетът и се преглежда генерираният рапорт;
- ✓ Записва се мисията за качване(зареждане в паметта) на дрона преди полета на терен.



Фиг. 3. Прозорец от програмата eMotion 2 при задаване на параметрите на полета



Фиг. 4. Симулация на полета в eMotion 2

Табл. 1. Техническа спецификация на камерите Canon [4]

Пространствена разделителна способност		12 Mp		
Пространствена разделителна способност на 100 m		3.5 cm/pixel		
Размер на сензора (CCD матрицата)		7.44 x 5.58 mm		
Разстояние между елементите на сензора		1.33 μm		
Формат на изображението		JPEG и/или RAW		
Камери и спектрални канали	Canon, RGB		B – blue (450 nm)	
			G – green (520 nm)	
			R – red (660 nm)	
	Canon, NIR		G – green (550 nm)	
			R – red (660 nm)	
			NIR – near-infrared (850 nm)	

От двете налични камери – Canon/RGB и Canon/NIR (Табл. 1.) за заснемането на района е избрана камерата Canon, NIR/eBee Ag поради наличието на близък инфрачервен канал, подходящ за определяне на състоянието на растителността и генериране на индексни изображения – NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) и SAVI (*Soil Adjusted Vegetation Index*).

След провеждане на заснемането са получени 81 бр. сурови (*необработени*) изображения, заснети с камерата NIR/eBee Ag на 09.07.2015 г. (Фиг. 5.) от района на изследване (*опитното поле на Института по царевицата - Кнежа*).

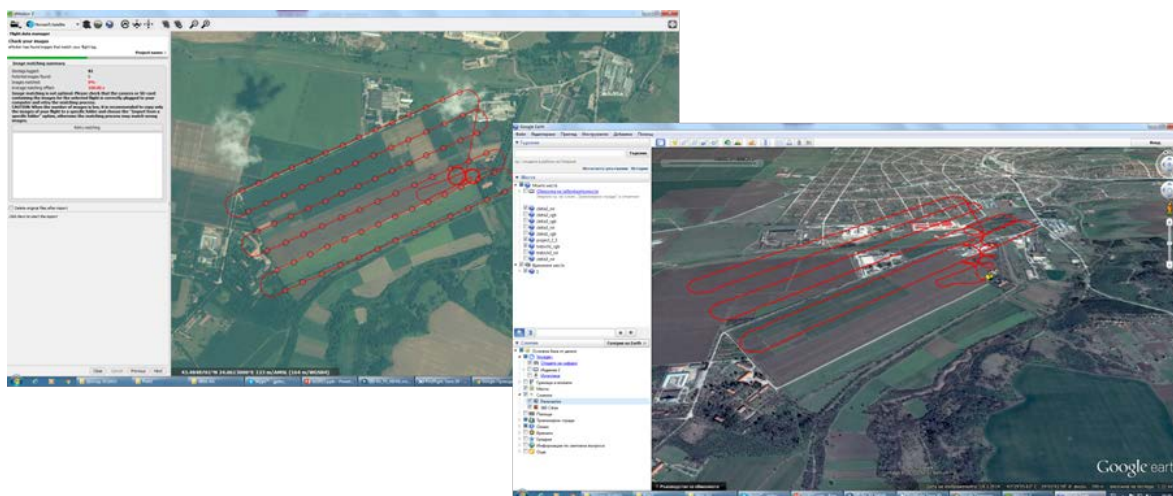


Фиг. 5. Единично сурово (необработено) изображение от камерата NIR/eBee Ag, заснето на 09.07.2015 г.

Обработка на получените от камерата NIR/eBee Ag изображения

Получените от камерата NIR/eBee Ag 81 броя изображения са подложени на първична обработка.

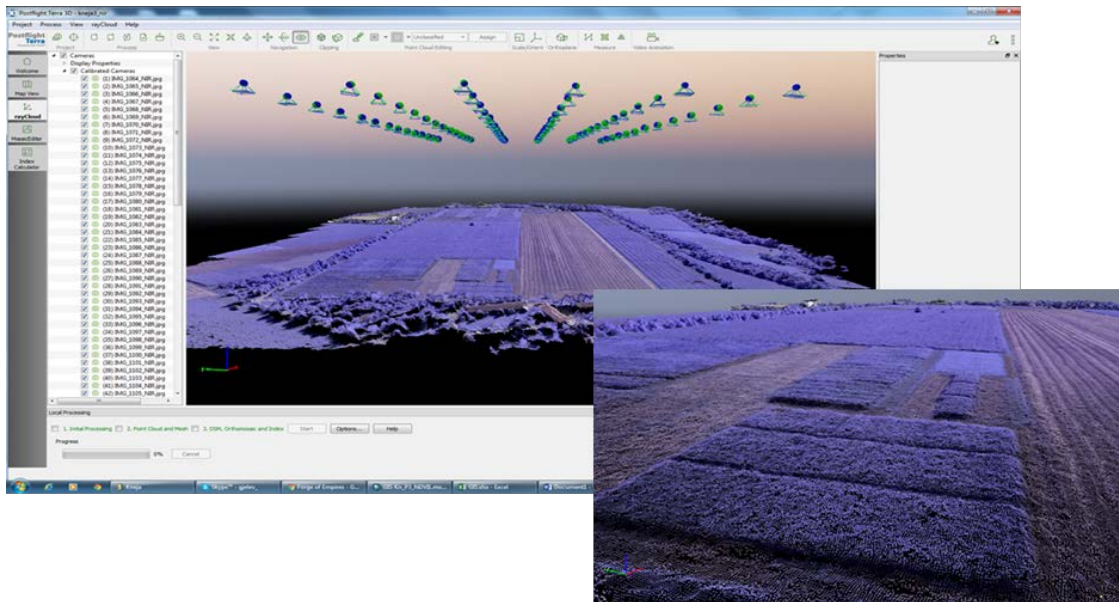
Първата стъпка е подготовка на изображенията и свързването им с данните от GPS на дрона, което се извършва със софтуера *eMotion 2*. Те са геореферирани по данните от бордовия GPS в координатна система UTM зона 35, датум World Geodetic System (WGS) 1984. Като рапорт се дава за реалното трасе на полета експортирано в *kml* формат в *Google Earth* (Фиг. 6).



Фиг. 6. Прозорци от програмата *eMotion 2*, където се геореферират изображенията и от *Google Earth*, където се вижда реалното трасе на полета

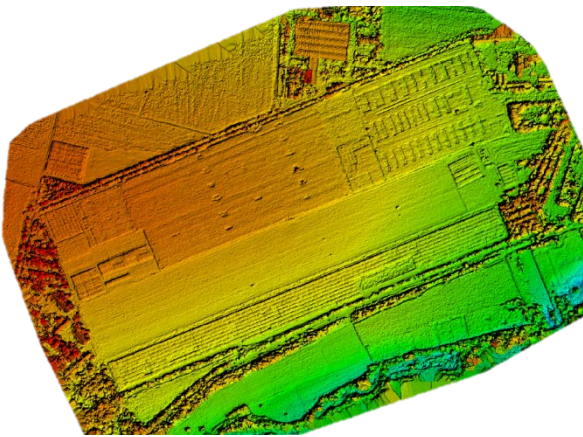
Следващите стъпки от обработката се извършват изцяло в програмата *Postflight Terra 3D* и са:

- ✓ Орторектифициране и генериране на мрежа от изображенията (Фиг. 7.);
- ✓ Генериране на DSM (*цифров модел на повърхността*);
- ✓ Изчисляване на средна пространствена разделителна способност в см/пиксел, която в случая е 9.60262;
- ✓ Композиране на ортофотомозайка;
- ✓ Създаване на облак от точки (Фиг. 7.);
- ✓ Калкулиране на индексни карти;
- ✓ Генериране на рапорти на всеки от етапите в *.pdf формат.

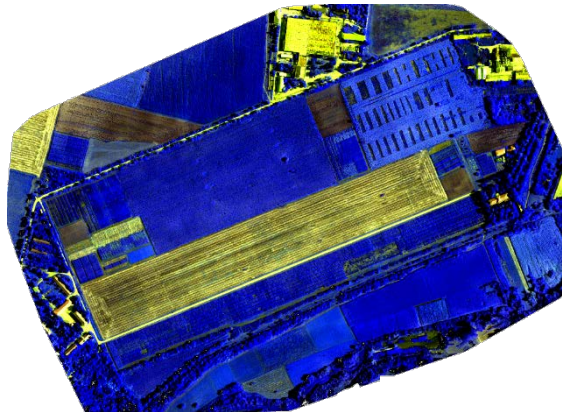


Фиг. 7. Орторектифициране и генериране на мрежа от изображенията и създаване на облак от точки

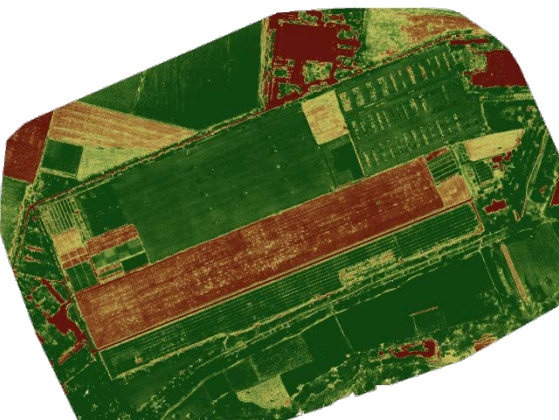
На базата на създадения *DSM-цифров модел на повърхността* (Фиг. 8.) и на *карта на отражение на повърхността - Reflection map* (Фиг. 9.) са изчислени различни *индексни карти* – *NDVI* (Фиг. 10.), *SAVI* (Фиг. 11.).



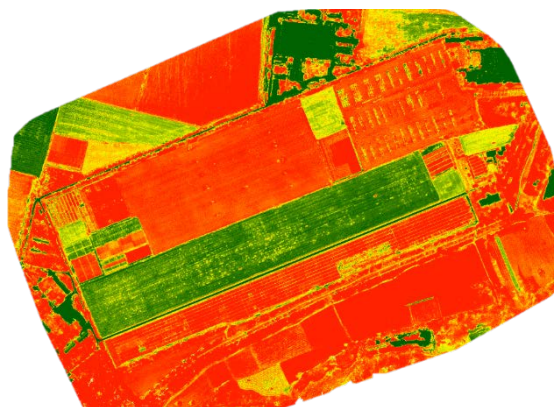
Фиг. 8. DSM-цифров модел на повърхността



Фиг. 9. Карта на отражение на повърхността – (*Reflection map*)

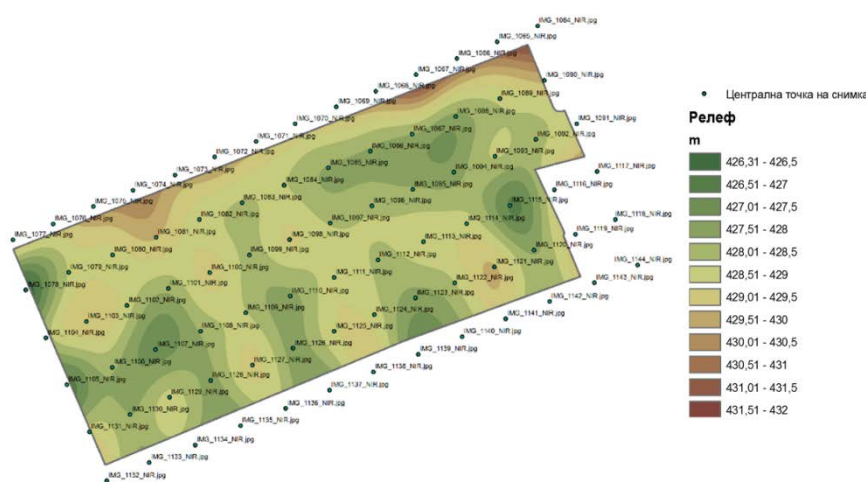


Фиг. 10. Индексна карта – NDVI



Фиг. 11. Индексна карта – SAVI

По данните от GPS на дрона за центъра на всяка снимка е генериран цифров модел на релефа с точност 5 m (Фиг. 12.).



Фиг. 12. Цифров модел на релефа

След всяка обработка се генерира автоматичен рапорт за резултатите и грешките в *.pdf формат.

Картографиране и анализ на данните в среда на ArcGIS

Последващите обработка и интерпретация на данните са извършени в ГИС среда, като са използвани следните инструменти, заложи в софтуерния продукт ArcGIS [5]: 3D Analyst Tools – *Raster Reclass*; Analysis Tools – *Extract*; *Overlay*; *Summary Statistics*; Data Management Tools – *Database*; *Features*; *Fields*; *Georeferencing*; *Joins*; *Projection and Transformation*; *Table*; *Raster*; Analyst Tools – *Surface*; *Extraction*; *Interpolation*; *Zonal*.

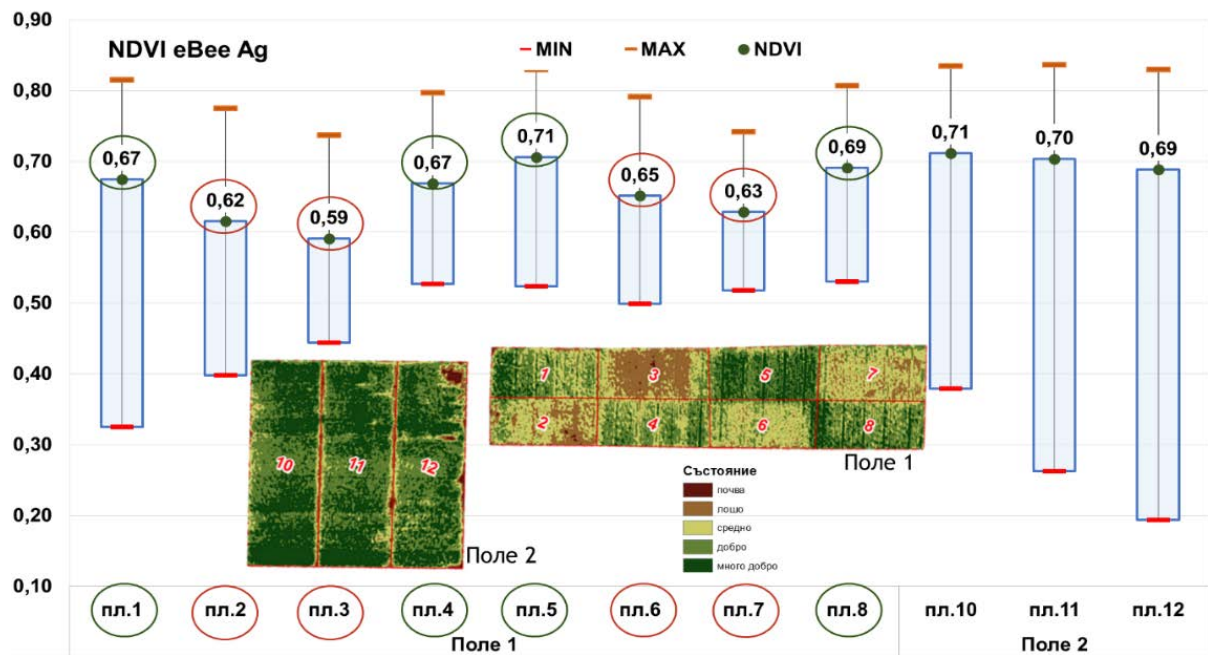
Преди да се съставят оценъчните карти на състоянието на царевичните посеви на базата на генерираното NDVI изображение, то е изрязано по границата на опитните полетата и площадките в тях. На Фиг. 13. са представени средни стойности, максимални, минимални и размах на стойностите на NDVI за всяка от опитните площадки в двете полета. Стандартното отклонение е в границите от 0,03 – 0,04. В ОП 3 и 10 то е малко по-голямо, съответно 0,05 и 0,06. Стойността на NDVI за всички опитни площадки варира от 0,19 до 0,84.

Определянето на състоянието на посева се базира на различията в NDVI индекса, като за определяне на праговете стойности на различните състояния е използван метода на естествените граници на Jenks (*Jenks natural breaks classification method*). Той е разработен за точно представяне на атрибутите на пространствените данни във вид на карта [3]. Определени са пет интервала: четири интервала на състояние на посева (*лошо, средно, добро и много добро*) и един – почва. Праговете стойности на NDVI са съответно: за почва – 0,19-0,49, лошо състояние – 0,49-0,60, средно – 0,60-0,66, добро – 0,66-0,71 и много добро състояние – 0,71-0,84 (Фиг. 14). На тяхна база е съставена оценъчна карта на състоянието на царевичните посеви в изследваните полета (Фиг. 15.).

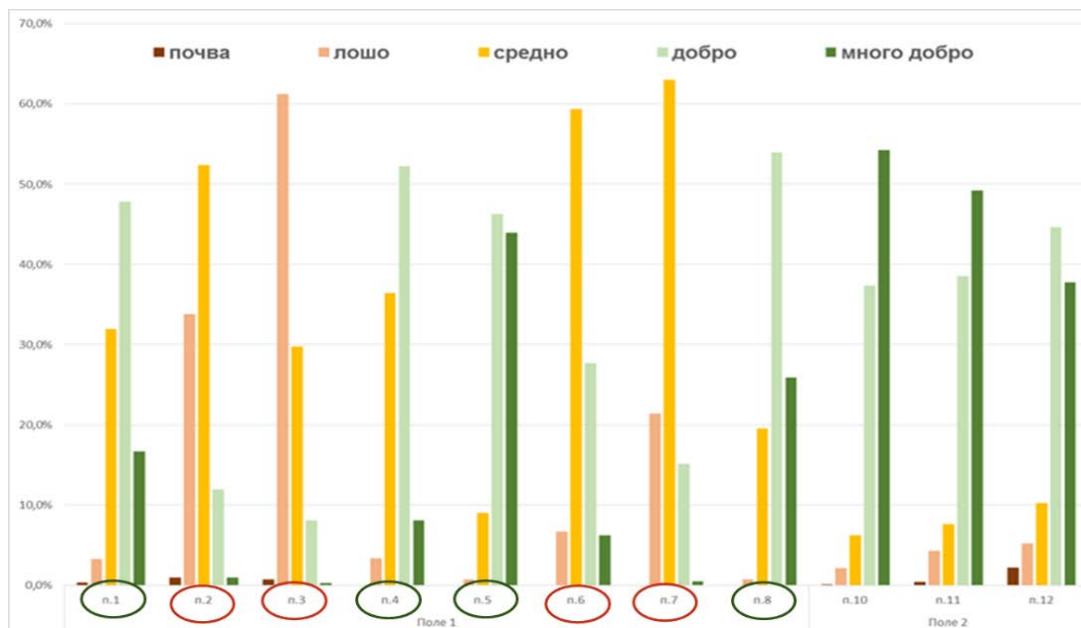
Наблюдава се неравномерно развитие на посевите в отделните полета (Фиг. 14 и 15). Ясно се разграничават две групи опитни площадки в които се регистрират различия в тяхното състояние. Към първата група спадат тези в които над 66% от площта им е заета от класовете *лошо* и *средно* състояние. Във втората група са отделени опитните площадки в които класовете *добро* и *много добро* състояние заемат над 60% от площта им.

В поле 1 към първата група спадат четири опитни площадки, на които царевица се отглежда като монокултура от 54 години (Фиг. 16.). Опитите заложи на тях са с царевичен хибрид *Кнежа-435* отглеждани при условия без торене. По време на експеримента царевицата е във фенофаза цъфтеж, на метлица-изсвиляване на кочан, настъпила на 06.07.2015 г. Най-слабо развитие на посевите се регистрира в ОП 2, 3 и 7 където 84-91 % от площта им е заета от класовете *лошо* и *средно* състояние. За ОП 6 този показател е 66 % (Фиг. 14 и 15), като в нея 34 % от посева е в *добро* и *много добро* състояние, за разлика от останалите, при които този процент варира между 8.3% и 15.6 % . Площите незаети от растителност във всички площадки

са под 1%. Средните стойности на NDVI на полетата от тази група варират в границите 0,59 – 0,65.

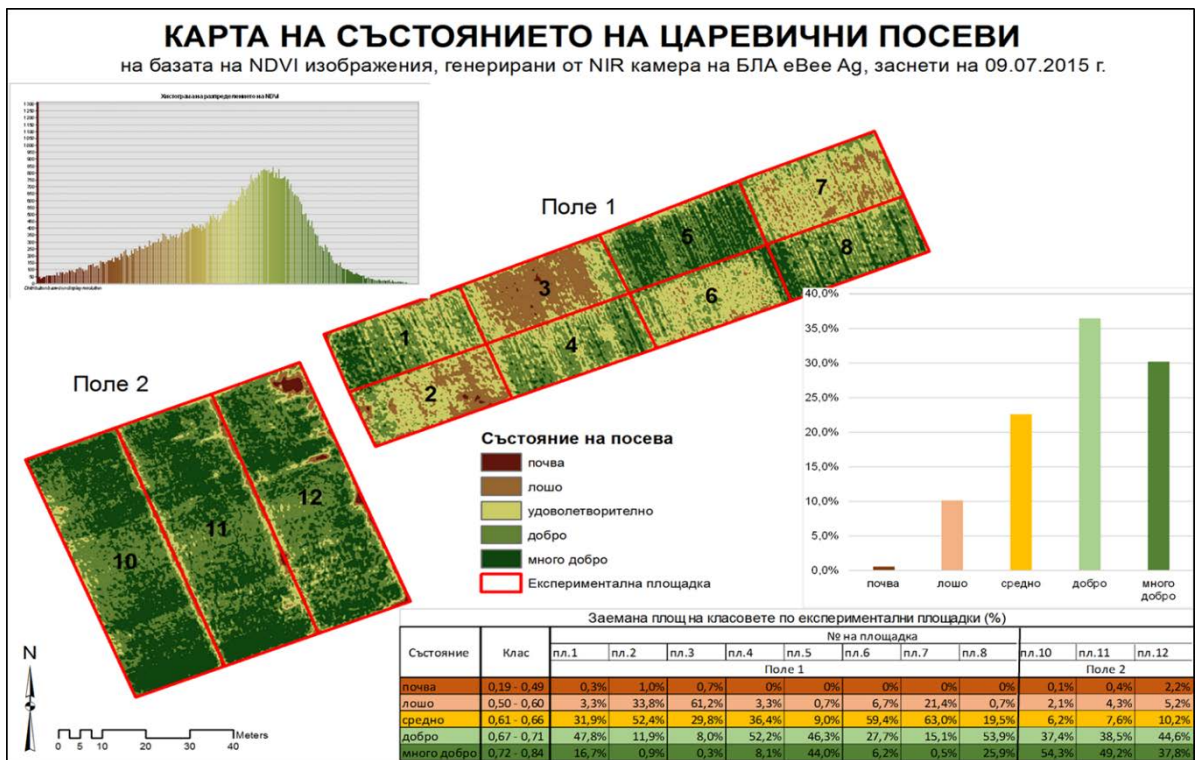


Фиг. 13. Средни, максимални и минимални стойности, и размах на NDVI за всяка от опитните площадки в двете полета



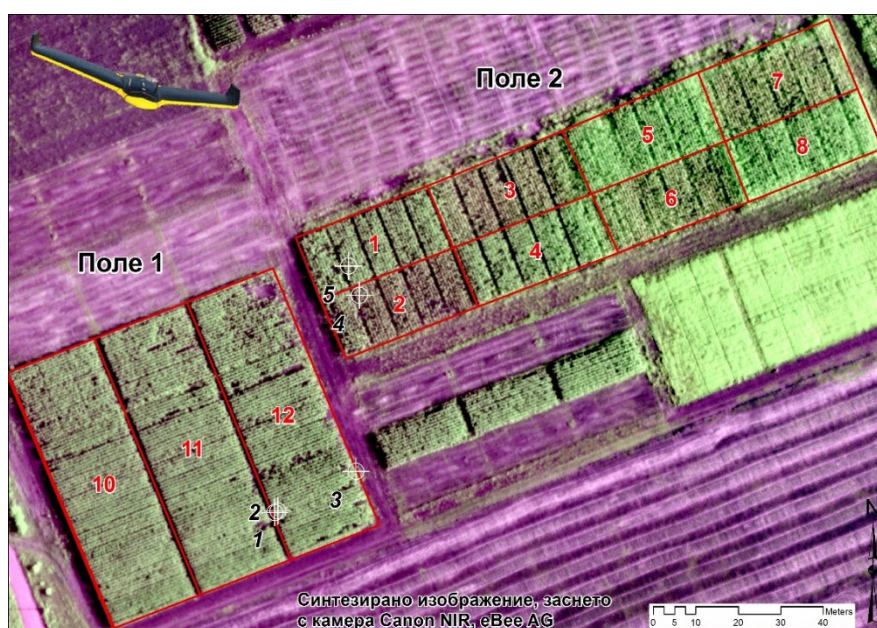
Състояние	№ на площадка											
	пл.1	пл.2	пл.3	пл.4	пл.5	пл.6	пл.7	пл.8	пл.10	пл.11	пл.12	
	Поле 1								Поле 2			
почва	0,3%	1,0%	0,7%	0%	0%	0%	0%	0%	0,1%	0,4%	2,2%	
лошо	3,3%	33,8%	61,2%	3,3%	0,7%	6,7%	21,4%	0,7%	2,1%	4,3%	5,2%	
средно	31,9%	52,4%	29,8%	36,4%	9,0%	59,4%	63,0%	19,5%	6,2%	7,6%	10,2%	
добро	47,8%	11,9%	8,0%	52,2%	46,3%	27,7%	15,1%	53,9%	37,4%	38,5%	44,6%	
много добро	16,7%	0,9%	0,3%	8,1%	44,0%	6,2%	0,5%	25,9%	54,3%	49,2%	37,8%	

Фиг. 14. Процентно разпределение на класовете на състоянието на царевичните посеви за всяка опитна площадка в двете полета



Фиг. 15. Оценъчна карта на състоянието на царевичните посеви в изследваните полета

Към втората група (Фиг. 16.) спадат седем опитни площадки - ОП 1, 4, 5 и 8 от поле 1 и всички от поле 2. Тези опитни площадки се отличават от първата група с това, че на тях е извършено минерално торене. За ОП 1, 4, 5 и 8 от поле 1 торова норма $N_{10}P_{10}$ килограма активно вещество на декар. По време на експеримента те са във фенофаза цъфтеж, на метлица-изсвиляване на кочан, която е настъпила по-рано – на 01.07.2015 г. В най-добро състояние се отличава ОП 5, където 90,3% от площта ѝ е заета с царевичен посев в *добро* и *много добро* състояние, следвана от ОП 8 (80 %). Те имат високи средни стойности на NDVI и са с малък размах (Фиг. 14.). С по-ниски характеристики са ОП 1 и 4, където в това състояние са 60-65 % от посевите. Двете площадки имат сходно процентно разпределение на състоянието на посевите, както и еднакви средни стойности на NDVI, които са по-ниски от останалите в тази група – 0,67 (Фиг. 14.). От тях се очакват по-ниски добиви.



Фиг. 16. Опитните площадки на двете полета и пунктове на проведените наземни измервания

Посевите от царевичен хибрид *Кнежа-517* в трите опитни площадки на поле 2 също като ОП 5 и 8 от поле 2 се отличават с най-добро развитие. Средните стойности на NDVI са високи в границите на 0.69-0.71, но размахът им е много голям (Фиг. 13.), като за ОП 12 достига до 0,64. Това се дължи на наличието на непокрити от растителност участъци, които в ОП 12 заемат 2,2 % от площта ѝ (Фиг. 15.).

В средата и на трите площадки се наблюдават ясно изразени участъци, в които състоянието на посевите е *добро*, за разлика от останалите, които са с преобладаващо *много добро* състояние (Фиг. 15.). Независимо от това, че и трите площадки са засети с един и същ царевичен хибрид – *Кнежа-435*, който по време на експеримента е във фенофаза изметляване на кочан, – се наблюдават различия в тяхното състояние (Фиг. 14. и 15.). Това вероятно се дължи на внесените различни норми на минерално торене.

Най-добре са развити посевите в ОП 10 и ОП 5, в които площите са заети от царевични хибриди – съответно *Кнежа-517* и *Кнежа-435*. Над 90 % от площта им е заета от класовете *добро* и *много добро* състояние (Фиг. 14. и 15.).

Верифициране с наземни данни

За верифициране на получени от данни от камерата *NIR/eVee AG* при картографиране на състоянието на посеви от царевица в изследваните опитни площадки са проведени синхронни наземни наблюдения и измервания в 5 пункта. Три от тези пунктове (1, 2, и 3) са в поле 2 и характеризират състоянието на царевичния посев хибрид *Кнежа-435* с различна норма на торене. В поле едно са определени два пункта в които се отглежда царевица като монокултура от 54 години и през 2015 г са засети с царевичния посев хибрид *Кнежа-517* в два варианта: 1) при условия без торене и 2) при минерално торене с торова норма $N_{10}P_{10}$ килограма активно вещество на декар с приложена нестандартна обработката на почвата (*на дълбочина 10-12 cm*). Във всеки пункт е направена експертна оценка на състоянието и е определено по едно представително растение на което са извършени фенологични наблюдения, биометрични измервания и са взети проби за определяне на съдържанието на общ азот и сухо вещество на надземната биомаса (Табл. 2.), както и съдържание на хлорофил $a+b$ и каротиноиди в листата на растенията. Лабораторните анализи са извършени в Института по царевицата – гр. Кнежа.

Таб. 2. Резултати от представените измервания

Характеристика	Пункт № 1	Пункт № 2	Пункт № 3	Пункт № 4	Пункт № 5
Царевичен хибрид	Кнежа-435	Кнежа-435	Кнежа-435	Кнежа-517	Кнежа-517
Височина на посева (cm)	240-260	240-250	245	210	270
Брой листа/кочани	13/2	13/2	12/2	11/2	12/2 бр. и 1 малък
Общо площно покритие ОПП (%)	100	100	100	80	90
заплевеност (0-4 бала)	0	0	0	1	1
Тегло на надземната биомаса на 1 растение (kg)/кочани	1,26/0,47	1,25/0,32	1,28/0,42	0,60/0,16	1,22/0,48
Сухо в-во в надземната биомаса на 1 растение (%)	91,43	92,46	90,23	90,43	91,01
Съдържание на общ азот в пробата след изсушаване (% сухо в-во)	3,14	2,96	3,57	2,56	2,39
Влажност на почвата VWC % средно	33,35	26,85	29,27	37,15	26,62

Измерването на листната площ е извършено с апарат *LI-3000C (LI-COR, USA)* на всички листа от първия прикочанен лист до върха на растението. При царевичните растения взети от пунктове 1, 2, 3 и 5 първият прикочанен лист отговаря на пети същински лист, докато при пункт 4 това е шести същински лист (Табл. 3.). Листната площ на прикочанния лист на растението от пункт 4 е с 26 % по-ниска в сравнение с пункт 2 където тя е най-висока. Този процент се

увеличава при последните етажи на листа където листната площ на растението взето от пункт 4 е с 60% по-ниска в сравнение с пункт 1.

В прикочанните листа на растенията от пунктове 2, 3 и 5 в малки граници варира съдържанието на хлорофил а+b (5,35-5,39 mg/g свежа маса) и каротин (0,68-0,72 mg/g свежа маса). Най-висока стойност то достига в растителните проби от пункт 1 (6,03 mg/g свежа маса хлорофил и Car(разопиши) 0,85 mg/g свежа маса). Съществени различия се наблюдават в пункт 4 където те са два пъти по-малки (Chl а+b 2.57 mg/g свежа маса и каротиноиди 0,47 mg/g свежа маса).

Съдържанието на общ азот варира в малки граници в събраните растителни проби след изсушаване (3,0-3,57 % mg N) в пунктовете от поле 2. В растителните проби от поле 1 то е значително по-малко, съответни 2,6 и 2,4 % mg N (Табл. 2.).

С най-добри параметри са царевичните растения взети от пункт 1 и 5. При вторият пункт се регистрира наличие на 2 броя кочани и 1 малък ? растението е най-високо (Табл. 2.), площта на листата е по-малка (Табл. 3.) в сравнение с пункт 1. Това се дължи на разликата в царевичните хибриди. Независимо от това и в двата пункта са регистрирани високи стойности на NDVI (0,79 и 0,82) и на съставената карта те спадат към един и същи клас – царевични посеви в много добро състояние (Фиг. 14. и 15.).

Добре развити са царевичните растения хибрид *Кнежа-435* в пунктове 2 и 3. Те са в една и съща фенофаза – изметляване на кочана. За разлика от растенията в пункт 1 и 5 те са по-ниски, като последният етаж на листа се формира от единадесети същински лист (Табл. 3.). Измереното в горните етажи на листата съдържание на хлорофил (3,72-3,75 mg/g свежа маса) и каротин (0,52-0,57 mg/g свежа маса) е по-малко отколкото в пункт 1 и 5 където то е съответно за хлорофила 4,60 – 5,06 mg/g свежа маса и за каротина 0,68-0,83 mg/g свежа маса. Стойностите на NDVI (0,69 и 0,71) в тези пунктове са по-ниски и на съставената карта те спадат към един и същи клас – царевични посеви в добро състояние (Фиг. 14. и 15.).

Таб. 3. Листна площ на царевичните растения

Пункт №	Листна площ на лист №, [cm ²]							
	5	6	7	8	9	10	11	12
1	676,67	764,11	670,47	700,14	620,24	575,03	467,71	177,80
2	747,70	734,09	710,94	644,48	559,61	459,63	265,96	-
3	655,21	670,66	648,72	619,55	564,50	466,71	274,72	-
4	-	549,92	488,29	447,04	369,85	282,23	183,78	105,38
5	663,12	682,82	688,65	635,63	553,19	460,90	370,66	169,70

В по-лошо състояние е царевичен хибрид *Кнежа-517* в опитна площадка 2. На нея царевица се отглежда като монокултура от 54 години при условия без торене. Растителната проба взета от пункт 4 е в същата фенофаза (*цъфтеж, на метлица-изсвиляване на кочан*) както тази в пункт 5, но с по-лоши показатели (Табл. 2.). Височината на растението е с 0,60 cm по-малка, имат 11 бр. развити листа, като тяхната площ е значително по-малка (Табл. 3.). Същата тенденция се наблюдава и при съдържанието на хлорофил а+b (2,7 – 3,0 mg/g свежа маса) и каротин (0,45 – 0,58 mg/g свежа маса) измерено в горните етажи на листата. Стойността на NDVI (0,57) е значително по-ниска от тази на останалите пунктове и на съставената карта спадат към класа – царевични посеви в лошо състояние (Фиг. 14. и 15.).

Заклучение

✓ Мобилността и експресната обработка на получените данни от специализираната безпилотна система за въздушно картографиране *SenseFly eBee Ag* дават възможност за картографиране на опитни полета и площадки и определяне на състоянието на посевите. Краткият живот на батерията е лимитиращ фактор за продължителността на полета, а оттам и за площта, която се заснема.

✓ Софтуерът за управление (*eMotion 2*) дава възможност за предварителна симулация на полета, която позволява значително да се повиши надеждността при провеждане на реалния полет и самото заснемане.

- ✓ Работата със софтуера за обработка на изображения *Postflight Terra 3D* е бърза и интуитивна. Обработката на суровите изображения и събирането им в мозайка, генерирането на различните индекси в растерния калкулатор е лесно и бързо по отношение на ползвателя.
- ✓ Получените изображения са с много висока пространствена разделителна способност (*10 cm/pix*), което дава възможност да се използват за локални наблюдения и детайлни изследвания.
- ✓ Обработката на данните в среда на ГИС дава възможност за пълна интерпретация, извличане на информация за статистическа обработка и визуализация като тематични карти.
- ✓ Съставената карта, получена на базата на NDVI изображение генерирано по данни от камерата *NIR/eBee AG*, отразява различията в състоянието на царевичните посеви отглеждани като монокултура при условия без торене и при извършено минерално торене с торова норма N10P10 (индекси?) килограма активно вещество на декар.
- ✓ Данните от осъществените синхронно със заснемането с камерата *NIR/eBee AG* полеви измервания и наблюдения потвърждават определените чрез прагови стойности на NDVI състояния на царевичните посеви в изследваните опитни площадки.
- ✓ На основата на получените положителните резултати от проведеният експеримент може да се разработи методика за извършване на оперативен мониторинг на състоянието на царевични посеви със специализираната безпилотна система за въздушно картографиране *SenseFly eBee Ag*.

Благодарности

В изследването е използвана част от апаратурата, (Фиг. 17.) закупена по Проект “Информационен комплекс за аерокосмически мониторинг на околната среда” (ИКАМОС), Полевия измерителен комплекс (ПИК), Договор за безвъзмездна финансова помощ BG161PO003-1.2.04-0053-C0001, по ОП „Развитие на конкурентоспособността на българската икономика” 2007-2013, процедура BG161PO003-1.2.04 „Развитие на приложните изследвания в изследователските организации в България”.



Фиг. 17. Използвана апаратурата, закупена по проекта ИКАМОС и включена в Полевия измерителен комплекс (ПИК):

- ✓ Специализирана безпилотна система за въздушно картографиране *senseFly eBee Ag*;
- ✓ GNSS системи *Leica GS08 plus* за високоточни измервания за определяне на местоположението и привързване на изображенията;
- ✓ *LI-3000C (LI-COR, USA)* за измерване на листната площ.

Литература:

1. Вълчинков, Ст., А. Попов, П. Христова, П. Петров., 2005. Царевичен хибрид Кнежа 517, Растениевъдни науки, 42, с. 21-24
2. Нанков, М., Л. Глогова, В. Спиров. 2013. Влияние на минералното торене върху добива, масата на 1000 зърна и височината на растенията при царевицата за зърно, научни трудове на Русенския университет, том 52, серия 1.1, стр. 77-80.
3. Jenks, G. 1967. The data model concept in statistical mapping, International Yearbook of Cartography, 7, 186–190.
4. SenseFly Company Website, Drones, eBea Ag – <https://www.sensefly.com/drones/ebee-ag.html>
5. Data classification methods, ESRI, Help page – <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/help/mapping/symbols-and-styles/data-classification-methods.htm>
6. Институт по царевицата, гр. Кнежа, Научни продукти, ФАО 500-599 – <http://www.ic-kneja.com/fao-500-599>