

**ZEMLJIŠTE I BILJKA –**  
**SOIL AND PLANT**



ZEMLJIŠTE I BILJKA – SOIL AND PLANT, Vol. 73, No. 1, 2024

---

BEOGRAD 2024

**ZEMLJIŠTE I BILJKA –**  
**SOIL AND PLANT**



ZEMLJIŠTE I BILJKA – SOIL AND PLANT, Vol. 73, No. 1, 2024

---

BEOGRAD 2024

## ZEMLJIŠTE I BILJKA

---

### SOIL and PLANT – ПОЧВА и РАСТЕНИЕ

**Editor -in-chief:** Dr. Elmira R. SALJNIKOV, Institute of Soil Science, Belgrade, SERBIA

**Co-editor:** Dr. Olivera STAJKOVIĆ-SRBINOVIĆ, Institute of Soil Science, Belgrade, SERBIA

**Editorial assistants:** Dr. Aneta BUNTIĆ, MSc. Sonja TOŠIĆ JOJEVIĆ

**Technical assistants:** Dr. Aleksa LIPOVAC

#### Editorial board

ANTIĆ MLADENOVIĆ Svetlana, Assoc. Prof. Dr., University of Belgrade, SERBIA

ĐUROVIĆ Nevenka, Prof. Dr., University of Belgrade, SERBIA

EULENSTEIN Frank, Dr., Leibniz-Centre for Agricultural Landscape Research, GERMANY

FUNAKAWA Shinja, Prof. Dr., Kyoto University, JAPAN

KNEŽEVIĆ Mirko, Asst. Prof. Dr., University of Montenegro, Faculty of Biotechnology,  
MONTENEGRO

MARKOVIĆ Mihajlo, Prof. Dr., University of Banja Luka, BOSNIA and HERCEGOVINA

PEJIĆ Borivoj, Prof. Dr., University of Novi Sad, SERBIA

RADMANOVIĆ Svetlana, Assoc. Prof. Dr., University of Belgrade, SERBIA

VORONINA Lyudmila, Prof. Dr., Lomonosov Moscow State University, RUSSIA

VOULGAROPOULOS Anastasios, Prof. Dr., Aristotle University of Thessaloniki, GREECE

**PUBLISHER:** Serbian Soil Science Society, Nemanjina 6, Zemun-Belgrade 11080 Serbia

**IZDAJE:** Srpsko Društvo za Proučavanje Zemljišta, Nemanjina 6, Zemun- Beograd 11080 Srbija

Printed by Akademska izdanja, Zemun, Serbia

CIP– Каталогизација у публикацији

Народна библиотека Србије, Београд

631

**ZEMLJIŠTE I BILJKA = Soil and Plant = Почва и растеније/Editor-in-Chief**

Elmira R. Saljnikov – God. 1, br. 1 (maj 1952) – Beograd – Zemun (Nemanjina 6): Srpsko društvo za proučavanje zemljišta,

1952 – (Zemun Akademska izdanja). – 24 cm. -

Dva puta godišnje.

ISSN 0514-6658 (print) ISSN 2560-4279 (online) = Zemljište i biljka (online izd.)

COBISS.SR-ID 238151180

---

Official journal of the Serbian Soil Science Society

Editorial office: 11000 Belgrade, Teodora Draljzera 7; [editor.zib@gmail.com](mailto:editor.zib@gmail.com)

URL: <http://www.sdpz.rs/index.php/sr-yu/casopis-zemljiste-i-biljka#zemljiste-i-biljka---soil-and-plant>

## Content

### **Fertigation of blueberries grown in pots -An example of the case of blueberry fertigation in Nemenikuca**

Срђан Савић, Светлана Антић Младеновић, Милош Павловић, Милош Стојановић, Урош Марјановић, Ружица Стричевић .....1-25

### **Dynamics of pH<sub>KCl</sub> of reclaimed *Umbric Albeluvisol Abruptic* by ameliorants of various chemical nature**

Nelson Quinonez and Manakov Pavel .....26-38

### **Effect of complex fertilizer APAVIVA NPK(S) 15:15:15(10) on the yield and biometric parameters of endive lettuce (*Cichorium endivia* L.)**

Tatiana Lavrishcheva .....39-52

### **Using a manual multispectral sensor and UAV in monitoring soybean development and productivity under rainfed conditions**

Nevena Stevanović, Nikola Stanković, Nataša Ljubičić, Mirjana Vukosavljev, Aleksa Lipovac, Irina Marina, Ružica Stričević ..... 53-75

### **Production and state of the corn market according to the principles of sustainable development**

Jelena Ignjatović, Milan Blagojević, Aleksandra Đorđević .....76-87

### **Using unmanned aerial vehicles and geographic information systems for mapping the soil cover of the territory**

Anton Lavrishchev, Anna Kramer, Anastasia Klyatisheva .....88-109

## Фертигација боровнице гајене у саксијама - пример случаја фертигације боровнице у Неменикућама

### Fertigation of blueberries grown in pots -An example of the case of blueberry fertigation in Hemenikuca

Срђан Савић<sup>1,2</sup>, Светлана Антић Младеновић<sup>1</sup>, Милош Павловић<sup>3</sup>, Милош Стојановић<sup>2,3</sup>, Урош Марјановић<sup>4</sup>, Ружица Стричевић<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Универзитет у Београду, Пољопривредни факултет, Немањина 6, 11080 Земун – контакт особа ([sruzica@agrif.bg.ac.rs](mailto:sruzica@agrif.bg.ac.rs))

#### Извод

#### Abstract

Циљ овог рада је да се прикаже технологија гајења боровнице, пре свега са аспекта фертилизације и наводњавања (фертигација), као и остварени приноси у засаду боровнице гајене у саксијама. Да би се постигли оптимални приноси, наводњавање и исхрана биљака треба да су добро избалансирани, што је у овом раду и приказано. Засада се налази у Неменикућама, општина Сопот. Локалитет је погодан за узгој боровнице због топографских услова, надморске висине, климатских фактора и водоснабдевања. Боровница је засађена у саксије запремине 45 L. Коришћени супстрат је „Легро“ са 25 % перлита. За фертигацију је примењена капаљка протицаја од 4 L са капајућим медузама на 4 стране, ради униформне дистрибуције воде по целој саксији. Систем за наводњавање је опремљен и уређајима који преко задатих рН и ЕС (електрична проводљивост) вредности повлаче одговарајућу количину ђубрива из танка. Овакав начин дистрибуције воде омогућава прецизну контролу параметара квалитета воде за наводњавање, као што су рН вредности и ЕС. Обезбеђена је добра дренажа саксије, која се постиже перфорацијама дна саксије и бочних страна са неколико отвора разних величина и облика. Количина воде која је потрошена у вегетационом периоду боровнице током друге године узгоја за наводњавање 9.000 биљака износила је укупно 2817700L, односно 2817,7m<sup>3</sup> воде. Остварени су приноси боровнице од 14.000 kg у првој родној години и 38.000 kg у другој години рода. То значи да је за принос боровнице од 1 kg потрошено 201,21 L воде, тј. да се са може произвести 4,96 kg боровнице по m<sup>3</sup> воде. Највише воде је примењено у месецу јулу (92 литра по саксији). Мерење ЕС вредности раствора је вршено свакодневно, због промене вредности у оцетку, која је зависила од усвојене количине хранива. Потрошња воде је одређивана трајањем наводњавања с једне стране и оцетком с друге стране. Вредности рН у води за наводњавање су одржаване у границама 5,0-5,5, а ЕС-а од 1,3-2,5 dS/m, у оцетку од 0,6 до 2,3 dS/m. У години расађивања остварен је принос од 77 g по биљци. Остварени су веома високи приноси од 1,5 kg по биљци у првој години рода и чак 4,2 kg по биљци у другој години рода. Просечна потрошња воде у периоду вегетације износила је 3 L по биљци, а укупна норма наводњавања износила је 313 L по биљци.

*Кључне речи:* боровница, наводњавање, фертигација, ефикасност коришћења воде

*Keywords:* blueberry, irrigation, fertigation, water use efficiency

## Увод

Развој система за наводњавање кап по кап донео је бројне олакшице у процесу наводњавања, као и интензивирање биљне производње, пре свега увођењем аутоматизације рада система, потом развоја разних уређаја за фертигацију, почевши од вентури цеви, клипних пумпи, ињектора, па све до нано технологија (Al-Juthery, 2021). Технологија се стално унапређује, али сам процес исхране биљака путем фертигације у великој мери зависи од карактеристика земљишта, климатских услова, квалитета воде за наводњавање и система узгоја одређене биљне врсте. Не постоји јединствен рецепт фертигације који се може применити на свим подручјима, чак ни за најпроучаваније биљне врсте какве су кукуруз и пшеница. Могу се применити само општи принципи, који треба да су у функцији пољопривредне, економске и еколошке ефикасности (еко-еко-ефикасност). Под еко-еко-ефикасношћу подразумева се минимални утрошак воде, хранива и енергије који би омогућили минимално загађење животне средине уз постизање максималне добити (Abdella, et al., 2021; Maia, 2016).

Производња боровнице у Србији се реализује на релативно малим површинама до око 1500 хектара (Миливојевић и сар. 2020), иако постоје повољни агроеколошки услови за њен узгој. Последњих неколико година уочава се тренд интензивног повећања засада боровница са ширењем производних површина ван брдско-планинских подручја. По незваничним подацима, производња боровнице се обавља на око 2500 хектара (<https://agroportal.rs>). Подигнути засади се могу наћи од Бачке Тополе до Лесковца, од Шапца и Бајине Баште до Књажевца, ипак највеће површине се налазе у Шумадији. Може се рећи да су брдско-планински појасеви са ниском рН вредношћу земљишта (4,0 - 5,05, оптимално 4,5-5,0) и повољним текстурним својствима земљишта природно станиште боровнице (Николић, 2006). Земљишта са високим садржајем глине и високом рН вредношћу отежавају производњу боровнице, па се из тог разлога технологија производње у овим условима мења, тј. прелази се на узгој у саксијама на супстрату. За подизање засада боровнице у саксијама неопходна су велика инвестициона улагања, чак од 120.000 евра за производњу у банковима до 150.000 евра за производњу у саксијама (Суботић, 2022), уз субвенције кроз аграгну политику (Кљајић и сар., 2022). Да би се средства повратила кроз принос, систем за наводњавање и процес фертигације треба добро поставити, тако да се постигне максимална еко-еко-ефикасност.

Циљ овога рада је да се на примеру случаја засада боровнице у саксијама на локалитету у Неменикућама, општина Сопот, прикажу: детаљна технологија фертигације, од подизања засада до друге године родности, остварени приноси и ефикасност коришћења воде.

Фактори који су нашим искуством на терену утврђени као пресудни у подизању засада могу да буду подељени у 4 велике групе: локација, карактеристике засада и квалитет супстрата, наводњавање – метод, количина и квалитет воде за наводњавање; технологија исхране, еко-еко ефикасност.

## Материјали и методе

Подигнути засад налази се на територији општине Сопот, у селу Неменикуће. Надморска висина Неменикућа је око 200 m и карактеристична је појава умерених ветрова углавном током целе године. Експозиција терена је један од битних фактора за узгајање боровнице. У пракси су се као најбоље показале северна и северозападна експозиција, јер боље задржавају влагу, уз довољно топлоте за све физиолошке потребе. Експозиција подигнутог засада је југоисточна, дакле правац пружања редова је северозапад-југоисток (Сл. 1). Површина парцеле износи два хектара.



Слика 1. Приказ локације засада (Извор: Google Earth)

Figure 1. Location studied (Source: Google Earth)

Клима проучаваног подручја је преузета из Републичког хидрометеоролошког завода за период од 15 година (2007-2022) са станице у Сопоту (<http://www.hidmet.gov.rs/>). Клима је умерено-континентална са израженим ниским температурама током зиме, праћена падавинама и снежним покривачем. Лета су топла са углавном недовољном количином падавина која је неравномерно распоређена. Просечна годишња температура износи 12,6 °C. Максималне температуре се јављају у месецу јулу (30,1 °C) и августу (30,5 °C). Управо у тим месецима потреба биљака за водом је највећа. Средње минималне вредности температуре ваздуха се јављају у јануару (-2,3 °C). Брзина ветра повећава проветреност засада, што смањује могућност развијања патогена. Просечна брзина дувања ветра на овом подручју је 1,1 m·s<sup>-1</sup>. Релативна влажност је доста висока и варира од 73 % у летњим до 88 % у зимским месецима. Просечна сума падавина износи 688 mm. Више падавина се јавља у периоду вегетације боровнице (376 mm). Падавине у марту су довољне да се биљка припреми за пораст, а падавине у новембру су довољне да биљка уђе у период мировања.

Земљиште типа гајњача на подручју Неменикућа није погодно за узгој боровнице у банквима, па је због тога одлучено да се засад подигне у саксијама.

Садња боровнице урађена је у марту. Биљка у тим условима садње има довољно временена да се опорави од стреса који пролази због промене станишта и климатских фактора. Садња је обављена тако што су саксије напуњене супстратом готово до врха, а онда је у супстрату направљена рупа величине која одговара величини саксије у којој је садница стигла. Запремина саксије износила је 45 L, са веома добром дренажном способношћу, што подразумева перфорације дна саксије и бочних страна са неколико рупа разних величина и облика. Дно саксије је одвојено од подлоге, да глиновито земљиште не би ометало оцеђивање вишка воде из супстрата. Основно својство примењеног супстрата „Легро“ са 25 % перлита јесте што нема хранљивих материја, посебно ђубрива која су спороделујућа и која имају одложено отпуштање хранљивих материја. Врло важна способност супстрата је вододрживост, а у овом сустрату износила је око 40 %.

Пре расађивања, корен садница је потапан у раствор течног NPK ђубрива формулације 4:12:5 у комбинацији са корисним микроорганизмима, у овом случају примењена је *Trichoderma*. Биљке су затим постављане у припремљену рупу, затрпане су до кореновог врата и благо сабијене ради бољег контакта корена биљке са супстратом. Међуредно растојање треба да буде минимално 3 m. Размак између редова саксија у овом примеру је 3 m, јер свако мање растојање од тога у периоду пуне вегетације не дозвољава кретање механизације и долази до механичког оштећења грана, док је међуредно растојање 0,8 m од центра до центра саксије. Приказ засада боровнице дат је на Сл. 2.



Слика 2. Приказ засада у пуној вегетацији (Извор: aqua.eco)

Figure 2. View of plantations in full vegetation (Source: aqua.eco)

Извор воде на проучаваном подручју је артерски бунар, капацитета  $2 \text{ L s}^{-1}$ . На огледном пољу изграђена је акумулација запремине  $150 \text{ m}^3$  (Сл. 3). Урађена је хемијска



анализа квалитета воде за наводњавање (Таб. 1). Резултати су показали да је садржај натријума и хлора преко дозвољене границе толеранције боровнице, што је изискивало потребу за филтрацијом воде јоноизмењивачким смолама. Хлор је одстрањиван тако што је вода изложена атмосфером утицају у акумулацији и природном начину отклањања хлора.



**Слика 3.** Приказ монтаже металног танка за акумулацију воде (Извор: Aqua.eco)

**Figure 3.** View of the assembly of the metal tank for water accumulation (Source: Aqua.eco)

**Табела 1.** Приказ хемијске анализе бунарске воде пре и после хемијске филтрације воде\*

**Table 1.** The chemical analysis of well water before and after chemical water filtration\*

Параметри	Јединица мере	Вредност пре третмана	Вредност после третмана
Мириш на 25°C и 40°C		Без	Без
Температура воде	°C	15,6	15,6
Оксидабилност	Mg	2,1	4,42±0,133
	KmnO <sub>4</sub> L <sup>-1</sup>		
Укупна тврдоћа	°dH	10,±0,22	
pH вредност		6,84 ±12,9	2,74±0,055
Електропроводљивост на 20°C (EC)	µScm <sup>-1</sup>	497±12,9	619±16,1
Резидуални хлор	mgL <sup>-1</sup>	< 0,2	
Укупна тврдоћа	°dH	8,4	0
Амонијак (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	mgL <sup>-1</sup>	<0,03	<0,05
Нитрити (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mgL <sup>-1</sup>	< 0,005	< 0,005
Нитрати NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mgL <sup>-1</sup>	0,85±0,128	2,82±0,102
Гвожђе (Fe <sup>2+</sup> )	mgL <sup>-1</sup>	0,24±0,028	<0,05
Калцијум (Ca <sup>2+</sup> )	mgL <sup>-1</sup>	54,1	0
Магнезијум (Mg <sup>2+</sup> )	mgL <sup>-1</sup>	10,9±0,24	0
Бикарбонати (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mgL <sup>-1</sup>	244±5,4	
Флуориди (F <sup>-</sup> )	mgL <sup>-1</sup>	0,20±0,030	0,09±0,006
Хлориди (Cl <sup>-</sup> )	mgL <sup>-1</sup>	32,1±4,85	23,6±1,94
Сулфати (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mgL <sup>-1</sup>	45,7±7,31	27,8±3,28
Манган (Mn <sup>2+</sup> )	mgL <sup>-1</sup>	<0,04	<0,04
Натријум (Na <sup>+</sup> )	mgL <sup>-1</sup>	46,8±1,78	1,4±0,05
Бор (B)	mgL <sup>-1</sup>	0,15±0,018	

\*(Лаб. Књаз Милош, Аранђеловац) Узорак воде пре третмана је узет при пробном црењу бунара, а узорак воде после третмана је узет након неколико месеци.

Након третмана половине количине воде која се црпи из бунара, добија се повољнији квалитет воде с аспекта натријума, добијена је ниска рН вредност воде у којој нема ни калцијума ни магнезијума, што није био циљ, јер су оба ова елемтна битна у исхрани боровнице. Да би се ипак задржала количина калцијума и магнезијума у води, део воде која се црпи из бунара усмерава се преко другог цевовода, директно у акумулацију. Дакле, у акумулацији се мешају пречишћена и непречишћена вода. Потпун третман воде није потребан и због задовољавајуће ЕС вредности од око  $600 \mu\text{Scm}^{-1}$ . На тај начин, добијен је квалитет воде за наводњавање задовољавајућег квалитета, са садржајем натријума у границама толеранције боровнице.

Засад је наводњаван преко четири заливне деонице, које су једнаке по броју биљака, а самим тим и по потрошњи воде. У две заливне деонице заливано је 2.200 биљака. Протицај деоничног разводника био је  $8,8 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , док су друге две заливне деонице употребљене за заливање 2.300 биљака, са протоком деоничног разводника од  $9,2 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ . Укупан број биљака на засаду био је 9000.

Основни начин наводањавања у овом облику производње јесте наводавање методом локалног квашења кап по кап, уз примену капајуће медузе. Капајућа медуза је постављена заједно са капаљком у сваку саксију. У овом примеру коришћена је капаљка протицаја 4 L са капајућом медузом на 4 стране, ради униформне дистрибуције воде по целој саксији. Систем за наводњавање опремљен је и уређајима (Ferticontrol SA, с вентилима) који преко задатих рН и ЕС вредности повлаче одговарајућу количину минералних или органских ђубрива из танка (Сл. 4). Овај начин наводњавања омогућава прецизну контролу параметара за наводњавање, који су суштински најбитнији за успешну производњу, као што су рН вредност и електрична проводљивост (ЕС) воде за наводњавање.



Слика 4. Приказ црно-филтерске станице (Извор: aqua.eco)

Figure 4. View of the filter station (Source: aqua.eco)

Технологија исхране боровнице заснива се на потребама боровнице за хранивима, које зависе од фенофазе развића, потребе за водом и хемијског састава воде. Важно је да рН вредност воде буде у оптималним границама за боровницу (око рН 5,0 у  $H_2O$ ) и да ЕС вредност раствора не прелази  $3500 \mu S cm^{-1}$  тј.  $3,5 d \cdot Sm^{-1}$ . На заливном пољу неопходно је да постоји танк са макроелементима, у коме се налазе NPK ђубрива са калијумовом компонентом у сулфатном облику, а уколико је вода тврда, потребна је регулација тврдоће уз снижавање рН вредности (на пример: применом мешавине органских киселина). Биљке боровнице нису толерантне на нитратни облик азота, па треба користити амонијачне изворе азота као што су амонијум сулфат, амонијум нитрат, или уреа, а треба избегавати једињења која садрже хлор, попут калијум хлорида ( $KCl$ ) и магнезијум хлорида ( $MgCl_2$ ). Комерцијално су доступне мешавине ђубрива за боровнице, које садрже хранљиве материје специфичне за биљке којима одговара земљиште киселе реакције (Hart et al., 2006). У други танк се додају калцијумова ђубрива уз додатак микроелемената (попут  $Cu$ ,  $Fe$ ,  $Zn$ ,  $B$ ,  $Mn$  и тд.) и све чешће, аминокиселина. Трећи танк се користи за регулацију рН вредности воде, одговарајућом концентрацијом растворених киселина. Најчешће се примењује сумпорна киселина, јер је најјефтинија, као и због потреба саме боровнице за сумпором. На терену се свакодневно мере: ЕС вредност воде за наводњавање, укупне растворљиве соли (TDS) и количина оцета као и рН вредност уређајем *GROLINE* приказаним на Сл. 5.



**Слика 5.** Мерење параметара воде за наводњавање (Фото: Срђан Савић)

**Figure 5.** Measurement of irrigation water parameters (Photo: Srđan Savić)

На основу ранијих истраживања, установљено је колико боровница усваја хранљивих материја по тони убраних свежих бобица и хранљивих материја уклоњених по хектару приликом резидбе зреле боровнице (Strik, 2013). Оквирне количине усвојених количина хранива су дате у Таб. 2. Треба имати на уму да количина хранива коју треба обезбедити биљкама мора бити увећана, за онолико колико се налазило хранива у оцеђеној количини воде, због ефикасности система за наводњавање, било да се ради о узгоју на банковима или у саксијама. У банковима се јавља дубока перколација, долази до везивања хранива за чврсту фазу земљишта, усвајање коровима и др., док код саксија има оцета.

**Табела 2.** Количина хранива у воћу и гранчицама (Strik, 2013).**Table 2.** Amount of nutrients in fruit and twigs (Strik, 2013)

Храниво	Количина усвојених хранива (kg по тони свежег плода боровнице)	Количина хранива у гранчицама (kg)
Азот	0,64-0,91	6,35
Фосфор (P)	0,045-0,136	0,68
Калијум (K)	0,41-1,315	2,95
Калцијум	0,045-0,091	1,36
Магнезијум	0,045	0,41
Сумпор	0,045	0,45
Бор	0,01-0,06	0,09
Бакар	0,01-0,02	0,45
Манган	0,04-0,3	5,44
Цинк	0,01-0,04	0,226

У Таб. 3 приказане су потребне вредности хранљивих елемената у води за наводњавање по фенофазама развића. Свака фенофаза развића има своје особености, поготово у потребама биљке за азотом, која је готово упола мања у фази зрења него у пролеће, при порасту ластара, за разлику од калијума ког више треба у каснијим фенозафама развића.

**Табела 3.** Приказ поребних вредности хранљивих елемената у води за наводњавање**Table 3.** Required values of nutrient elements in irrigation water

Облик хранљивих елемената	Потребе боровнице за храном (mg kg <sup>-1</sup> )			
	Faza I	Faza II	Faza III	Faza IV
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> + NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	130	120	60	NKP*
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	75	70	40	NKP
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	55	50	20	NKP
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	110	106	106	NKP
K <sub>2</sub> O	142	190	190	NKP
Сао	149	112	112	NKP
Mg	36	36	36	NKP
SO <sub>4</sub> <sup>++</sup>	240	240	240	NKP
Fe	1,6	1,6	1,6	1,6
Mg	0,8	0,8	0,8	0,8
Zn	0,9	0,9	0,9	0,9
B	0,16	0,16	0,16	0,16

\* NKP – Исхрана у IV фази се не заснива на исхрани према mg kg<sup>-1</sup>, него је емпиријски утврђена за подручје Србије и иста је за све засаде (Fitofert ENERGY ROOT (NPK 5:55:10) и FINALE (NPK 5:10:45))

Фертигација боровнице разликује се само у првој години после садње у односу на наредне године узгоја. Тек усађена биљка нема довољно развијен корен и нема велике потребе за храном и водом као биљка која има већи хабитус, а при том даје велики принос.

У првој години битно је да се створе услови за добро укорјењавање, добро развиће грана и да се биљка добро припреми за род наредне године. У години садње потребно је скинути готово сав род, осим рода на вршном делу биљке. Остављањем мањих количина рода биљка добија сигнал да има род, а самим тим се боље укорјењава. Довољно је да се остави око 100 g плода по биљци (Strik et al., 2003).

Генерално гледано, исхрана боровнице током прве године после садње није потпуно устаљена. Постоје два мање више слична начина исхране.

- Први начин је да се рецептура исхране не мења све до пред крај вегетације, јер се биљка припрема за родни потенцијал за наредну годину.
- Други начин је да у току вегетације ипак дође до неке мање измене у односу на фенофазу развића, углавном у периоду наливања и сазревања плодова.

Разлика у потребама боровнице за хранљивим елементима у години садње су за око 30% мање у односу на наредне године (Сл. 6). У овом процесу производње, исхрана не може да се базира на количини ђубрива по биљци, као у класичним засадима, него се увек количина хранљивих елемената у води за наводњавање изражава у  $\text{mgkg}^{-1}$  или  $\text{mmolL}^{-1}$  у односу на количине које та биљка захтева. Сва процеђена количина воде кроз саксију коју биљка не усвоји сакупља се и мери, а потом се мери њена електрична проводљивост (ЕС). На основу те вредности може да се закључи да ли се у супстрату налази довољно, мало или превише хранива. Уколико је количина хранива превелика, ЕС у оцеду се креће преко  $2000 \mu\text{Scm}^{-1}$ . Уколико се у супстрату не налази довољна количина хранива, ова вредност пада испод  $600 \mu\text{Scm}^{-1}$ . Потребна количина хранива коју треба додати или смањити одређује се на основу мерења ЕС вредности у оцеду и на капаљки, где збир треба да буде  $3500 \mu\text{Scm}^{-1}$ . Збирна вредност ЕС даје могућност одржавања електричне проводљивости у саксији, која треба да је нешто мања од ЕС вредности ћелијског сока, да се биљка храни пасивним транспортом. Пасиван транспорт хранљивих материја заснива се на осмотском потенцијалу и размени материја, при чему се вода креће од места више ка месту ниже концентрације растворених материја, до изједначавања концентрација. Овим начином исхране, биљка не троши енергију на усвајање хранљивих елемената или испуштање киселина за растварање минералних материја, већ је усмерава на развијање и стварање родног потенцијала.

Наводњавање боровнице у саксијама се разликује од наводњавања у банковима, јер се не могу применити фиксне норме и интервали заливања. Земљиште има већи капацитет за воду и коренов систем се слободно шири и усваја воду по потреби. Наводњавање и исхрана боровнице гајене у саксијама је специфично, па се количина воде израчунава на основу разлике између додате количине воде наводњавањем и оцеђене количине воде из саксије, које се свакодневно мере. Основни принцип оваквог наводњавања је да се унапред не зна прецизно колико ће воде биљка да потроши, самим тим ни колико воде треба додати у саксију. Вредности у оцедима указују на то да се супстрат довољно наквасио и када се достигне одређена процентуална вредност од додате количине воде, наводњавање се

прекида за тај дан. Која количина воде треба да се процеди варира у зависности од фенофазе развића и генерално се креће од 10 до 20 % од додате количине воде наводњавањем. Фертигација се врши у неколико наврата по 5 до 7 минута по заливној деоници по турнусу, све док се не добије оцед који је довољан. У току дана примењује се 3-4 (максимално 5) турнуса у зависности од временских услова. Уколико се наводњава дуже од 7 минута с мањим бројем турнуса у току дана, супстрат се брзо сатурише и оцеђује, иако при томе није довољно добро наквашен, што може довести биљке у стање стреса. Овакав режим наводњавања пружа сигурност да се у саксији увек налази количина воде која је биљкама лако доступна, која није превелика да би угушила биљку. Да би се лакше разумео овај процес, дат је табеларни приказ (Таб. 4) како вредности оцеда варирају и које количине воде се додају у саксију на основу количине оцеда. Количина оцеда није универзална и зависи од саксије, протицаја капалке, супстрата, сорте, климатских услова и тд. Када се добије жељени оцед (од око 10 %) у њему се мере ЕС вредности, које ће касније бити релевантне за наредни дан заливања. Ако су вредности ЕС високе, тада се дозира мања количина ђубрива и обратно. Након сваке фертигације, врши се испирање дистрибутивне мреже чистом водом, у трајању од неколико минута (максимум 5 минута), али са подешеном рН вредношћу на 5,0.

**Табела 4.** Пример добијања оцеда од 10 %

**Table 4.** Example of obtaining a 10% drain

Капалка протицаја 4 Lh <sup>-1</sup>			
Дужина наводавања у минутима	Количина додате воде (ml)	Количина оцеда (ml)	Процент (%) оцеђене воде
5	330	5	1,5
10	660	12	1,8
15	1000	36	3,6
20	1330	90	6,76
25	1660	166	10

На основу хемијског састава воде и на основу потребних концентрација хранива у mg kg<sup>-1</sup> приказаних у Таб. 3, а узимајући у обзир да је потребно 30 % мање хранива у првој години у односу на наредне године, добија се следећа рецептура (Таб. 5):

**Табела 5.** Комбинација и количина ђубрива по танковима**Table 5.** Combination and quantity of fertilizers per tank

Танк 1 Количина ђубрива на 100 L воде	Танк 2 Количина ђубрива на 100 L воде	Танк 3 Количина киселине на 100 L воде
5,25 kg SQM Ultrasol Calcium (15,5% NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N, 26,3% CaO)	3,7 kg FF Start* (NPK 10:45:10)	5 L 98 % концентроване сумпорне киселине
245 g FF Feromax 11 (11 % Fe у хелатном облику)	9,8 kg FF Blueberry I* (NPK 20:5:10)	
102 g FF Mangan organo (Mn 12 % у хелатном облику)	1 kg YARA MgS (MgO 16 %, S 33 %)	
100 g FF Cink organo (Zn 14 % у хелатном облику)	2,5 kg FF Finale* (NPK 5:10:45)	
2.8 L FF Magnical B (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N 10%, CaO 15 %, B 0,2 %, MgO 2 %)		

\*формулације минералних ђубрива приказане су само за NPK, али не и за микроелементе, због великог броја података. Детаљне информације се могу пронаћи на <https://fitofert.com>

Приликом додавања минералних ђубрива неопходно је раздвојити калцијум од сумпора, да не дође до хемијске реакције и стварања гипса, који може да утиче на запушавање капаљки. Од саме садње, исхрана боровнице се заснива на мерењу рН и ЕС параметара. Почетни параметри који се намештају на фертигационој машини су рН вредност 5,0 и ЕС вредност 2000  $\mu\text{Scm}^{-1}$ . Количина киселине која се дозира да би рН вредност воде остала иста, углавном се не мења (што не би био случај у узгоју на банковима), док се ЕС вредности мењају. Првих неколико дана ЕС вредност се константно држи на 2000  $\mu\text{Scm}^{-1}$ , да би се постигла одређена концентрација хранљивих елемената у супстрату. Не препоручује се већа вредност од наведене, јер може да дође до оштећења кореновог система услед превелике количине соли. Након пар дана, вредности ЕС у оцеду почињу полако да расту, тада се смањује ЕС вредност на уређају који регулише повлачење хранива из танка, односно на капаљки. Количина усвојених хранива и воде не може се унапред знати, зато је свакодневно праћење параметара из оцеда најбитније за успешну производњу боровнице у саксијама. Уколико је ЕС вредност у оцеду на пример била 1800  $\mu\text{Scm}^{-1}$ , тада се на машини подешава вредност 1700  $\mu\text{Scm}^{-1}$ . Ово нам говори да је количина примењених и потрошених хранива у току дана приближна. У наредном примеру, ЕС у оцеду може бити и 2000  $\mu\text{Scm}^{-1}$ , што нам говори да се додаје превише хранива и да се део мора испрати, па се ЕС вредност на капаљки подешава на 1500  $\mu\text{Scm}^{-1}$ .

На крају вегетације, биљка припрема родни потенцијал за следећу годину. Да би биљке могле лакше да се припреме за формирање родних пупољака мења се рецептура и интензивно се примењују фолијарни третмани. У овом периоду примењује се комбинација NPK ђубрива 5:55:10 и NPK 5:10:45 (на пример: Fertico *ENERGY ROOT* и *FINALE*. Норме заливања се смањују, да не би дошло до оцеда (дренаже), јер биљке треба да се засуше, како би ушле у делимичну зимску хибернацију и припремиле за следећу годину. Потребно је

наводњавање, али у мери да се само одређена количина влаге одржи у супстрату, која се не мери, већ се одређује на основу искуства са терена. Поред смањеног наводњавања и исхране, изводи се и следећа комбинација фолијарних третмана:

Фолијарни третмани на 100 L воде су:

- FF Bioflex L, 500 ml (биостимулатори, екстракти алги 25 %)
- FF Aminoflex 25, 300 ml (слободне аминокиселине 25 %)
- FF Humistart, 300 ml (течно NPK ђубриво 4:12:5)

У току вегетације обавезни су фолијарни третмани течним NPK ђубривима и биостимулаторима у комбинацији са средствима за заштиту боровнице. Третмани и заштита биља се представљају у процентима на 100 L воде (Таб. 6). Овакав приступ значи да се потрошња воде прилагођава засаду, а да се не направи грешка у додатом количини активне материје. Фолијарни третмани се врше на сваке две недеље, превентивно, а уколико дође до појаве неке болести или патогена, ради се додатан третман са адекватном активном материјом.



**Слика 6.** Приказ младих грана боровнице у првој години садње (Фото Срђан Савић)

**Figure 6.** Young blueberry branches in the first year of planting (Photo by Srđan Savić)



**Табела 6.** Приказ времена третмана и примене активне материје**Table 6.** The time of treatment and application of the active substance

Број третмана	Фенозафа	Препарати/активна материја	Примена %
1	Пуцање пупољака	Sigura (Dizenokonazol 250 gL <sup>-1</sup> )	0,04
		Plures (Deltamentrin 15 gL <sup>-1</sup> )	0,05
		- FF Humistart (течно NPK љубриво 4:12:5)	0,25
		FF Bioflex L (биостимулатори, екстракти алги 25%)	0,25
		Exalt (Spinetoram 25gL <sup>-1</sup> )	0,24
2	Розе балони	Luna sensation (Fluopriam 250 gL <sup>-1</sup> + Trifloksistrobin 250 gL <sup>-1</sup> )	0,08
		FF Bioflex L (биостимулатори, екстракти алги 25%)	0,3
		FF Combivit 14 (Mešavina mikroelemenata)	0,2
3	Почетак цветања/ Пуно цветање	Switch (Ciprodinil 375 gL <sup>-1</sup> + Fludioksonil 250 gL <sup>-1</sup> )	0,1
		- FF Humistart (течно NPK љубриво 4:12:5)	0,25
		FF Bioflex L (биостимулатори, екстракти алги 25%)	0,25
4	Пораст плодова	Mili Fludioksonil (200 gL <sup>-1</sup> )	0,1
		Sigura (Dizenokonazol 250 gL <sup>-1</sup> )	0,04
		Exalt (Spinetoram 25gL <sup>-1</sup> )	0,24
		FF Magnical B (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N 10 %, CaO 15 %, B 0,2 %, MgO 2 %)	0,3
		FF Aminomax 80 (аминокиселине)	0,1
5	7-10 пред бербу	Switch (Ciprodinil 375 gL <sup>-1</sup> + Fludioksonil 250 gL <sup>-1</sup> )	0,1
		Plures (Deltamentrin 15 gL <sup>-1</sup> )	0,05
		FF Bioflex L (биостимулатори, екстракти алги 25 %)	0,2
		FF Magnical B0 (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N 10 %, CaO 15 %, B 0,2 %, MgO 2 %)	0,3
6	Након бербе	Sigura (Dizenokonazol 250 gL <sup>-1</sup> )	0,04
		Exalt (Spinetoram 25 gL <sup>-1</sup> )	0,24
		FF Combivit 14 (хелатни облик више микроелемената)	0,3
		FF Humistart (течно NPK љубриво 4:12:5)	0,3

Након што је прве године биљка добро укоренења и припремила родност за следећу годину, у свакој следећој години задатак је да биљка буде добро снабдевена хранивима и да се постепено подиже њен родни потенцијал. Технологија исхране се разликује од прве године не само у количини хранива него и у погледу промене рецептуре у односу на фенофазу развића. Како се биљка развија повећава се потреба, а самим тим и потрошња воде и хранива. Исхрану боровнице у годинама рода можемо поделити у 4 групе које се разликују по рецептурама (Сл. 7):

- Прва рецептура (I) је од почетка вегетације до цветања (Табела 7);
- Друга рецептура (II) је од цветања преко наливања плодова до завршетка бербе (Табела 8);
- Трећа рецептура (III) траје од завршетка бербе па наредне 4 недеље (Табела 9);
- Четврта рецептура (IV) се наставља још 2 недеље (Табела 10).



**Слика 7.** Фенофаза развића боровнице по којима се користе рецептуре (с лева на десно, I, II, III, IV) (Фото: Срђан Савић)

**Figure 7.** Blueberry development phenophases according to which recipes are used (from left to right, I, II, III, IV) (Photo: Srđan Savić)

Пре почетка примене рецептуре I, потребно је у рано пролеће повећати садржај хранива у супстрату, јер се у току зиме услед падавина и снега садржај хранива смањује. Повећање садржаја хранљивих елемената у супстрату знак је биљци да су створени повољни услови за кретање вегетације. Најчешће се хранидбена способност супстрата постиже комбинацијом ђубрива Humistart 1,5 ml и FF Start 2 g по биљци. Након овог поступка примењује се рецептура I, која у овом засаду гласи (Таб. 7):

**Табела 7.** Комбинације ђубрива и количине по танковима у другој години засада по рецептури I.

**Table 7.** Fertilizer combinations and quantities per tank in the second year according to recipe I

Танк 1	Танк 2	Танк 3
Количина ђубрива на 100 L воде	Количина ђубрива на 100 L воде	Количина киселине на 100 L воде
7,5 kg SQM Ultrasol Calcium (15,5 % NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N, 26,3% CaO)	5,3 kg FF Start (NPK 10:45:10)	5 L 98 % концентроване сумпорне киселине
350 g FF Feromax 11 (11 % Fe у хелатном облику)	14 kg FF Blueberry I (NPK 20:5:10)	
146 g FF Mangan organo (Mn 12 % у хелатном облику)	1,5 kg YARA MgS (MgO 16%, S 33 %)	
160 g FF Cink Organo	3,5 kg FF Finale 5:10:45 (NPK 5:10:45)	
4 L FF Magnical B (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N 10%, CaO 15 %, B 0,2 %, MgO 2 %)		

Рецептура I користи се од почетка вегетације до цветања. У тим фенофазама развића, биљка има највеће потребе за азотом у односу на целу вегетацију, због формирања зелене масе. Боровница има јако велике потребе за сумпором и калцијумом. Калијума је потребно

у овој фази нешто мање у односу на следеће фенофазе. Препорука је да однос амонијачног и нитратног азота буде 60:40 у корист амонијачног. Такође, у овој фенофази боровнице имају највеће потребе за калцијумом, што је јасно наглашено у овој рецептури. Од почетка примене рецептуре I, почиње се са мерењем оцета и одређивањем ЕС и рН вредности у оцеду. У овој фази, збир ЕС вредности на капаљки и у оцеду треба да буде  $3500 \mu\text{Scm}^{-1}$ . У овој фази развића потребе за водом нису толико велике, због тога оцеди треба да се држе на 10-15 % од примењене количине воде. Наводњавање се врши у кратким интервалима, најчешће се 5 до 7 минута пропушта вода са хранивима, а након тога се пар минута (максимум 5) врши заливање чистом водом (рН 5), ради испирања дистрибутивне мреже. Норме заливања зависе од стања усева и временских прилика. Може се рећи да у овом начину производње не постоје фиксне норме и дужине трајања наводњавања.

Прелазак исхране боровнице на рецептуру II почиње у фенофази пуног цветања. Од тог тренутка биљка има другачије захтеве за хранљивим елементима, па је однос елемената у рецептури потребно променити. Из Таб. 3, се види да су потребе биљака за азотом скоро исте као време примене рецептуре I, потребе за калцијумом су нешто мање, док су потребе за калијумом доста веће. Повећане потребе за калијумом јављају се због све веће потребе биљке за водом, а калијум учествује у транспорту воде. Процес образовања шећера у бобици, такође зависи од количине калијума. Рецептатура II се може представити на следећи начин (Таб. 8):

**Табела 8.** Комбинације хранива и количине по танковима у другој години засада по рецептури II.

**Table 8.** Nutrient combinations and quantities per tank in the second year according to recipe II

Танк 1	Танк 2	Танк 3
Количина ђубрива на 100 L воде	Количина ђубрива на 100 L воде	Количина киселине на 100 L воде
7,5 kg SQM Ultrasol Calcium (15,5 % $\text{NO}_3^-$ -N, 26, 3% CaO)	4 kg FF Start (NPK 10:45:10)	5 L 98 % концентроване сумпорне киселине
320 g FF Feromax 11 (11 % Fe у хелатном облику)	18 kg FF Blueberry II (NPK 20:5:10)	
120 g FF Mangan organo (Mn 12 % у хелатном облику)	5 kg YARA MgS (MgO 16%, S 33%)	
300 g FF Cink organo (Zn 14 % у хелатном облику)	1,65 kg FF Finale 5:10:45 (NPK 5:10:45)	
1 L Aminoflex (аминокиселине)	2 kg PH GREEN (смеша органских киселина)	

Потребе биљака за храном и водом су веће у овој фенофази него у првој, што је усклађено у рецептури II. Количина оцета у овој фази треба да буде око 20 % од укупне количине додате воде. Дужина трајања заливања се не мења, али се мења број заливања. У овој фази је то најчешће пет до шест пута у току дана. Дужина фертигације је пет минута са подешеним рН и ЕС вредностима. Након сваке фертигације врши се испирање

дистрибутивне мреже до пет минута чистом водом у којој је рН вредност подешена на 5,0. Као и у претходној рецептури, норме наводњавања, дужина наводњавања и ЕС вредности нису фиксне, него се мењају из дана у дан у зависности од потребе биљака и климатских фактора.

Након завршетка бербе, почиње се са рецептуром III. Ова рецептура се примењује од периода завршетка бербе наредне 4 недеље. Трајање зависи од временских услова на терену. Из Таб. 3. види се да је потреба за азотом у овом периоду упола мања него у претходна два периода. Садржај калијума у периоду цветања и наливања бобица је истоветна, јер биљка и даље троши доста воде, док су потребе за осталим елементима мање више непромењени. Рецептатура III је приказана у Таб. 9.

Након завршетка бербе, потребе биљака за водом се постепено смањују, као и потребе за хранивима. У рецептури која одговара овој фази развића биљака, оцеди се смањују на 10 – 15 % од количине воде за наводњавање која се примењује. И у овој фенозафи мере се рН и ЕС вредности у оцеђеној води, са непромењеним граничним вредностима у односу на почетне (подешене) вредности. Трајање наводњавања је исто као и у рецептури III, док се број наводњавања смањује на 4 до 5. Наводњавања су распоређена током целог дана и оцеди се мере на крају последњег заливања.

**Табела 9.** Комбинације ђубрива и количине по танковима у другој години засада по рецептури III

**Table 9.** Fertilizer combinations and quantities per tank in the second year according to recipe III

Танк 1 Количина ђубрива на 100 L воде	Танк 2 Количина ђубрива на 100 L воде	Танк 3 Количина киселине на 100 L воде
7,5 kg SQM Ultrasol Calcium (15,5 % NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N, 26,3 % CaO)	9,5 kg FF Start (NPK 10:45:10)	5 L 98 % концентроване сумпорне киселине
675 g FF Feromax 11 (11 % Fe у хелатном облику)	4 kg FF Blueberry I (NPK 20:5:10)	
260 g FF Mangan organo (Mn 12 % у хелатном облику)	2,5 kg YARA MgS (MgO 16%, S 33 %)	
250 g FF Cink organo (Zn 14 % у хелатном облику)	13,5 kg FF Finale 5:10:45	

У периоду мировања примењује се рецептура IV у трајању од око две недеље, у зависности од временских услова. У овој рецептури уводи се редукована исхрана, а интензивно се раде фолијарни третмани, да се помогне биљци у припреми за период зимског мировања и формињања родног потенцијала за следећу годину. Рецептатура IV је дата у Таб. 13.

**Табела 10.** Комбинације ђубрива и количине по танковима у другој години засада по рецептури IV

**Table 10.** Fertilizer combinations and amounts per tank in the second year according to recipe IV

Танк 1 Количина ђубрива на 500 L воде	Танк 2 Количина ђубрива на 100 L воде	Танк 3 Количина киселине на 100 L воде
20 kg FF Root (NPK 5:55:10)	-	5L 98 % концентроване сумпорне киселине
20 kg FF Finale (NPK 5:10:45)	-	

Фолијарни третмани се припремају на 100 L воде са 500 ml FF Bioflex L + 300 ml FF Aminoflex 25 + 300 ml FF Humistart.

Ефикасност усвајања воде (WUE) представља висину постигнутих приноса у односу на количину воде која је потрошена за наводњавање. Овај параметар се добија тако што се укупан принос подели са укупном количина воде које је потрошена за наводњавање и користи се за упоређивање квалитета заливања и управљања водама у односу на друге технологије наводњавања било које биљне врсте, самим тим и боровнице..

$$WUE = \frac{\text{Принос (kg)}}{\text{Норма наводњавања (L)}}$$

## Резултати и дискусија

### Results and discussion

Резултати истраживања у овом експерименту засновани су на мерењима оцеда на више локација и приказани су табеларно по примењеним рецептурама. У Таб. 11 приказане су очитане рН и ЕС вредности на неколико оцедних места након примене хранива по рецептури I. Из табеле се јасно види промена ових вредности у зависности од оквашености супстрата, усвојених хранива од стране биљке и карактеристика оцеда. Такође, у оцедима могу да се мењају и рН вредности, уколико су вредности испод 4, то указује да је супстрат презасићен водом (као што је то случај 28. априла и средином маја на оцедном месту 4) и да саксија нема добру дренажу.

Хемијске карактеристике оцеда од цветања преко наливања плодова до завршетка бербе овој фенофази приказане су у Таб. 12, када су хранива примењена по рецептури II. Оцедно место 4 и у овог фази има најкиселију реакцију (просечно 4,4), што указује на презасићеност супстрата водом, за разлику од осталих оцедних места који имају благо киселу до неутралну реакцију. Највише вредности ЕС су измерене на оцедном месту 1, просечно од 2,14 dS·m<sup>-1</sup>, док се на остала три оцедна места вредности крећу од 1,2 до 1,96 dS·m<sup>-1</sup>. Ове разлике се јављају услед разлике у динамици пораста, која опет зависи од

квалитета саме саднице и положаја саднице у воћњаку Замимљиво је да су количине оцедне воде веома сличне на свим оцедним местима и у просеку се крећу од 0,7 – 0,8 L, што указује на добру унофирмност заливања по огледном пољу.

**Табела 11.** Приказ количине оцеда и добијених рН и ЕС (dS·m<sup>l</sup>) вредности у оцеђеној води

**Table 11.** The amount of drainage and the obtained pH and ES (dS·m<sup>l</sup>) values in the drained water

Датум	Оцедно место број 1			Оцедно место број 2			Оцедно место број 3			Оцедно место број 4		
	рН	ЕС	Осед (L)	рН	ЕС	Осед (L)	рН	ЕС	Осед (L)	рН	ЕС	Осед (L)
08.04.	7,1	0,53	1,2	5,62	0,5	1,2	6,63	0,49	0,9	5,17	0,94	0,5
21.04.	6,7	0,94	1,2	6,6	1,14	1,2	5,95	1,04	1,1	4,85	1,48	0,9
26.04.	7,10	0,95	0,2	7	1,28	0,55	6,3	1,09	0,5	5	1,36	0,05
27.04.	7,11	0,98	0,7	6,97	1,41	0,8	6,3	1,13	0,8	4,91	1,56	0,5
28.04.	6,87	1,14	1,2	6,5	1,45	1,2	6,2	1,4	0,9	4,11	1,39	1,2
04.05.	6,56	1,64	0,2	6,05	1,75	1,0	5,37	1,71	0,9	5,07	1,95	0,4
05.05.	7,06	1,79	0,15	5,67	1,75	0,4	5,46	1,56	0,5	4,72	2,08	0,3
06.05.	6,5	1,8	0,3	6,13	1,65	0,6	6,10	1,58	0,7	4,11	1,83	0,4
07.05.	6,71	1,7	0,25	6,35	1,57	0,5	6,2	1,55	0,6	4,16	1,68	0,4
12.05.	6,6	1,73	0,2	6,27	1,47	0,35	6,08	1,48	0,65	4,2	1,6	0,25
13.05.	6,70	1,70	0,3	6,39	1,4	0,75	6,01	1,41	0,75	4,16	1,56	0,7

**Табела 12.** Приказ количине оцеда и добијених рН и ЕС (dS·m<sup>l</sup>) вредности у оцеђеној води у фенофази пуног цветања

**Table 12.** The amount of drainage and the obtained pH and ES (dS·m<sup>l</sup>) values in the drained water in the phenophase of full flowering

Датум	Оцедно место број 1			Оцедно место број 2			Оцедно место број 3			Оцедно место број 4		
	рН	ЕС	Осед(L)	рН	ЕС	Осед(L)	рН	ЕС	Осед(L)	рН	ЕС	Осед(L)
20.05.	6,33	2,2	0,5	6,39	1,22	1,2	5,46	1,52	0,8	4,10	1,69	1
21.05.	7,06	2,18	0,2	7,41	0,95	0,4	5,79	1,53	0,8	4,25	1,53	0,6
23.05.	7,10	1,82	1,1	7,41	1,15	1,2	5,90	1,39	0,8	4,38	1,54	1,2
24.05.	7,01	1,81	0,2	7,08	1,52	1	6,06	1,3	1	4,33	1,48	0,7
30.05.	6,94	2,03	1	6,63	1,64	1	6,2	1,65	0,8	4,4	1,96	1
31.05.	7,13	1,88	0,5	6,24	1,63	0,6	6,30	1,57	0,75	4,55	1,80	0,8
01.06.	7,06	1,85	1,1	6,35	1,58	1,1	6,44	1,57	0,8	4,46	1,79	1,2
09.06.	6,49	2,63	0,9	6,80	1,39	0,85	6,39	1,25	0,7	4,32	1,61	0,9
11.06.	6,77	2,80	0,6	8,42	1,45	0,45	6,67	1,35	0,4	4,55	1,71	0,5
12.6.	6,59	2,50	0,5	6,95	1,2	0,7	-	-	-	4,4	1,48	0,5
13.06.	6,8	1,79	0,6	7,01	1,23	0,4	6,64	1,2	0,2	4,7	1,3	0,75

Резултати мерења ЕС и рН у процеђеној количини воде, у периоду након завршетка бербе, односно примене рецептуре III, приказани су у Таб. 13. На оцедном месту 4, долази до благог пораста рН вредности, услед кориговања турнуса наводњавања. Количина процеђене воде је смањена и варира од 0,4 – 1,15 L, тј. просечно око 0,7 L на свим оцедним местима. Вредности ЕС су се незнатно повећале на свим оцедним местима изузев оцедног места 3, где су измерене вредности ниже у односу на претходну фенофазу и примењену рецептуру. рН вредност је стабилна као у претходном периоду, с тим што је она побољшана и на оцедном месту 4.

**Табела 13.** Приказ оцеда и добијених рН и ЕС вредности ( $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ) у оцеђеној води у фенофази након завршетка бербе

**Table 13.** Drainage and obtained pH and ES values ( $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ) in drained water in the phenophase after the end of the harvest

Датум	Оцедно место број 1			Оцедно место број 2			Оцедно место број 3			Оцедно место број 4		
	рН	ЕС	Оced(L)	рН	ЕС	Оced(L)	рН	ЕС	Оced(L)	рН	ЕС	Оced(L)
09.07.	6,49	2,63	0,9	6,8	1,39	0,85	6,39	1,25	0,7	4,32	1,61	0,9
11.07.	6,77	2,82	0,6	8,42	1,45	0,45	6,67	1,35	0,4	4,55	1,71	0,5
12.07.	6,59	2,50	0,5	6,95	1,20	0,7	-	-	-	4,40	1,48	0,5
13.07.	6,80	1,79	0,6	7,01	1,23	0,4	6,4	1,2	0,2	4,7	1,3	0,75
20.07.	6,81	2,01	0,45	6,87	1,28	1,0	6,03	1,03	0,8	4,75	1,55	0,4
22.07.	6,49	2,12	1,0	6,35	1,5	0,9	6,5	0,95	0,7	4,94	1,5	0,9
23.07.	6,57	2,23	0,3	6,43	1,44	1,0	5,9	1,04	0,7	4,72	1,53	0,8
29.07.	6,19	3,15	1,15	6,24	1,62	1,0	5,69	1,04	0,7	5,45	1,54	1,0
01.09.	-	-	-	6,34	1,25	0,6	5,72	1,68	0,9	4,94	2,10	0,65
03.09.	5,77	3,29	1,0	6,07	2,06	1,0	5,42	1,72	1,0	4,71	2,94	1,0
10.09.	5,35	1,26	1,0	6,14	1,44	1,0	5,25	0,88	1,0	4,71	1,3	1,0

При редукованом наводњавању и исхрани у фази пред мировање, добијање оцеда није пожељно и количина хранива се не одређује преко ЕС вредности у оцеду. Количина хранива која се примењује у овој фази резултат је дугогодишњег рада на терену. Време трајања наводњавања остаје непромењено у односу на претходну фенофазу, док се број наводњавања смањује. Количина хранива се смањује на  $1500 \mu\text{Scm}^{-1}$ , док се фертигација врши само једном дневно. На овај начин биљке се „засушују“, чиме се шаље сигнал да наилази период зимског мировања. Треба нагласити да се одмах након бербе, биљка полако припрема за род наредне вегетације. Фолијарни третмани се врше на сваких 7 до 10 дана, да би се формирала лисна маса и помогло формирање родних пупољака.

Боровница има изражене захтеве за водом, посебно у приказаном начину производње, где наводњавање не сме да буде изостављено практично ниједан дан, осим у данима са кишом. Чак се и у тим данима препоручује краткотрајно наводњавање водом са хранивима која има вишу ЕС вредност (на пример:  $2000 \mu\text{Scm}^{-1}$ ), да падавине не би испрале

хранива из саксије. У Таб. 14 приказане су потребе боровнице за водом по месецима. За узгој боровнице било је неопходно обезбедити 313 L воде по биљци тј. саксији. Највеће количине воде примењене су јуну, 82 L по саксији и јулу, 97 L по саксији, односно у периоду који карактеришу највише температуре ваздуха. У августу се количина воде постепено смањивала, док је у септембру већ вршено засушивање биљака, о чему је раније било речи.

**Табела 14.** Приказ месечне и укупне количине воде додате наводњавањем

**Table 14.** Monthly and total amount of water added by irrigation

Месец	Количина воде L/ биљци
Март	2
Април	11
Мај	55
Јун	82
Јул	97
Август	50
Септембар	9
Октобар	7
Сума	313

Током сваке производње, поставља се питање колика је економска исплативост те производње и који приноси могу да се остваре. Приноси боровнице расту из године у годину, како биљка расте и јача, да би временом остварила пуни родни потенцијал. На количину приноса утиче више фактора: временски услови, постојање заштите од града, технологија исхране, заштита засада од болести и штеточина, квалитет садница и супстрата, квалитет саксије и сл. На овом примеру случаја измерени су приноси у прве три године од подизања засада и приказани су у Таб. 15.

**Табела 15.** Укупан принос по годинама са 9000 садница

**Table 15.** Total yield by year with 9000 seedlings

Година	Принос (kg)
2021.	700
2022.	14000
2023.	38000

Из Табеле. 15 јасно се уочава повећање приноса боровнице током трогодишњег периода од момента подизања засада. Већ након друге године родности, постигнут је принос од 4,2 kg по биљци. Овако висок принос представља готово пун родни потенцијал, који се креће максимално до око 5 kg. Ови приноси су упоредиви са оним добијеним у



суптропским климатским условима (4,6 - 7,2 kg по биљци), при гајењу боровнице на земљишту (Williamson, et al., 2015).

Наредни кораци у технологији гајења боровнице јесу да се сваке године остварује овако висок принос, а да квалитет рода буде задовољавајући. Применом приказаних рецептура исхране постиже се висок квалитет плода, изражен преко величине и масе бобица (Таб. 16). Крупноћа бобица је у директној зависности од њене масе. Поред тога, крупноћа плода игра важну улогу у одређивању цене плода. Уколико је крупноћа мања од 12 mm, бобица не спада у прву класу и откупна цена је значајно нижа.

**Табела 16.** Приказ односа величине и масе бобица постигнуте на приказаном примеру случаја

**Table 16.** The relationship between the size and weight of the berries achieved in the presented case example

Крупноћа бобице (mm)	Маса бобице (g)
14	1,2
15	1,5
16	1,8
18	2,4
20	2,7

На основу података о утрошеној количини воде по месецима и на основу остварених приноса, може да се израчуна ефикасност потрошње воде од стране боровнице.

$$WUE = \frac{14000 \text{ Kg}}{313L * 9000 \text{ биљака}} = \frac{14000}{2817000 \text{ L}} = 4,96 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{ или } 201,21 \frac{\text{L}}{\text{kg}}$$

У овој студији, количина воде која је потрошена за наводњавање 9000 садница боровнице током читавог периода вегетације износила је 2.817.700 L или 2817,7 m<sup>3</sup> воде. Остварени су приноси од 14.000 kg боровнице у другој години раста, тј. првој години рода. То значи да је за принос боровнице од 1 kg потрошено 201,21 L воде, односно да се са 1 m<sup>3</sup> воде може произвести 4,96 kg боровнице. Ови резултати далеко премашују вредности WUE које су остварене у Аустралији (2,1 до 3,1 kg·m<sup>-3</sup>) при наводњавању различитим режимима наводњавања боровнице сличног генетског потенцијала, гајене такође у саксијама (Keen & Slavich, 2012).

Једна од великих предности примене приказане технологије фертигације јесте то што се постиже тачан увид потрошње воде за наводњавање и начин дозирања хранива. Део воде је трајно изгубљен на оцеде, који у овом примеру нису сакупљани за поновну употребу. С обзиром да се мери проценат оцеда, губици воде и хранива се могу прерачунати на средњи

оцед од 10 до 15 %. У овом примеру случаја, током друге године истраживања изгубљено је између 280 и 400 m<sup>3</sup> воде. Треба напоменути да се и у узгоју на банкoвима губи део воде употребљене за наводњавање, вероватно и у већој количини, због дубоке перколације, али се та количина, при таквом начину гајења боровнице нити мери, нити прерачунава у односу на мерену влажност земљишта, што је недостатак технологије узгоја боровнице на банкoвима.

Сталним унапређењем технологије фертигације, стварају се услови за истраживање смањења оцета. Данас су у примени нанотехнологије за убризгавање минералних ђубрива, које поспешују усвајање хранива. Дисперзијом раствора у виду нано честица вода и хранљиве материје постају лакше доступне биљкама, могу се примењивати у мањим количинама, што може да утиче на висину приноса и ефикасније трошење воде (Ajirloo et al., 2015), односно већу еко-еко-ефикасност.

## Закључак

## Conclusions

За успешну технологију гајења боровнице потребно је испоштовати техничке и технолошке стандарде, који су постигнути вишегодишњим истраживањима широм света. Правилан одабир саксија, супстрата, система за наводњавање и друге опреме уз избалансиране количине хранљивих елемената и воде за наводњавање предуслов су за постизање ефикасне производње боровнице с аспекта постизања приноса и потрошње воде. Да би се постигао жељени принос и квалитет плода (величина бобице), почетна тачка у технологији фертигације је анализа квалитета воде за наводњавање. У овом примеру случаја урађена је филтрација воде јоноизмењивачким смолама, којима је уклоњен вишак јона који на боровницу могу да делују токсично, пре све натријума. Након филтрације воде, добијена је квалитетна вода, која може да се користи за наводњавање. Када су познати хемијски састав воде и потребе боровнице за хранивима, приступа се прављењу рецептуре исхране боровнице за сваку фенофазу развића у току једне године, како би се повећавала родност до пуног потенцијала. Новина у овој технологији је успостављање оптималне рН вредности воде и оптималног опсега електричне проводљивости раствора како на капаљки тако и у дренажној води тј. оцеду. Количина хранива која се примењује одређена је сумом обе ЕС вредности, која не би требало да пређе 3.5 dS·m<sup>-1</sup>, да биљка не би ушла у стрес. Трајање заливања треба да је од 5 до 7 минута, а турнуси заливања зависе од фенофазе развића, тј од временских услова, и варирају од 2-3 у току дана у хладнијем делу године до 6-7 (или више по потреби) у топлијем делу године. Након сваке фертигације систем се испира чистом водом с подешеном рН вредношћу на 5,0. Овом технологијом исхране остварени су високи приноси у све три године истраживања. Принос од 4,2 kg по биљци, упоредив је са приносима добијеним у другим климатским условима. Постигнута је висока ефикасност коришћења воде (може се произвести 4,96 kg боровнице по 1 m<sup>3</sup> воде). Добијени резултати указују да је примена приказане процедуре фертигације по фенофазама развића оправдана с аспекта добијених приноса, као и са еколошког аспекта.

## Захвалница

## Acknowledgement

Ово истраживање је обављено у оквиру Мастер академских студија Пољопривреда, модул Управљање земљиштем и водама Пољопривредног факултета, Универзитета у Београду у сарадњи са компанијама Ауqесо, NutriPlan d.o.o , Fertico, на Златка Манџуке у Немеикућама, у оквиру број 451-03-47/2023-01/200116 финансираним од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја Р. Србије.

## Литература

## References

- Al-Juthery, H. W., Lahmod, N. R., & Al-Taee, R. A. (2021, April). Intelligent, nano-fertilizers: a new technology for improvement nutrient use efficiency (article review). In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 735, No. 1, p. 012086). IOP Publishing. DOI:10.1088/1755-1315/735/1/012086
- Ajirloo, A. R., Shaaban, M., & Motlagh, Z. R. (2015). Effect of K nano-fertilizer and N bio-fertilizer on yield and yield components of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). *Int. J. Adv. Biol. Biom. Res*, 3(1), 138-143.
- Abdella, G. M., Kucukvar, M., Ismail, R., Abdelsalam, A. G., Onat, N. C., & Dawoud, O. (2021). A mixed model-based Johnson's relative weights for eco-efficiency assessment: The case for global food consumption. *Environmental Impact Assessment Review*, 89, 106588.
- Keen, B., & Slavich, P. (2012). Comparison of irrigation scheduling strategies for achieving water use efficiency in highbush blueberry. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 40(1), 3-20.
- Kljajić, N., Grujić Vučkovski, B. (2022). Agro-tehnološki zahtevi I implementacija ruralne politike kao izazovi u savremenoj proizvodnji borovnice. *Анализа економских ефеката унапређења производње боровнице у Републици Србији*. Издавач: Институт за економику пољопривреде, уредник Јонел Суботић, pp. 7-32.
- Maia, R., Silva, C., & Costa, E. (2016). Eco-efficiency assessment in the agricultural sector: The Monte Novo irrigation perimeter, Portugal. *Journal of Cleaner Production*, 138, 217-228. <https://agroportal.rs/konstantno-se-povecavaju-povrsine-pod-borovnicom/> Доступно 24.10.2024.
- Николић М. (2006): „Технологија производње боровнице: практични приручник за произвођаче. Графика Јуреш. Чачак
- Суботић, Ј., Јелочник, М., Потребих Б. (2022). Agro-tehnološki zahtevi I implementacija ruralne politike kao izazovi u savremenoj proizvodnji borovnice. *Анализа економских ефеката унапређења производње боровнице у Републици Србији*. Издавач: Институт за економику пољопривреде, уредник Јонел Суботић, pp. 56-79.

- Hart, J., Strik, B., White, L., Yang, W. (2006). Nutrient management for blueberries in Oregon. Oregon State Univ. Ext. Ser. Pub., EM, 8918. [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://catalog.extension.oregonstate.edu/sites/catalog/files/project/pdf/em8918.pdf](https://catalog.extension.oregonstate.edu/sites/catalog/files/project/pdf/em8918.pdf) (доступно 24.10.2023.)
- Strik, B. C. (2013). Nutrient Management of Berry Crops in Oregon. Washington: Oregon State University. [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/file:///C:/Users/PC/Downloads/nutrient\\_management\\_berry\\_crops\\_osu\\_may\\_20131%20\(5\).pdf](chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/file:///C:/Users/PC/Downloads/nutrient_management_berry_crops_osu_may_20131%20(5).pdf) (Доступно 24.10.2023)
- Strik, B., Buller, G., Hellman, E. (2003). Pruning severity affects yield, berry weight, and hand harvest efficiency of highbush blueberry. *HortScience*, 38(2), 196-199.
- Williamson, J. G., Mejia, L., Ferguson, B., Miller, P., & Haman, D. Z. (2015). Seasonal water use of southern highbush blueberry plants in a subtropical climate. *HortTechnology*, 25(2), 185-191.

## Fertigation of blueberries grown in pots -An example of the case of blueberry fertigation in Nemenikuća

Срђан Савић<sup>1,2</sup>, Светлана Антић Младеновић<sup>1</sup>, Милош Павловић<sup>3</sup>, Милош Стојановић<sup>2,3</sup>, Урош Марјановић<sup>4</sup>, Ружица Стричевић<sup>1\*</sup>

### Abstract

The aim of this research is to present the technology of blueberry cultivation, especially from the aspect of fertilization and irrigation (fertigation), and the water use efficiency obtained in blueberry plantations grown in pots. In order to obtain optimal yields, irrigation and nutrition of the plants must be well coordinated, which is shown in this work. The experiment was located in Nemenikuća, Sopot municipality. The location is suitable for blueberry cultivation due to topography, altitude, climatic factors and water supply. Blueberries were planted in 45-liter pots, which was sufficient to obtain high yields. The substrate used was "Legro" with 25% perlite. Dripper with a flow rate of 4 L and a divided sub-dropper for uniform distribution of water in the pot was used. The irrigation system was also equipped with devices that extract the appropriate amount of fertilizer from the tank over the set of pH and EC values. This way of water distribution enables precise control of the quality and parameters of the irrigation water, such as pH and electrical conductivity (EC). Good drainage of the pot is ensured by perforations of the bottom and sides of the pot with several openings of different sizes and shapes. It is desirable that the bottom of the pot is separated from the substrate. The amount of water used for vegetation was 2,817,700 L or 2817.7 m<sup>3</sup> of water for 9,000 plants. A yield of 14,000 kg of blueberries was obtained in second year and 38.000 kg in the third growing year. This means that 201.21 L of water was used for the yield of 1 kg of blueberries or 4.96 kg of blueberry can be produced using 1 m<sup>3</sup> of water. Most of the water was applied in July (92 L per pot). The EC of the solution was variable from day to day, depending on the amount of nutrients consumed by blueberry. Water consumption was determined partly by the duration of irrigation and by the amount of drained water. The pH and EC values of the water were measured daily. The pH in the irrigation water was maintained in the range of 5.0-5.5 and the ES of 1.3-2.5 dS/m, in the drainage water 0.6 to 2.3 dS/m. In the year of replanting 77 g of yield per plant was obtained. Very high yields, as high as 1.5 kg per plant were obtained in the first year of production and as high as 4.2 kg per plant in the second year of production. The average water consumption during the growing season was 3 L per plant, and total water consumption during first yielding year was 313 L.

**Keywords:** blueberry, irrigation, fertigation, water use efficiency

Received 22.12.2023

Revised 26.01.2024

Accepted 9. 02. 2024

## Dynamics of $\text{pH}_{\text{KCl}}$ of reclaimed *Umbric Albeluvisol Abruptic* by ameliorants of various chemical nature

Nelson Quinonez and Manakov Pavel

St. Petersburg State Agrarian University, Peterburgskoye 2, 196601 St. Petersburg, Russia

Corresponding author: P.Manakov: [manakov248@bk.ru](mailto:manakov248@bk.ru) ORCID 0000-0002-0196-4077

### Abstract

In the paper, changes of pH value during 20 days of soil interaction with the solution have been traced. Differences in the reaction rate using ameliorants of different chemical nature for liming have been established. It was revealed that the ameliorative effect of using materials of silicate nature in the experiment was lower than that of carbonate nature. According to the effect all ameliorants used in the experiment can be arranged in the following descending order: dolomite flour (DF), crushed stone sieve (CSS) > conversion chalk (CC), dolomitized limestone flour (DLF) > blast furnace slag (BFS) > oil shale ash (OSA). For all lime fertilizers empirical models of  $\text{pH}_{\text{KCL}}$  value change over the whole experimental interval were developed. Clustering of separate variants of the experiment, produced by different ameliorants on their influence on the index  $\text{pH}_{\text{KCL}}$  on the whole interval of study was carried out.

*Keywords:* reclamation, soil acidity, dolomite, limestone, blast furnace slag, oil shale ash.

### Introduction

The laboratory of soil amelioration at the Agrophysical Research Institute of St. Petersburg has been conducting studies of the rate of ameliorants decomposition in soils for a long time (Litvinovich et al., 2001, 2016a, 2016b, 2021, 2022; Pavlova et al., 2020). It has been established that dissolution of calcareous materials in soils is prolonged in time and depends on their hardness, chemical composition, fineness of grinding, duration of interaction of ameliorant with soil, initial acidity of soils, uniformity of distribution of ameliorant in arable layer (Litvinovich et al., 2012).

It is known that when the soil containing residual amount of unreacted carbonates is exposed to 1n KCl solution, conditions for accelerated reaction lime-ameliorant are created (Nebolsin et al., 2005). Thus, Litvinovich et al. (2010) established the shift of  $\text{pH}_{\text{KCL}}$  of freshly limed soil with dolomite and limestone flour in 1n KCl salt suspension. It was shown that the soil-lime reaction did not terminate after one hour of shaking the suspension. During the 10-hour interaction, an increase in the pH values of the salt suspension was observed both in the

variant with the use of limestone and dolomite flour. The obtained effect can be connected with accelerated decomposition of ameliorant particles by HCl, which is obtained by displacement of hydrogen ions from the soil absorbing complex by potassium cations. Exchange reactions of unreacted  $\text{CaCO}_3$  and  $\text{MgCO}_3$  with KCl could also take place, resulting in the formation of solutions of alkaline salts of potassium carbonates and bicarbonates (Nebolsin et al., 2005).

The present work is a continuation of the experiments started by Litvinovich et al. (2010). The aim of the research was 1) to study the dynamics of pH value in 1n KCl solution during 20 days of interaction of ameliorants of different chemical nature with acid sod-podzolic sandy loam soil fertilized with complex mineral fertilizer; 2) to develop empirical models of  $\text{pH}_{\text{KCL}}$  change depending on the time of fresh limed soil in salt suspension.

## Material and methods

The calculated amount of complex mineral fertilizers and finely ground ameliorants was added to the dried and passed through a sieve with the diameter of holes 1 mm. The soil was poured with 1n KCl solution in 2.5 ratio. The suspension was shaken for 3 minutes and left for 24 hours. Then, the value of  $\text{pH}_{\text{KCL}}$  was determined in the suspension on an ionometer "Anion 7000". After measurement of  $\text{pH}_{\text{KCL}}$ , the suspension was shaken again and left for 24 hours. The change of  $\text{pH}_{\text{KCL}}$  of the suspension was carried out daily for 20 days.

A very strongly acidic sod-podzolic sandy loam soil (*Umbric Albeluvisol Abruptic*) from a natural perennial meadow was selected for the experiment. Gross chemical and granulometric compositions of soils are given in Tables 1 and 2.

**Table 1.** Granulometric composition of sandy loamy sod-podzolic soil

Fraction size, mm	1-0.25	0.25-0.05	0.05-0.01	0.01-0.005	0.005-0.001	< 0.001	<0.01
Content, %	1.77	58.14	21.50	5.95	7.04	6.86	18.6

**Table 2.** Gross chemical composition of soil, %

Loss on ignition	$\text{SiO}_2$	$\text{R}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	CaO	MgO	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{SO}_3$
6.15	81.09	9.28	1.19	7.97	0.44	0.47	0.11	0.51

Physico-chemical characteristics of soil are as follows:  $\text{pH}_{\text{KCL}}$  3,76; Hy - 11,75 mmol(eq)/100 g; humus - 3 %; content of particles < 0,01 mm - 18,6 %. The content of mobile calcium is 1366 mg/kg. Six types of ameliorants of carbonate and silicate nature were used for research. Chemical composition of ameliorants is presented in Table 3.

**Table 3.** Chemical composition of ameliorants

Ameliorant	Mass fraction of CaO, %	Mass fraction of MgO, %	Mass fraction of SiO <sub>2</sub> , %
Conversion chalk (CC)	50.7	1.7	–
Dolomitized limestone flour (DLF)	44.7	4.3	–
Dolomite flour (DF)	30.4	21.0	–
Blast furnace slag (BFS)	39.7	19.7	38.5
Oil shale ash (OSA)	42.1	4.2	27.1
Crushed stone screening (CSS)	27.0	17.3	–

*Conversion chalk (CC)* is a synthetic calcium carbonate obtained as a waste product from nitrogen fertilizer production as a result of nitric acid decomposition of apatite concentrate. It has a finely dispersed granulometric composition (Kabanina et al., 1984). Its detailed ameliorative properties are given in Lavrishchev (2000) and Lavrishchev et al., (2019).

*Dolomite flour (DF)* and Dolomitized limestone flour (DLF) are produced from the dolomite rock in Vitebsk, Republic of Belarus. It contains calcium and magnesium carbonate salts ( $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ ).

*Blast furnace slag (BFS)* is a waste product of ferrous metal production. Blast furnace slag from Severstal Cherepovets steel plant (Russia) was used in the experiment as a lime-silicate fertilizer. Comparative analysis of fertilizing value and ameliorative properties of DF and BFS is given in (Litvinovich et al., 2013, 2023).

*Oil shale ash (OSA)* is formed by burning oil shale at large power plants and small boiler houses equipped for their combustion in a "fluidized" bed at a temperature of about 1000 °C. In our research we used ash from the Kohtla-Järve, Estonia. Silicates and calcium oxides are present in the composition of the active substance of the ash. The presence of magnesium was also found.

*Crushed stone screening (CSS)* is a waste from carbonate rocks (dolomite screening), intended for road construction from the Elizavetino deposit (Gatchina district, Leningrad region, Russia). Fractions smaller than 10 mm are sifted into dumps. Fertilizing value and ameliorative properties of the waste are presented in Litvinovich (2016a).

Before application to the soil, all ameliorants were crushed and passed through a sieve with a hole diameter of 0.25 mm. Doses of ameliorants were equalized by neutralizing ability. The scheme of the experiment is given in Table 4. All variants of the experiment were carried out in 4 replications.



For the comparison variants without application of any chemicals (treatment No 1), as well as soil fertilized with NPK 16:16:16 and APAVIVA (variants 2, 3) by 0.2 g per 1 kg of soil weight were studied. In the ameliorated variants, APAVIVA was applied as a background fertilizer.

APAVIVA - (NPK 15:15:15:15) is produced by PJSC "PhosAgro" (Russia). Nitrogen in the fertilizer is presented in the form of  $\text{NH}_4^+$ , 90% of phosphates are water-soluble forms. It contains 10% sulphur and 0.3-1% MgO.

The necessary amount of ameliorant for liming was established from the calculation of hydrolytic acidity elimination by 1Hy. Recalculation was carried out on the mass of arable layer 3000 tons. The empirical models were built according to Bure (2007).

## Results and Discussions

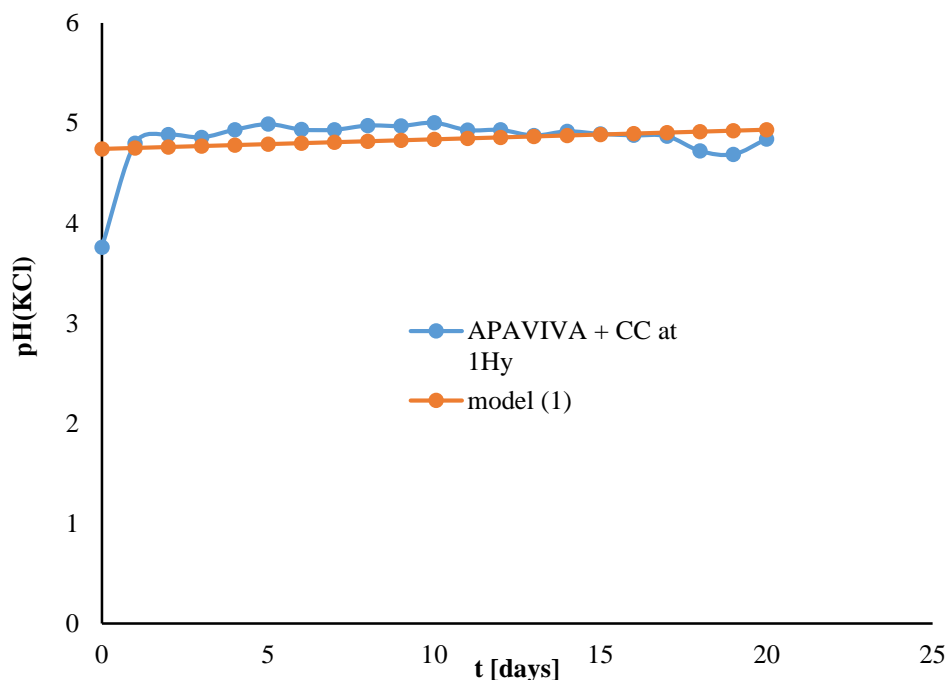
Variation of  $\text{pH}_{\text{KCL}}$  value in the variants of the experiment is shown in Table 4. The data of the table show that the  $\text{pH}_{\text{KCL}}$  value of the suspension in the control variant of the experiment fluctuated from 3.64 to 3.85 units, i.e. remained in the range of very strongly acidic.

Comparative analysis of the  $\text{pH}_{\text{KCL}}$  dynamics data in the variants using APAVIVA and azofoska did not reveal significant differences between them. The  $\text{pH}_{\text{KCL}}$  fluctuations over the entire study interval amounted to: azofoska - 3.56-3.86, APAVIVA - 3.59-3.83 pH units. As in the control variant of the experiment, the value of  $\text{pH}_{\text{KCL}}$  was within the interval of strongly acidic. Neither acidification nor alkalinization of the soil did not occur with the use of complex fertilizers.

A different picture was established when analyzing the data of  $\text{pH}_{\text{KCL}}$  change in freshly limed soils. In the variant with application of conversion chalk a day after infusion the value of  $\text{pH}_{\text{KCL}}$  amounted to 4.8 units (average acidic interval of values) and remained at the same level till the end of the experiment. On the average, during the whole observation period, there were no significant changes in the pH value. Model (1) of the dynamics of the  $\text{pH}_{\text{KCL}}$  value change is not statistically significant (Table 5). The model graph is shown in Fig. 1.

**Table 4.** Dynamics of pH KCl, freshly limed soil with ameliorants of different chemical composition

Treatment	Day										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. Control (without fertilizer)	3.76	3.64	3.69	3.69	3.72	3.74	3.72	3.77	3.81	3.83	3.85
2. Azofoska	3.76	3.56	3.63	3.65	3.69	3.73	3.71	3.75	3.82	3.82	3.86
3. APAVIVA	3.76	3.59	3.66	3.67	3.71	3.75	3.73	3.77	3.81	3.83	3.87
4. APAVIVA + CC at 1Hy	3.76	4.80	4.88	4.86	4.93	4.99	4.94	4.93	4.98	4.97	5.00
5. APAVIVA + DLF at 1Hy	3.76	4.97	4.83	4.85	4.91	4.90	4.98	4.94	4.94	4.99	4.99
6. APAVIVA + DF at 1Hy	3.76	4.53	4.71	4.80	4.93	4.99	5.06	5.07	5.15	5.15	5.20
7. APAVIVA + CSS at 1Hy	3.76	4.63	4.85	4.96	5.08	5.12	5.17	5.16	5.23	5.20	5.23
8. APAVIVA + OSA at 1Hy	3.76	3.74	3.82	3.86	3.89	3.92	3.92	3.97	4.04	4.04	4.09
9. APAVIVA + BFS at 1Hy	3.76	4.05	4.21	4.28	4.37	4.45	4.46	4.50	4.60	4.62	4.66
	Day										
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1. Control (without fertilizer)	3.82	3.83	3.72	3.78	3.77	3.74	3.81	3.79	3.79	3.80	
2. Azofoska	3.79	3.81	3.72	3.79	3.77	3.73	3.75	3.74	3.74	3.76	
3. APAVIVA	3.81	3.85	3.72	3.80	3.78	3.75	3.77	3.80	3.77	3.78	
4. APAVIVA + CC at 1Hy	4.93	4.93	4.88	4.92	4.89	4.88	4.87	4.72	4.69	4.84	
5. APAVIVA + DLF at 1Hy	4.93	4.93	4.89	4.93	4.90	4.86	4.89	4.80	4.65	4.82	
6. APAVIVA + DF at 1Hy	5.14	5.15	5.10	5.18	5.14	5.11	5.15	5.03	4.91	5.04	
7. APAVIVA + CSS at 1Hy	5.18	5.17	5.14	5.19	5.16	5.13	5.15	5.02	4.95	5.03	
8. APAVIVA + OSA at 1Hy	4.04	4.07	3.97	3.98	3.99	3.95	3.97	3.97	3.67	3.84	
9. APAVIVA + BFS at 1Hy	4.63	4.64	4.58	4.65	4.65	4.61	4.65	4.60	4.44	4.51	



**Fig. 1.** Dynamics of  $pH_{KCL}$  value in soil ameliorated by CC

The character of pH value change when using dolomite and dolomitized limestone flour (DLF) differed from each other. In the variant with DLF, the maximum pH shift was reached a day after suspension infusion (4.97 pH units). Further, during the whole period of study, the fluctuations were not significant and fell within the range corresponding to the average acidic pH values.

**Table 5.** Empirical models which describe the changes of  $pH_{KCL}$  in salt suspension depending on the time of interaction between soil and ameliorant

No.	Ameliorant	Model	p-value	R <sup>2</sup>
1	CC	$y_1 = 4,74 + 0,0096 \cdot t$	0.3	0.05
2	DLF	$y_2 = 4,75 + 0,0092 \cdot t$	0.34	0.048
3	DF	$y_3 = 4,66 + 0,03 \cdot t$	0.005	0.34
4	CSS	$y_4 = 4,78 + 0,024 \cdot t$	0.034	0.215
5	OSA	$y_7 = 3,89 + 0,004 \cdot t$	0.31	0.052
6	BFS	$y_8 = 4,21 + 0,026 \cdot t$	0.0003	0.499

In the treatment with DF application the effect after a day of infusion was lower (4.53 pH units). The growth of pH values continued until the middle of the experiment (10 days after liming) - 5.2 pH units. Then, there was a tendency of gradual decrease of pH value.

The similar character of dynamics of pH value change in soil suspension was established in the variant with the use of finely ground dolomite sift for liming. Models Nos. 2, 3 and 4 of pH value change when using for liming ameliorants of carbonate nature are statistically insignificant during the whole period of study (Table 5). Graphs of models are shown in Figs. 2, 3 and 4.

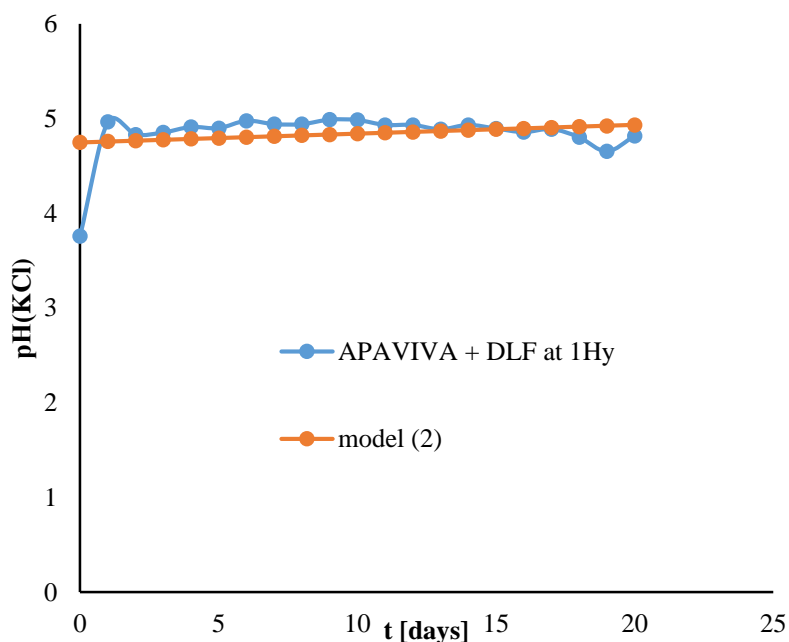


Fig. 2. Dynamics of pH<sub>KCL</sub> value in soil ameliorated by DLF

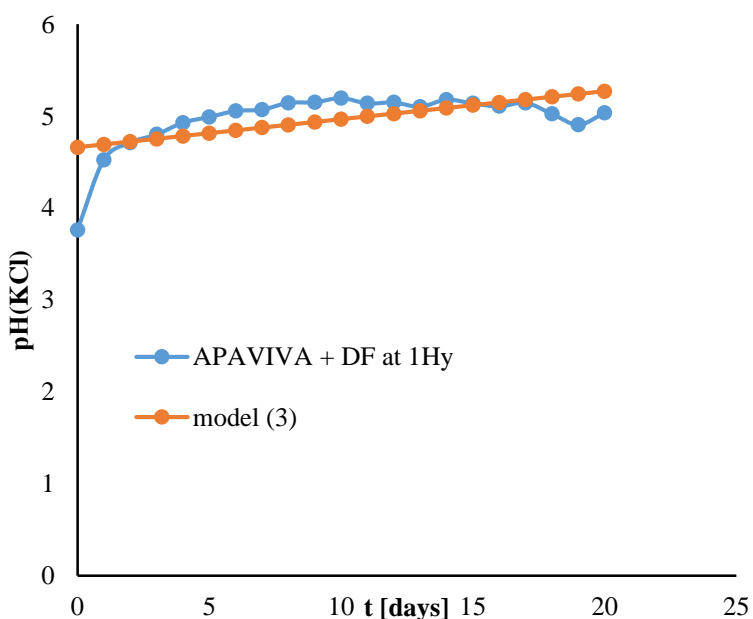
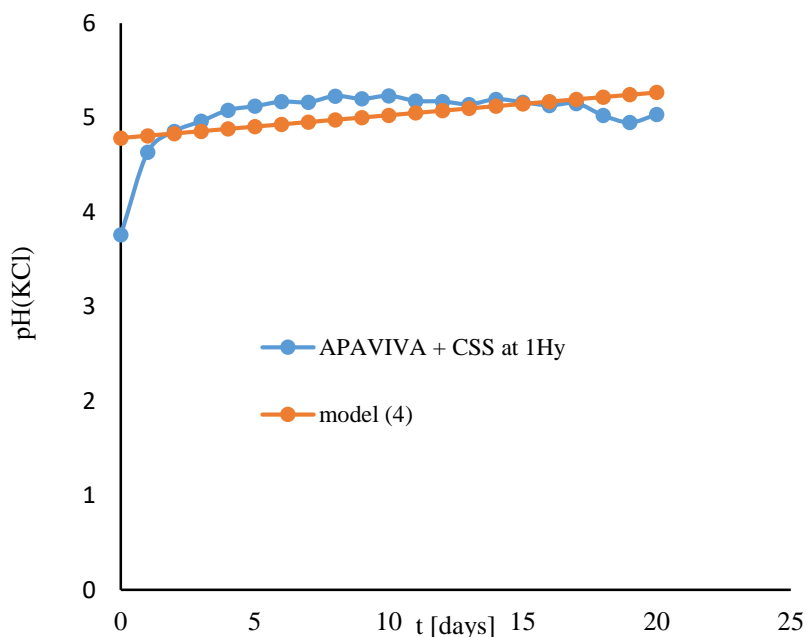


Fig. 3. Dynamics of pH<sub>KCL</sub> value in soil ameliorated by DF



**Fig. 4.** Dynamics of  $\text{pH}_{\text{KCL}}$  value in the soil ameliorated by CSS

Ameliorants of silicate nature in the experiment are represented by industrial wastes: blast furnace slag and shale ash. The effect from application of these ameliorants was lower than ameliorants of carbonate nature. Fluctuations of pH value did not go beyond average acidic values. Thus, the growth of pH value in the variant with DS was observed up to the 8th day of study (4.60 pH units). Up to 18 days of ameliorant interaction with soil, pH value remained practically unchanged (4.6-4.66 pH units). Then there was a tendency to decrease of pH value of salt suspension.

The least ameliorative effect was characterized by shale ash. Maximum shift of pH values in some periods of observations did not exceed 0.3-0.4 pH units. Models Nos. 7 and 8 describing the dynamics of pH value change in the soil of variants ameliorated by OSA and BFS are statistically significant (Table 5). Graphs of the models are shown in Figs. 5 и 6.

Thus, the ameliorative effect of the materials of silicate nature in the experiment was lower than that of carbonate nature. According to the effect achieved as a result of liming, all ameliorants used in the experiment can be arranged in the following descending order: dolomite flour, crushed stone screening > conversion chalk, dolomitized limestone flour > blast furnace slag > shale ash.

Analysis of models of  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  value change in variants with different ameliorants allowed to establish the following:

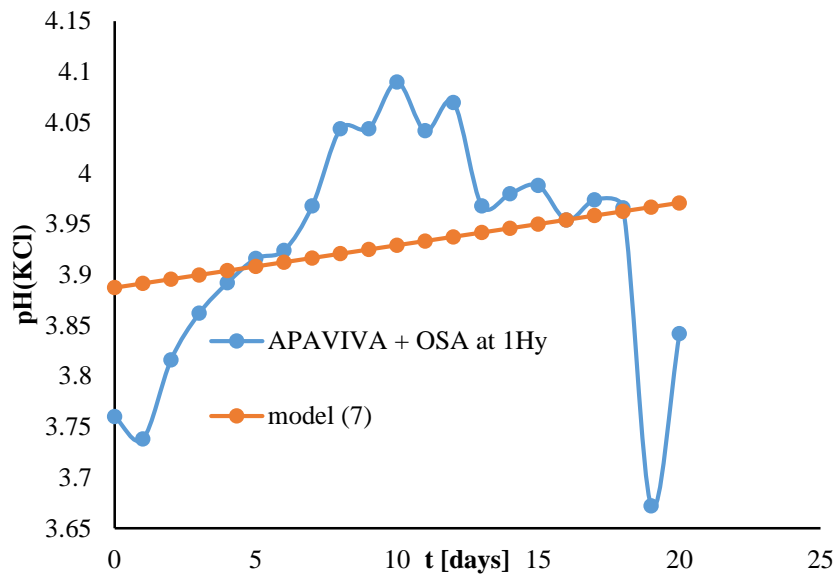


Fig. 5. Dynamics of  $\text{pH}_{\text{KCL}}$  value in soil ameliorated by OSA

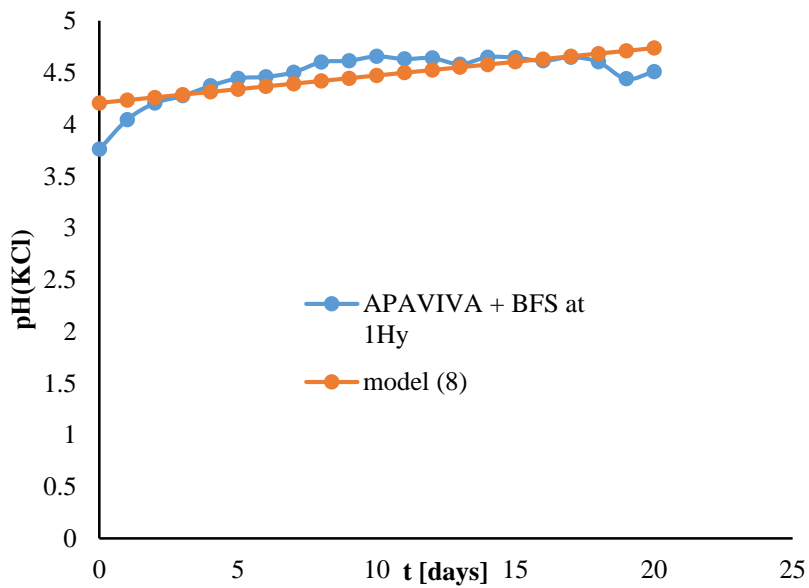


Fig. 6. Dynamics of  $\text{pH}_{\text{KCL}}$  value in soil ameliorated by BFS

Empirical model (3) in variant 6 is statistically significant at high level of values. In this variant of the experiment there is a statistically significant change in pH in average (pH increases).

Empirical models (4, 6) - have high statistical significance, there is an increase in pH.

Empirical models (1), (2), (5) are statistically insignificant, there is no significant change in pH on average over the entire study interval.

The empirical models (1) and (2) are very similar, the coefficients of the models are close in their values. As can be seen from the graphs, the dynamics in the variants of experiment 4, 5 are very similar (no statistically significant changes in pH on average over the entire interval of observation).

Despite the lack of statistical significance, the empirical model (5) differs markedly from models (1), (2) by the values of coefficients and, as can be seen from the graph, the nature of dynamics in the variant of experiment 7 differs markedly from the variants of experiments 4, 5.

There is an undoubted similarity of models (4) and (6), the coefficients of the models are close in their values and, as can be seen from the graphs, the dynamics of  $\text{pH}_{\text{KCL}}$  change is very similar (statistically significant changes occur).

In general, the following groups of experiments can be distinguished on the basis of the conducted research:

- Group I includes variant 6 (background + dolomite flour at 1 Hy)
- Group II includes variants 7 (background + crushed stone sift at 1 Hy)  
9 (background + blast furnace slag at 1 Hy).
- Group III includes variants 4 (background + con. chalk at 1 Hy)  
5 (background + dol. flour at 1 Hy).
- Group IV includes variant 8 (background + shale ash at 1 Hy).

## Conclusion

When ameliorants of different chemical nature are applied to sod-podzolic sandy loam soil, conditions for acceleration of soil:ameliorant reaction in 1n KCl solution are created. The reaction in suspension does not end after 1 day of ameliorant interaction with soil.

According to the effect all ameliorants used in the experiment can be arranged in the following descending order: dolomite flour, crushed stone sift > conversion chalk, dolomitized

limestone flour > blast furnace slag > shale ash. When using lime materials of silicate nature, the ameliorative effect was lower than that of ameliorants of carbonate nature.

Empirical models describing changes of  $pH_{KCL}$  value for 20 days of “soil- ameliorant” reaction both for ameliorants of carbonate and silicate nature were developed. The clustering of separate variants of the experiment, produced by different ameliorants on their influence on the  $pH_{KCL}$  value during the whole period of study was carried out.

## References

- Litvinovich A.V., Pavlova O.Yu., Lavrishchev A.V., Biryukov V.A. 2001. Decomposition of conversion chalk in sod-podzolic soil in connection with the threat of its contamination with stable strontium. *Agrochemistry*, 11:64-68.
- Litvinovich A.V., Pavlova O.Yu., Lavrishchev A.V., Bure V.M., Kovleva A.O. 2016a. Ameliorative properties, fertilizing value and dissolution rate in soils of different size fractions of dolomite screening used for road construction. *Agrochemistry*, 2:31-41.
- Litvinovich, A.V.; Pavlova, O.Yu.; Lavrishchev, A.V.; Bure, V.M.; Salaev, I.V. 2016b. Dissolution rate in soils of ameliorants of carbonate nature (empirical models of dissolution dynamics). *Agrochemistry*, 12:42-50.
- Pavlova O.Yu., Berseneva A.O., Litvinovich A.V., Lavrishchev A.V., Salaev I.V., Bure V.M. 2020. Study of the dissolution rate of large dolomite particles in acidic sod-podzolic sandy loam soil according to the laboratory experiment. *Agrophysics*, 3:23-28.
- Litvinovich AV, Berseneva AO, Pavlova OY, Lavrishchev AV, Khomyakov YV, Dubovitskaya VI. 2021. Decomposition of large particles of dolomite in acid sod-podzolic sandy loam soil; the influence of liming and different levels of mineral nutrition of wheat on the change of acid-base properties and plant yields (according to the model experiment). *Agrophysics*, 1:14-18.
- Litvinovich A.V., Berseneva A.O., Pavlova O.Yu., Lavrishchev A.V., Bure V.M. 2022. Process of decomposition of large particles of dolomite in strongly acidic sod-podzolic sandy loam soil. Dynamics of dolomite mass loss at different stages of dissolution (according to laboratory experiment). *Agrochemistry*, 3:52-60.
- Litvinovich, A.V.; Nebolsina, Z.P. 2012. Duration of action of lime ameliorants in soils and liming efficiency. *Agrochemistry*, 10: 79-94.
- Nebolsin A.N., Nebolsina Z.P. 2005. Theoretical bases of soil liming. St. Petersburg, 252 p.



- Litvinovich A.V., Pavlova O.Yu. 2010. Change of soil acidity in the process of interaction of ameliorants with soils (according to laboratory and vegetation experiments). *Agrochemistry*, 10: 3-10.
- Kabanina, L.N., Yuzhanina E.N., Yulushev I.G. 1984. Influence of precipitated calcium carbonate on the productivity of agricultural crops in the Kirov region. In *Proceedings: Effect of fertilizers and industrial wastes on the productivity of agricultural crops, crop quality and soil properties*. Tr. Gorky Agricultural Institute, pp. 12-15.
- Lavrishchev A.V. 2000. Calcium and strontium in the soil-plant system at liming of soils by conversion chalk (on the example of JSC "Acron" G. Novgorod) PhD thesis, St. Petersburg-Pushkin, 16 p.
- Lavrishchev A.V., Litvinovich A.V. Stable strontium in agroecosystems. St. Petersburg, 2019. Ser. Textbooks for universities. Special literature, 192 p.
- Litvinovich A.V., Nebolsina Z.P., Lavrishchev A.V., Pavlova O.Yu., Kovleva A.O., Kuzemkin I.A. 2013. Some results of the study of ameliorative properties of fine fractions of dolomite flour and blast furnace slag of Cherepovets metallurgical plant. *Agrophysics*, 2:44-51.
- Litvinovich A.V., Lavrishev A.V., Kovleva A.O., Bure V.M. 2023. Chemical composition of spring wheat plants on acidic sod-podzolic light loamy soil, limed with calcium-containing industrial wastes. Empirical models of macro- and microelements translocation into vegetative and generative plant organs. *Agrochemistry* 1:73-82.
- Bure V.M. 2007. *Methodology of statistical analysis of experimental data*. St. Petersburg, 141 p.

## Динамика рН<sub>КСЛ</sub> у *Umbric Albeluvisol Abruptic* мелиорансима различите хемијске природе

Nelson Quinonez and Manakov Pavel

St. Petersburg State Agrarian University, Peterburgskoye 2, 196601 St. Petersburg, Russia

Corresponding author: P.Manakov: [manakov248@bk.ru](mailto:manakov248@bk.ru) ORCID 0000-0002-0196-4077

### Izvod

У раду је приказана могућност убрзане реакције мелиорантно-свеже кречованог земљишта у 1n раствору калијум хлорида. Праћене су промене рН вредности током 20 дана интеракције земљишта са раствором. Утврђене су разлике у брзини реакције коришћењем мелиоранса различите хемијске природе. Утврђено је да је мелиоративни ефекат употребе материјала силикатне природе у експерименту мањи од карбонатног. Према постигнутом ефекту кречњавањем, сви мелиоранти коришћени у огледу могу се распоредити у следећем опадајућем реду: доломитно брашно (DF), крхотине од ломљеног камена (CSS) > конверзиона креда (CC), доломитизовано кречњачко брашно (DLF). ) > шљака високе пећи (BFS) > пепео из уљних шкриљаца (OSA). За сва кречна ђубрива развијени су емпиријски модели промене рН<sub>КСЛ</sub> вредности током целог експерименталног интервала. Извршено је груписање одвојених варијанти експеримента, произведених од различитих мелиоранти на њихов утицај на индекс рН<sub>КСЛ</sub> у целом интервалу истраживања.

*Кључне речи:* мелиорација, киселост земљишта, доломит, кречњак, шљака високе пећи, пепео из уљних шкриљаца

Received 18.02.2024

Revised 15.04.2024

Accepted 9.05.2024

## **Влияние комплексного удобрения АРАВИВА NPK(S) 15:15:15(10) на урожайность и биометрические показатели салата цикорного эндивия (*Cichorium endivia* L.)**

### **Effect of complex fertilizer АРАВИВА NPK(S) 15:15:15(10) on the yield and biometric parameters of endive lettuce (*Cichorium endivia* L.)**

Татьяна Лаврищева

Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Россия, 196601, Санкт-Петербург, Перербургское ш., 2

Tatiana Lavrishcheva

St. Petersburg State Agrarian University, Pererburgskoye ave. 2, 196601, St.-Petersburg, Russia;

Email: ta.lavrishcheva@yandex.ru

ORCID 0000-0003-0432-9295

#### **Abstract**

The effect of the complex fertilizer АРАВИВА NPK(S) 15:15:15(10) on the yield and biometric parameters of various varieties of endive lettuce (*Cichorium endivia* L.) was studied in controlled conditions of a pot experiment. The phytolaboratory maintained optimal temperature, humidity and lighting. UnionPowerStar-40W-T lamps were used in the experiment, diode wavelength: blue (450 nm), red (660 nm). Daylight hours were 15 hours (from 7-00 to 22-00). The application of АРАВИВА led to an increase in plant height, leaf rosette diameter, number of leaves and their assimilation surface. The use of mineral fertilizer led to an increase in plant productivity. However, increased mineral nutrition contributed to an accelerated transition to the generative phase of plant development, the formation of flowering shoots and the outflow of nutrients from the leaves to the stem. This had a negative impact on the yield of marketable products - chicory lettuce leaves. The addition of lime material (dolomite flour) together with mineral fertilizer increased plant productivity as well as helped to inhibit the accelerated transition to the generative phase and increase the yield of leaf mass.

**Keywords:** endive lettuce, mineral fertilizer, liming, biometric indicators, crop yield

#### **Введение**

##### **Introduction**

Цикорий – очень популярная культура в странах Европы. Его целебные свойства известны с древности. В листьях салата содержится много кальция, фосфора, железа, калия, β-каротина, витамина С и витаминов группы В, биологически активных веществ, таких как инулин и интибин, а также фенольных соединений (Cieřlik et al., 2010; Degl'Innocenti et al., 2008; Hedges et al., 2005). Благодаря наличию этих веществ цикорные салаты обладают ценными полезными свойствами, а их систематическое

употребление благотворно влияет на пищеварительную и сердечно-сосудистую системы (Cieślak, 2009; Cieślak et al., 2011; Rice-Evans et al. 1997).

Крупнейшими мировыми производителями и экспортерами цикорных салатов являются: Китай, США, Индия, Испания, Италия, Бельгия, а также Франция и Нидерланды. В небольших количествах салатный цикорий возделывают в России.

Листья салата цикорного содержат белок, сахара, аскорбиновую кислоту и витамины группы В, провитамин А, соли калия, кальция и железа, а также ценные вещества инулин и глюкозид интибин, благотворно влияющие на процессы пищеварения, обмен веществ, деятельность нервной и сердечно-сосудистой системы. Благодаря наличию инулина эндивий ценен в питании больных сахарным диабетом и является перспективной культурой для выращивания в условиях Ленинградской области.

Ранее нами были проведены исследования по сравнительной оценке сортов салата, выращенного в плёночных теплицах Ленинградской области (Осипова с соавт., 2016, Лаврищева, 2017), изучалось влияние климата (Lavrishcheva, 2020), площади питания и сроков выращивания на биометрические показатели (Лаврищева, 2019а, 2022) и биохимический состав растений цикорного салата (Лаврищева, 2019б, 2022; Лаврищева с соавт., 2020), была дана оценка воздействия на эндивий стимуляторов роста (Лаврищева с соавт., 2018, Осипова с соавт., 2020).

К сожалению, на данный момент в литературе мало сведений о влиянии удобрений и мелиорантов на салат цикорный эндивий. Известно, что как и все салатные культуры, эндивий требователен к почвенному плодородию и отзывчив на внесение удобрений. Из минеральных удобрений рекомендована нитрофоска в дозе 20-30 г/м<sup>2</sup> (Кононков, 1992). Однако избыток азота в почве, особенно в конце вегетации, усиливает восприимчивость растений к болезням в период хранения и этиолирования (отбеления).

Цель исследований – изучить влияние комплексного удобрения АРАVIVA NPK(S) 15:15:15(10) и доломитовой муки на урожайность и биометрические показатели растений салата цикорного эндивия, выращенного на кислой дерново-подзолистой среднесуглинистой почве в условиях климатической камеры.

## Материалы и методы

### Materials and methods

Объектом изучения явились два сорта салата цикорного эндивия Green curled и Миледи. Сорт: Green curled предоставлен отделом генетических ресурсов овощных и бахчевых культур ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова» (ВИР), № каталога ВИР – К-13 (Вр 47). Происхождение – Канада. Место репродукции – Майкоп (2009), Пушкин (2010).

Сорт: Миледи Включен в Госреестр по Российской Федерации в 2013 г. Оригинатор НМ. CLAUSE S.A. (Франция). Рекомендуются для использования листьев в свежем виде и в кулинарии. Раннеспелый. Розетка листьев вертикальная до приподнятой, высотой 20 см, диаметром 32 см. Лист длинный, средней ширины до широкого, зеленый. Сердцевина эллиптическая, зеленая. Основание средней жилки листа широкое, белое. Масса товарного растения до 600 г. Урожайность 4,9 кг/кв.м. Изучение влияния удобрения АРАВИВА NPK(S) 15:15:15(10) на растениях салата цикорного эндивия (*Cichorium endivia* L.) проводили в контролируемых условиях лабораторно-вегетационного опыта в фитолaborатории (рис. 1).

В фитолaborатории поддерживали оптимальную температуру, влажность и освещение. В опыте использовали лампы UnionPowerStar-40W-T, длина волны диодов: синий (450 нм), красный (660 нм). «Световой» день – 15 часов (с 7-00 до 22-00). Спектральная характеристика освещённости в период проведения эксперимента (рис. 2) измерялась спектрофотометром «ТКА-спектр». Влажность почвы в процессе выращивания растений поддерживали на уровне 60 % ППВ. Полив проводили дистиллированной водой. Опыт был заложен на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве: гумус – 1.76, рН<sub>KCl</sub> – 5.4, Нг – 4.46 ммоль (экв)/100 г.

Схема опыта:

- 1 вариант – контроль (без удобрений) – сорт Green curled
- 2 вариант – контроль (без удобрений) – сорт Миледи
- 3 вариант – АРАВИВА NPK(S) 15:15:15(10) – (Фон) – сорт Green curled
- 4 вариант – АРАВИВА NPK(S) 15:15:15(10) – (Фон) – сорт Миледи
- 5 вариант – Фон + Доломитовая мука (ДМ) по 1Нг – сорт Green curled
- 6 вариант – Фон + Доломитовая мука (ДМ) по 1Нг – сорт Миледи



**Рис. 1.** Лабораторно-вегетационный опыт по изучению эффективности АРАВИВА NPK(S) 15:15:15(10) на растениях салата цикорного эндивия

**Fig. 1.** Pot experiment to study the effectiveness АРАВИВА NPK(S) 15:15:15(10) on chicory endive lettuce plants

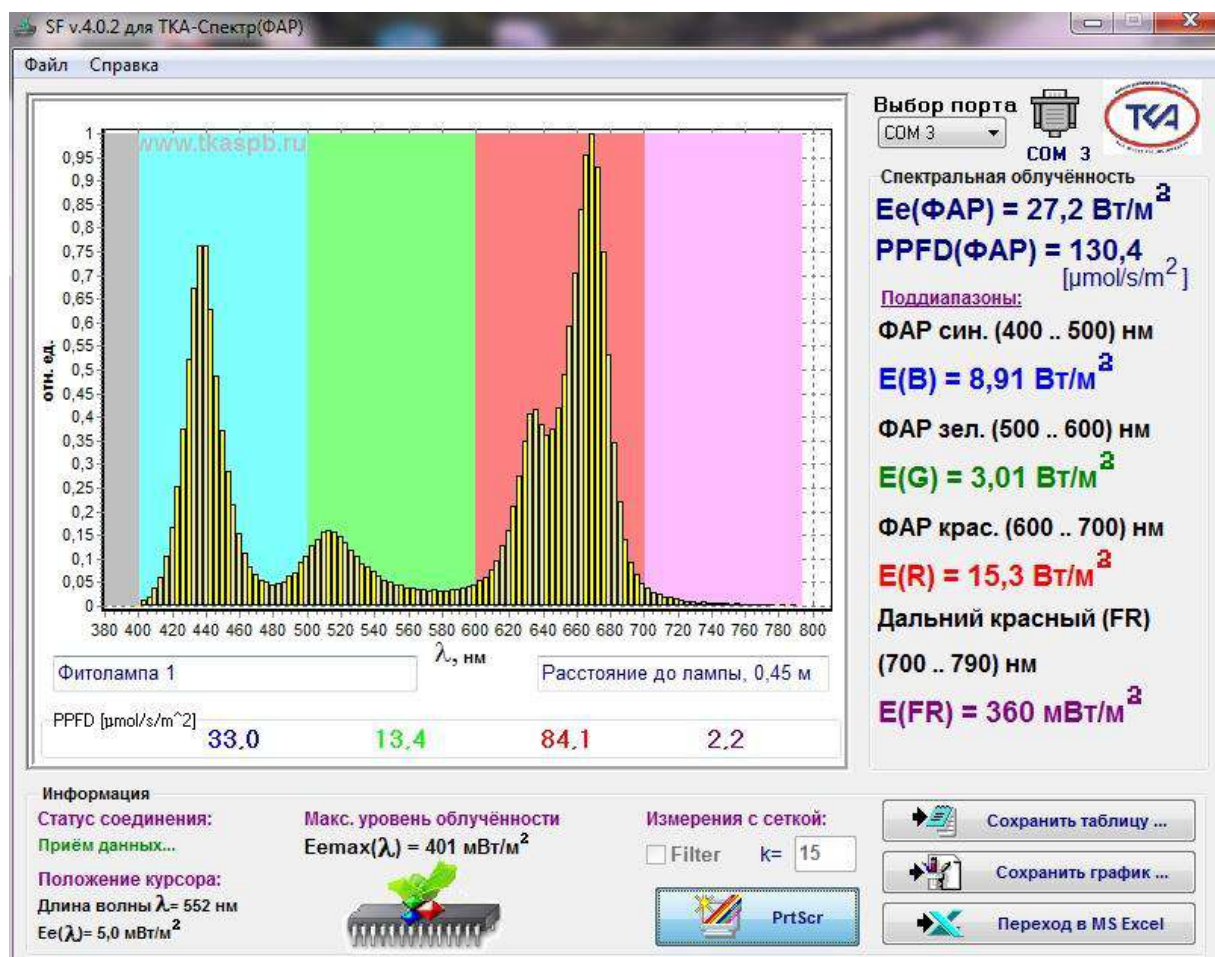
В качестве фона в почву вносили комплексное минеральное удобрение АРАВИВА (NPK(S) 15:15:15(10)) производится ПАО «ФосАгро». Азот в удобрении представлен в форме  $\text{NH}_4$ , 90 % фосфатов составляют водорастворимые формы. Содержит в своём составе 10 % серы и 0,3-1 % MgO. pH 6,0–7,2, по гранулометрическому составу гранулы 1-6 мм ( $\geq 97\%$ ).

Комплексное удобрение АРАВИВА (NPK(S) 15:15:15(10)) вносили перед каждой ротацией эндивия.

Сыромолотая доломитовая мука (ДМ) произведена из доломита (месторождение Борницы, Гатчинского района Ленинградской области). Содержит в своём составе углекислые соли кальция и магния ( $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ ). Нейтрализующая способность отсева 84,5 % ( $\text{CaCO}_3 - 46,1\% + \text{MgCO}_3 - 38,4\%$ ). Химический состав сыромолотого доломита представлен в таблице 1.

**Таблица 1.** Химический состав доломитовой муки, %**Table 1.** Chemical composition of dolomite flour, %

CaCO <sub>3</sub> + MgCO <sub>3</sub>	Ni	Cu	Zn	Pb	Cd
84,5	0,00062	0,000146	0,00085	0,000976	0,016

**Рис. 2** Спектральная характеристика освещения фитолaborатории**Fig. 2** Spectral characteristics of the phytolaboratory lighting

Доломитовую муку вносили в почву один раз во время закладки опыта и затем изучали в последствии. Опыт был заложен 11 августа 2023 года. Масса почвы в сосудах 2 кг. Повторность 3-кратная. Перед высаживанием в сосуды семена проращивали в климатостате (термолюминостате) КС-200 при температуре 20 °С. Календарный график проведения эксперимента представлен в табл. 2.

**Таблица 2.** Календарный график проведения опыта**Table 2.** Calendar schedule for conducting the experiment

Ротация	Внесение АРАВИВА	Внесение мелиоранта	Закладка семян на проращивание в климатостат	Высаживание всходов в сосуды	Уборка урожая	Количество дней с момента проращивания
1 ротация	11.08.2023	11.08.2023	14.08.2023	21.08.2023	12.11.2023	90
2 ротация	01.04.2024	–	29.03.2024	05.04.2024	27.06.2024	90

Статистическую обработку проводили по методу дисперсионного анализа однофакторного опыта (Доспехов, 2011) с использованием прикладных программ Microsoft Excel.

**Результаты и обсуждение****Results and discussion**

Результаты изучения влияния внесения удобрения и мелиоранта на биометрические показатели различных сортов салата цикорного эндивия представлены в табл. 3. Как видно из представленных данных, внесение АРАВИВА привело к увеличению высоты растений салата цикорного эндивия. Достоверные различия были установлены на обоих изученных сортах. При этом, в первой ротации наибольшее увеличение высоты было выявлено в вариантах с выращиванием сорта Миледи. В первую очередь это связано с образованием цветоносного побега. По-видимому, приток элементов питания способствовал ускорению перехода растений к генеративной фазе. Во второй ротации образование цветоносного побега в варианте с внесением АРАВИВА было установлено на обоих сортах эндивия (рис. 3).

Высота растений в вариантах с внесением доломитовой муки у обоих сортов, выращенных в первую ротацию, была достоверно выше, чем в контрольном варианте. Во второй ротации достоверные различия были выявлены только у сорта Миледи (табл. 3). Следует отметить, что известкование почв доломитовой мукой по фону минерального удобрения привело к ингибированию образования цветоносного побега (рис. 3). Внесение удобрения и мелиоранта привело к увеличению диаметра розетки листьев. У растений первой ротации увеличение диаметра розетки в варианте с внесением АРАВИВА по сравнению с контролем прослеживается как тенденция, в варианте с известкованием доломитовой мукой выявлены достоверные различия. У



растений, выращенных во вторую ротацию, достоверное увеличение диаметра розетки прослеживается во всех вариантах с внесением средств химизации.

**Таблица 3.** Влияние удобрений и мелиоранта на биометрические показатели растений салата цикорного эндивия

**Table 3.** The influence of fertilizers and ameliorant on the biometric parameters of endive lettuce plants

Вариант опыта	Высота растений, см	Диаметр розетки, см	Количество листьев, шт	Площадь ассимиляционной поверхности, м <sup>2</sup>
<b>1 ротация</b>				
1 Контроль – сорт Green curled	15,9	19,3	22	0,40
2 Контроль – сорт Миледи	19,3	21,3	14	0,37
3 АРАВИВА NPK(S) 15:15:15(10) – (Фон) – сорт Green curled	18,1	23,1	54	0,84
4 АРАВИВА NPK(S) 15:15:15(10) – (Фон) – сорт Миледи	32,0	23,7	29	0,54
5 Фон + (ДМ) по 1Нг – сорт Green curled	21,8	25,6	55	1,03
6 Фон + (ДМ) по 1Нг – сорт Миледи	28,6	27,9	25	0,71
НСР <sub>05</sub>	2,8	4,3	9	0,17
<b>2 ротация</b>				
1 Контроль – сорт Green curled	9,76	14,10	34	0,37
2 Контроль – сорт Миледи	10,88	14,14	24	0,28
3 АРАВИВА NPK(S) 15:15:15(10) – (Фон) – сорт Green curled	23,73	17,89	53	0,47
4 АРАВИВА NPK(S) 15:15:15(10) – (Фон) – сорт Миледи	25,36	19,74	41	0,61
5 Фон + (ДМ) по 1Нг – сорт Green curled	13,81	18,24	52	0,87
6 Фон + (ДМ) по 1Нг – сорт Миледи	16,79	19,74	50	0,95
НСР <sub>05</sub>	5,61	2,14	7	0,22

Внесение минерального удобрения и известкование почв привело к увеличению количества листьев и ассимиляционной поверхности растений эндивия. Достоверные различия были установлены у растений обоих сортов в первой и во второй ротациях (табл. 3).



**Рис. 3.** Влияние удобрений на формирование вегетативной массы растений эндивия сортов Green Curled (А) и Миледи (Б)

**Fig. 3.** The influence of fertilizers on the formation of the vegetative mass of endive plants of the Green Curled (A) and Milady (B) varieties

Результаты изучения влияния на урожайность различных сортов салата цикорного эндивия представлены в табл. 4.

**Таблица 4.** Влияние удобрений и мелиоранта на урожайность растений салата цикорного эндивия, г/сосуд

**Table 4.** Effect of fertilizers and ameliorant on the yield of chicory endive salad plants, g/pot

Вариант опыта	Зелёная масса растений	Зелёная масса листьев	Воздушно-сухая масса растений
<b>1 ротация</b>			
1 Контроль – сорт Green curled	70,98	66,42	8,70
2 Контроль – сорт Миледи	69,71	65,11	10,77
3 АРАВИВА NPK(S) 15:15:15(10) – (Фон) – сорт Green curled	126,35	118,60	16,90
4 АРАВИВА NPK(S) 15:15:15(10) – (Фон) – сорт Миледи	101,59	72,24	21,82
5 Фон + (ДМ) по 1Нг – сорт Green curled	154,38	146,60	17,78
6 Фон + (ДМ) по 1Нг – сорт Миледи	126,34	106,69	21,82
НСР <sub>05</sub>	33,02	31,51	3,08
<b>2 ротация</b>			
1 Контроль – сорт Green curled	66,73	62,74	9,40
2 Контроль – сорт Миледи	54,88	51,12	7,65
3 АРАВИВА NPK(S) 15:15:15(10) – (Фон) – сорт Green curled	88,90	65,23	13,80
4 АРАВИВА NPK(S) 15:15:15(10) – (Фон) – сорт Миледи	103,76	79,44	15,20
5 Фон + (ДМ) по 1Нг – сорт Green curled	127,60	122,08	14,28
6 Фон + (ДМ) по 1Нг – сорт Миледи	148,30	139,32	16,18
НСР <sub>05</sub>	29,42	30,33	2,96

Выход зелёной массы растений первой ротации в вариантах без использования средств химизации составил 70,98 г/сосуд у сорта Green Curled и 69,71 г/сосуд у сорта Миледи. Внесение АРАВИВА привело к увеличению биомассы растений до 126,35 г/сосуд у растений сорта Green Curled и до 101,59 г/сосуд у сорта Миледи. Следует отметить, что у сорта Green Curled большую часть массы растения составляет товарный продукт – листья (93,86 %), у сорта Миледи масса листьев составила лишь 71,11 % от массы растения. Это связано с образованием у растений сорта Миледи цветоносного побега. Внесение известкового материала привело к увеличению выхода зелёной массы растений первой ротации до 154,38 г/сосуд у сорта Green Curled и 126,34 г/сосуд у сорта Миледи. При этом, доля массы листьев составила 94,96 и 84,44 % соответственно.

Закономерности, выявленные по выходу зелёной массы растений первой ротации, повторились при выращивании растений во вторую ротацию. Следует отметить, что выявленные различия зелёной массы растений в большинстве случаев носили характер тенденции и не выходили за пределы наименьшей существенной

разницы, что связано с различиями в водопотреблении на разных стадиях развития растений, формировании цветоносного побега и т.д. Более точно судить о влиянии удобрений на урожайность можно по данным воздушно-сухой массы (табл. 4).

Внесение АРАВИВА привело к достоверному увеличению воздушно-сухой массы растений, выращенных в первую и вторую ротации. Масса растений сорта Green curled увеличилась по сравнению с контролем с 8,70 до 16,90 г/сосуд в первую ротацию и с 9,40 до 13,80 во вторую ротацию. Растения сорта Миледи увеличили свою биомассу благодаря внесению АРАВИВА с 10,77 до 21,82 г/сосуд в первую ротацию и с 7,65 до 15,20 г/сосуд во вторую ротацию. Внесение химического мелиоранта по фону минерального удобрения не привело к достоверной прибавке урожая по сравнению с вариантами с внесением АРАВИВА, хотя урожайность в сосудах была выше, чем у вариантов с внесением только минерального удобрения.

Таким образом, внесение минерального удобрения оказало положительное воздействие на рост и развитие эндивия и привело к увеличению урожайности растений. Однако усиление минерального питания способствовало к ускоренному переходу к генеративной фазе развития растений, образованию цветоносного побега и оттоку питательных элементов из листьев в стебель. Это отрицательно сказывается на выходе товарной продукции – листьях цикорного салата. Внесение наряду с минеральным удобрением известкового материала – доломитовой муки наряду с увеличением урожайности растений способствовало ингибированию ускоренного перехода к генеративной фазе и увеличению выхода листьев.

## **Выводы**

## **Conclusion**

1. Внесение АРАВИВА NPK(S) 15:15:15(10) привело к достоверному увеличению высоты растений салата цикорного эндивия. В первой ротации наибольшее увеличение высоты было выявлено у растений сорта Миледи в связи с ускоренным образованием цветоносного побега. Во второй ротации образование цветоносного побега в варианте с внесением АРАВИВА было установлено на обоих сортах эндивия. Известкование почв доломитовой мукой по фону минерального удобрения привело к ингибированию образования цветоносного побега.

2. Внесение АРАВИВА NPK(S) 15:15:15(10) и известкование почв доломитовой мукой привело к увеличению количества листьев и ассимиляционной поверхности

растений эндивия. Достоверные различия были установлены у растений обоих сортов в первой и во второй ротациях.

3. Использование АРАВИВА NPK(S) 15:15:15(10) способствовало увеличению зелёной массы растений. У сорта Green Curled большую часть массы растения составляет товарный продукт – листья (93,86 %), у сорта Миледи, в связи с образованием цветоносного побега масса листьев составила лишь 71,11 % от массы растения. При известковании доля массы листьев составила 94,96 % у сорта Green Curled и 84,44 % у сорта Миледи.

5. В вариантах с применением АРАВИВА NPK(S) 15:15:15(10) установлено достоверное увеличение воздушно-сухой массы растений, выращенных в первую и вторую ротации. Известкование доломитовой мукой не привело к достоверной прибавке урожая по сравнению с вариантами с внесением только минерального удобрения.

## Литература

### References

- Cieřlik, E. 2009. Healthy properties of the vegetables. *Advances of Agricultural Sciences Issues*, 539, pp. 87-97.
- Cieřlik, E., Gajda I. 2010. Nutritional value and pro-healthy properties of endive (*Cichorium endivia* L.). *Progress in Phytotherapy*. 4, pp. 224-228.
- Cieřlik, E., Sadowska-Rociek E., Surma-Zadora M., Sieja K. 2011. The level of phosphorus in instant soups and processed cheeses. *Annals of nutrition and metabolism In: Proceedings of the European Nutrition Conference, Madrid, vol. 58, supplement 3*, 92.
- Degl'innocenti, E. Pardoss I A., Tattini M., Guidi L. 2008. Phenolic compounds and antioxidant power in minimally processed salad., *Journal of Food Biochemistry* 32, pp. 642-653. DOI: 10.1111/j.17454514.2008.00188.x
- Hedges L.J., Lister C.E. 2005. Nutritional attributes of salad vegetables. *Crop&Food Research Confidential Report*, 1473. [http://vegetable.co.nz/resources/1files/pdf/booklet\\_salad\\_foodreport.pdf](http://vegetable.co.nz/resources/1files/pdf/booklet_salad_foodreport.pdf)
- Lavrishcheva, T., Lavrishchev A., Litvinovich A. 2020. Impact of climatic factors on growth and development of *Cichorium Endivia* in greenhouse in Leningrad region, Russia. *Zemljiste i biljka*. 69 (2), pp. 53-65.

- Rice-Evans, C.A. Miller N.J., Papganga G. 1997. Antioxidant properties of phenolic compounds. Trends in Plant Science 2, pp. 152-159. [http://dx.doi.org/10.1016/s1360-1358\(97\)01018-2](http://dx.doi.org/10.1016/s1360-1358(97)01018-2)
- Доспехов Б.А. 2011. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учебник для студентов высших сельскохозяйственных учебных заведений по агрономическим специальностям - Изд. 6-е. 351 с.
- Кононков П.Ф., Бунин Н.С., Кононкова С.Н. 1992. Новые овощные растения. М.: Нива России. 110 с.
- Лаврищева Т.А., Осипова Г.С. 2018. Влияние обработок препаратом Эпин-экстра на биометрические показатели и продуктивность растений эндивия. Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. № 4 (53). pp. 21-27
- Лаврищева Т.А. 2019б. Влияние площади питания на биохимический состав цикорного салата эндивия при разных сроках посадки. Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета № 4 (57). pp. 22-27.
- Лаврищева Т.А. 2019а. Влияние площади питания на продуктивность цикорного салата эндивия при разных сроках посадки. Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета № 3 (56). pp. 24-31.
- Лаврищева Т.А. 2022. Влияние сроков посева на биометрические показатели и биохимический состав растений эндивия (*Cichorium endivia* L.), выращенного в весенне-летнем обороте. Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета № 4 (69). pp. 56-66.
- Лаврищева Т.А. 2017. Сравнительная оценка сортов салата цикорного эндивия в весенне-летнем обороте в пленочных теплицах Ленинградской области. Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета № 1 (46) pp 31-36.
- Лаврищева Т.А., Осипова Г.С. 2020. Накопление пигментов листьями цикорного салата эндивия (*Cichorium Endivia* L.) в зависимости от площади питания и сроков посадки. Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета № 1 (58) pp. 20-25.
- Новицкий М.В., Лаврищев А.В., Назарова А.В., Шабанов М.В., Родичева Т.В., Мельников С.П., Баёва Н.Н., Колодка В.П. 2021. Лабораторно-практические

занятия по почвоведению (2-е издание, исправленное и дополненное). Санкт-Петербург, 332 с.

Осипова Г.С., Лаврищева Т.А. 2016. Агробиологическая оценка сортов салата цикорного в осеннем обороте пленочных теплиц Ленинградской области. Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. № 45, pp 25-29.

Осипова Г.С., Лаврищева Т.А. 2020. Влияние регулятора роста на продуктивность цикорного салата эндивия. Овощеводство и тепличное хозяйство № 2, pp. 16-22.

## Утицај комплексног ђубрива АРАВИВА NPK (S) 15:15:15(10) на принос и биометријске параметре зелене салате ендиције (*Cichorium endivia* L.)

Tatiana Lavrishcheva

St. Petersburg State Agrarian University, Pererburgskoye sh 2, 196601, St.-Petersburg, Russia

### Izvod

У контролисаним условима у саксији испитивано је дејство комплексног ђубрива АРАВИВА NPK (S) 15:15:15(10) на принос и биометријске параметре различитих сорти зелене салате ендиције (*Cichorium endivia* L.). У фитолабораторији је одржавана оптимална температура, влажност и осветљење. У експерименту су коришћене лампе UnionPowerStar-40W-T, таласне дужине диоде: плава (450 нм), црвена (660 нм). Светлосни дан је био 15 сати (од 7-00 до 22-00). Примена АРАВИВА довела је до повећања висине биљке, пречника лисне розете, броја листова и њихове асимилацијске површине. Употреба минералног ђубрива довела је до повећања продуктивности биљака. Међутим, повећана минерална исхрана допринела је убрзаном преласку у генеративну фазу развоја биљака, формирању цветних изданака и одливу хранљивих материја из листова у стабљику. То је негативно утицало на принос тржишних производа – листова зелене салате цикорије. Додатак кречног материјала (доломитног брашна) заједно са минералним ђубривом повећао је продуктивност биљака као и помогао да се инхибира убрзани прелазак у генеративну фазу и повећа принос лисне масе.

*Кључне речи:* зелена салата ендиције, минерално ђубриво, кречање, биометријски показатељи, принос

Received 9.07.2024

Revised 5.08.2024

Accepted 12.08.2024



## Korišćenje ručnog multispektralnog senzora i bespilotne letelice u praćenju razvoja i produktivnosti soje u prirodnim uslovima vlaženja

Nevena Stevanović<sup>1\*</sup>, Nikola Stanković<sup>1</sup>, Nataša Ljubičić<sup>1</sup>, Mirjana Vukosavljev<sup>1</sup>, Aleksa Lipovac<sup>2</sup>, Irina Marina<sup>3</sup>, Ružica Stričević<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Univerzitet u Novom Sadu, BioSens Institut, Dr Zorana Đinđića 1, 21000 Novi Sad, Srbija

<sup>2</sup>Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet, Nemanjina 6, Beograd 11080, Srbija

<sup>3</sup>Institut za ekonomiku poljoprivrede, Volgina 15, Beograd 11060, Srbija

\*Autor za kontakt: Nevena Stevanović, [nevena.stevanovic@biosense.rs](mailto:nevena.stevanovic@biosense.rs)

### Izvod

#### Abstract

Soja (*Glycine max L.*) je jedna od vodećih gajenih biljaka na globalnom nivou. Iako je područje Vojvodine povoljno za proizvodnju soje, klima, posebno visoke temperature i neujednačena raspodela padavina, predstavljaju glavni ograničavajući faktor. Cilj ovog rada je da se u uslovima prirodne vlažnosti ispita međuzavisnost između prinosa soje, nivoa vodnog stresa i vegetacionih indeksa dobijenih primenom ručnog multispektralnog senzora i bespilotne letelice na oglednoj parceli na Čeneju, Vojvodina. Rezultati su pokazali značajnu povezanost vegetacionih indeksa sa evapotranspiracijom, promenama vlažnosti zemljišta i prinosom soje. Tokom faze intenzivnog rasta (V4), NDVI-UAV, EVI-UAV i GNDVI-UAV su pokazali visoko značajnu pozitivnu korelaciju sa prinosom ( $r=0.96^{**}$ ,  $r=0.94^{**}$ ,  $r=0.86^{*}$ ). Tokom faze cvetanja (R1), GNDVI-POM je imao značajne pozitivne korelacije sa svim analiziranim parametrima, dok je GNDVI-UAV imao značajne korelacije sa evapotranspiracijom i vlažnošću zemljišta. Tokom faze formiranja mahuna (R3), GNDVI-UAV je ponovo pokazao značajnu korelaciju sa prinosom ( $r=0.86^{*}$ ), dok je NDVI-POM imao značajne korelacije sa evapotranspiracijom i vlažnošću zemljišta. Tokom faze formiranja mahuna (R4), EVI-UAV je pokazao visoko značajne pozitivne korelacije sa evapotranspiracijom, vlažnošću zemljišta i prinosom ( $r=0.94^{**}$ ,  $r=0.96^{**}$ ,  $r=0.89^{**}$ ). Ovi rezultati su korisni za primenu multispektralnih senzora u detektovanju obezbeđenosti soje vodom i unapređenju proizvodnje u uslovima prirodne vlažnosti.

*Ključne reči:* soja, multispektralni senzor, bespilotna letelica, vegetacioni indeksi, vlažnost zemljišta

## Uvod

### Introduction

Soja (*Glycine max* L.) jedna je od vodećih gajenih biljaka na globalnom nivou i njena proizvodnja svrstava se na četvrto mesto među svim žitaricama i mahunarkama, nakon pirinča, pšenice i kukuruza (<https://www.fao.org/faostat>; Stepanov et al., 2020). Soja sadrži približno 40-45% proteina i 18-22% biljnih ulja, bogat je izvor vitamina i minerala, sa povoljnim sastavom aminokiselina, što je čini namirnicom pogodnom za ljudsku ishranu (Meseldžija et al., 2020). Takođe, soja je važan izvor bioenergije (Kolarić et al., 2023) i njeno ulje se koristi za proizvodnju biodizela (Worku and Astatkie, 2011). Pored toga, soja poboljšava plodnost zemljišta kada se gaji u rotaciji sa žitaricama, zbog fiksiranja atmosferskog azota iz vazduha putem simbioze sa bakterijama iz roda *Rhizobium* (Zerihun and Haile, 2017). U Srbiji vladaju povoljni zemljišni i klimatski uslovi za gajenje soje (Meseldžija et al., 2020), međutim, glavni ograničavajući faktor za postizanje visokih prinosa predstavlja varijabilnost klimatskih uslova, posebno pojava toplotnih talasa, ekstremno visokih temperatura i neujednačena raspodela padavina. U Srbiji, prosečan prinos zrna soje u prirodnim uslovima snabdevanja vodom u periodu 1965–2003 iznosi 1860 kg·ha<sup>-1</sup>, tj varira od 920 do 7250 kg·ha<sup>-1</sup> (Dragović et al., 2005), i zavisi od količine i raspodele padavina tokom sezone, jer se proizvodnja uglavnom organizuje u uslovima prirodnog vlaženja. Poboljšanje sortimenta soje poslednje dve decenije uticalo je na povećanje prinosa, ali svega do 3400 kg·ha<sup>-1</sup> (Maksimović et al., 2005; Pejić et al., 2012; Mandić et al., 2015; Mandić et al., 2017), zbog značajno narušenih trendova pojave padavina u kasno proleće ili tokom letnjeg perioda u kritičnim fazama razvoja soje, kada su i najveće potrebe za vodom (Đukić i sar., 2011; Mandić et al., 2015).

Da bi se dodatno unapredilo praćenje stanja useva i povećali prinosi, danas se sve više koriste istraživanja zasnovana na daljinskom prikupljanju podataka, kao i metode dubokog učenja (deep learning), koje mogu biti od koristi donosiocima odluka u upravljanju usevima (Muruganatham, et al., 2022). Monitoring useva na velikim površinama predstavlja izazov, ali primena tehnologija poput daljinskog posmatranja putem termalnih, multispektralnih ili hiperspektralnih kamera montiranih na dron, avion ili satelit pokazala se korisnim tokom proteklih godina. Vegetacioni indeksi koji se dobijaju merenjem indeksa spektralne refleksije biljaka predstavljaju rezultat daljinskog osmatranja useva i pružaju mogućnost izračunavanja algoritma

za kvantitativnu i kvalitativnu evaluaciju pokrovnosti vegetacije, vitalnosti i dinamike rasta (Xue and Su, 2017), a takođe pomažu u istraživanju prostornih i spektralnih karakteristika useva soje tokom fenološkog ciklusa, kao i faktora koji utiču na njen rast, razvoj i prinos (Zhang et al., 2019, Andrade et al., 2022). Vegetacioni indeksi omogućavaju identifikaciju nedostataka hranljivih materija, stresa usled nedostatka vode, visokih ili niskih temperatura, procenat pokrivenosti zemljišta, dijagnostiku bioloških parametara uključujući i indeks lisne površine (LAI), kao i procenu prinosa (Andrade et al., 2022). Utvđeni su bliski odnosi između prinosa useva i vegetacionih indeksa (Dubrovin et al., 2022), uključujući i indeks lisne površine, koji se koristi kao biološki parameter biljaka i predstavlja ukupnu površinu listova useva na jedinici površine zemljišta (Nguy-Robertson et al., 2012). Normalizovani indeks razlike vegetacije (NDVI) spada među najstarije i najčešće korišćene indekse za praćenje vegetacije koji se široko primenjuje u naučnim istraživanjima, zbog toga što ima potencijalno blizak odnos sa površinom asimilacije biljke i sadržajem hlorofila i prema tome sa produktivnošću useva (Huang et al., 2012; Dubrovin et al., 2022). Pomoću senzora na različitim platformama možemo dobiti vrednosti vegetacionih indeksa, ali je važno imati u vidu da postoje razlike između talasnih opsega koji se koriste za izračunavanje indeksa, kao i da na vrednosti indeksa utiču i drugi faktori kao što su razlike u senzorskim karakteristikama, atmosferski uslovi, ugao osvetljenja i senzora, tip vegetacije i sezonske promene (Rodigheri et al., 2020).

Stoga, cilj ovog rada je da se u uslovima prirodne vlažnosti na zemljištu tipa černoziem sagleda međuzavisnost između prinosa soje, nivoa vodnog stresa i vegetacionih indeksa dobijenih primenom aktivnog optičkog, multispektralnog senzora i multispektralne kamere montirane na besilotnu letelicu.

## **Materijal i metode**

### **Materials and Methods**

#### *Postavka ogleđa*

#### *Experimental setup*

Ogled je sproveden na oglednoj parceli površine 28 ha u Čeneju, Vojvodina (45°41'08" N; 19°79'93" E; nadmorska visina 85 m) tokom 2023. vegetacione sezone (slika 1). Klima proučavanog područja je umereno kontinentalna s prosečnom srednjom godišnjom temperaturom vazduha od 11.9°C i godišnjom sumom padavina od 676 mm. Klimatski podaci sa meteorološke

stanice (grafik 1) postavljene na ispitivanoj parceli obuhvatili su minimalne i maksimalne temperature vazduha, vlažnost vazduha, količinu padavina, brzinu i pravac vetra i beleženi su svakodnevno. Na grafiku 1 prikazani su klimatski parametri tokom trajanja eksperimenta, uz poređenje sa višegodišnjim prosečnim vrednostima za period od 1991. do 2020. godine.



**Slika 1.** Ogledna parcela, Čenej, Vojvodina, Republika Srbija.

Figure 1. Experimental field, Čenej, Vojvodina, Serbia.

Pre setve uzeti su uzorci sa dubine 0-30 cm i 30-60 cm za određivanje hemijskih osobina zemljišta, mehaničkog sastava i kapaciteta zemljišta za vodu. Na ispitivanoj parceli je zastupljeno zemljište tipa černozem. Prema američkoj klasifikaciji (USDA, 2014) ispitivano zemljište je praškasto glinovita ilovača. Hemijska analiza zemljišta obuhvatila je određivanje aktivne (pH-H<sub>2</sub>O) i potencijalne (pH-KCl) kiselosti potenciometrijski pomoću pH-metra, kalcijum-karbonata (CaCO<sub>3</sub>), sadržaja humusa po Tyurin IV (1934) metodi, sadržaja ukupnog azota preračunatog iz sadržaja humusa, mineralnog oblika azota (NO<sub>3</sub>-N) N-min metodom i amonijačnog oblika azota (NH<sub>4</sub>-N) po Nessler-u, sadržaja lakopristupačnog fosfora (Al-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) i kalijuma (Al-K<sub>2</sub>O) po Egner and Riehm–metodi (1958). Analizom je utvrđeno da zemljište sadrži 0.18% ukupnog azota, 19.98 mg 100·g<sup>-1</sup> lakopristupačnog fosfora, 27.45 mg 100·g<sup>-1</sup> kalijuma i 3.6% humusa. Sadržaj mineralnog azota u nitratnom obliku iznosi 18.50 mg·kg<sup>-1</sup>, a u amonijačnom obliku 12.54 mg·kg<sup>-1</sup>. Izmerena vrednost aktivne kiselosti zemljišta iznosi 7.6, a potencijalne kiselosti 6.7. Sadržaj

kalcijum-karbonata iznosi 2.13%. Vrednost poljskog vodnog kapaciteta (Richards, L. A., 1941) je 31.3% v/v., a vlažnost venuća 14.3% v/v. Zalihe biljkama produktivne vlage u sloju zemljišta od 0–100 cm iznose oko 170 mm što po klasifikaciji Vadjunin & Korchagina (1973) pokazuje da su zalihe vlage veoma dobre.

Za ogledna istraživanja korišćena je rana sorta soje Wendy, koja spada u prvu grupu zrenja. Setva soje obavljena je 27. aprila 2023. godine sa gustom setve od 480.000 biljaka po hektaru. Tokom vegetacione sezone bila je primenjena uobičajena agrotehnika, a na kraju sezone, prinos je kvantitativno analiziran prostorno, u tri ponavljanja.

### ***Praćenje vlažnosti zemljišta i proračun evapotranspiracije***

#### ***Soil moisture monitoring and evapotranspiration calculation***

Kako bi se kontinuirano pratila vlažnost zemljišta, ocenile potrebe biljaka za vodom i identifikovao potencijalni vodni stres, postavljene su TDR (Time Domain Reflectometry) sonde za određivanje vlažnosti zemljišta na dubini 0-30 cm, u tri ponavljanja. Pored toga, u blizini postavljenih sonde uzimani su uzorci za određivanje vlažnosti zemljišta gravimetrijskom metodom u intervalu od 15 dana, radi kalibracije i kontrolisanja rada sonde.

Za potrebe istraživanja dnevne vrednosti evapotranspiracije soje određene su na osnovu standardne FAO Penman-Monteith metode za obračun referentne evapotranspiracije (Allen et al., 1998):

$$ET_o = \frac{0.408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \frac{900}{T + 273} \cdot u_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34 \cdot u_2)}$$

Gde je:  $ET_o$  – referentna evapotranspiracija ( $\text{mm} \cdot \text{dan}^{-1}$ ),  $R_n$  – neto radijacija sa površine useva ( $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dan}^{-1}$ ),  $G$  – energija utrošena na zagrevanje zemljišta ( $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dan}^{-1}$ ),  $T$  – temperatura vazduha merena na 2 m visine ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $u_2$  – brzina vetra merena na 2 m visine ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ),  $e_s$  – saturisani napon vodene pare ( $\text{kPa}$ ),  $e_a$  – stvarni napon vodene pare ( $\text{kPa}$ ),  $e_s - e_a$  – deficit napona vodene pare ( $\text{kPa}$ ),  $\Delta$  – nagib krive napona vodene pare ( $\text{kPa} \cdot \text{C}^{-1}$ ),  $\gamma$  – psihrometerska konstanta ( $\text{kPa} \cdot \text{C}^{-1}$ ).

Evapotranspiracija useva u standardnim uslovima ( $ET_c$ ) predstavlja proizvod koeficijenta kulture ( $K_c$ ) u kom su sadržane karakteristike useva i referentne evapotranspiracije ( $ET_o$ ) u kojoj su uzeti u obzir različiti klimatski uslovi:

$$ET_c = ET_o \cdot K_c$$

Međutim, ovakav način izračunavanja potreba useva za vodom objedinjuje procese evaporacije i transpiracije. Da bi se precizno odredila potrošnja vode u realnom vremenu, potrebno je posebno posmatrati procese evaporacije i transpiracije. Standardni Kc koeficijent zamenjuje se zbirom bazalnog koeficijenta kulture (Kcb) i koeficijenta evaporacije sa zemljišta (Ke) i računa se prema formuli:

$$Kc = Kcb + Ke$$

Stoga, dnevne vrednosti evapotranspiracije useva u standardnim uslovima izračunate su prema formuli:

$$ETc = ET0 \cdot (Kcb + Ke)$$

Za određivanje Ke izračunat je proračun dnevnog bilansa vode u zemljištu, tako što se merio sadržaj vlage koji je preostao u gornjem sloju zemljišta, po FAO-56 formuli:

$$Ke = Kr \cdot (Kc_{max} - Kcb) \leq f_{ew} \cdot Kc_{max}$$

Gde je:  $Kc_{max}$  – maksimalna vrednost Kc nakon kiše ili navodnjavanja, Kr – koeficijent smanjenja isparavanja koji zavisi od akumulirane količine iscrpljene vode,  $f_{ew}$  – frakcija zemljišta koja je izložena sunčevoj radijaciji iz koje isparava voda (0.01–1.0).

Kr, bezdimenzionalan koeficijent koji zavisi od isparavanja vode iz površinskog sloja zemljišta ( $Kr = 1$ , kada je  $D_{e,i-1} \leq REW$ ):

$$Kr = \frac{TEW - D_{e,i-1}}{TEW - REW}$$

Gde je:  $D_{e,i-1}$  – akumulirana količina isparene vode iz površinskog sloja zemljišta na kraju dana i-1 (prethodnog dana) (mm), TEW – maksimalna količina vode koja može da ispari iz površinskog sloja zemljišta kada je  $Kr = 0$  (TEW = ukupno isparljiva voda (mm)), REW – lako ispariva količina vode na kraju faze 1 (REW = lakoispraiva voda (mm)).

Maksimalna količina vode koja može ispariti iz zemljišta kada je površinski sloj prvobitno nakvašen do poljskog vodnog kapaciteta (mm) izračunata je po formuli:

$$TEW = 1000 \cdot (\theta_{fc} - 0.5\theta_{wp}) \cdot Ze$$

Gde je:  $\theta_{fc}$  - vlažnost zemljišta pri poljskom vodnom kapacitetu ( $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ ),  $\theta_{wp}$  - vlažnost venuća ( $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ ),  $Z_e$  - dubina površinskog sloja zemljišta iz kog lako isparava voda (0.10-0.15 m).

Ukupna količina vode koja je isparila iz površinskog sloja zemljišta na kraju dana  $i-1$  (mm) određena je po formuli:

$$D_{e,i-1} = ET_o \cdot Ke - (P_i + I_i + DP_i)$$

Gde je:  $P_i$  – količina padavina u toku dana (mm),  $I_i$  – norma zalivanja u danu  $i$  koja se infiltrira u zemljište (mm),  $DP_i$  – duboka perkolacija u toku dana (mm).

Kako na oglednoj parceli nije bilo primene navodnjavanja, moglo je doći do smanjenja stope stvarne evapotranspiracije u odnosu na  $ET_c$ , stoga su izračunate dnevne vrednosti evapotranspiracije u uslovima koji se ne podudaraju sa standardnim uslovima, preko koeficijenta stresa usled nedostatka vode:

$$ET_a = ET_o \cdot (K_s \cdot K_{cb} + Ke)$$

Gde se  $K_s$  – koeficijent stresa usled nedostatka vode, koji zavisi od raspoložive vode u zoni korena računa kao:

$$K_s = \frac{TAW - D_{R,i-1}}{TAW - RAW}$$

Gde je:  $D_{R,i-1}$  potrošena količina vode iz zone korenovog sistema na kraju dana  $i-1$  (mm),  $TAW$  – ukupna raspoloživa voda u zoni korena (mm), a  $RAW$  – lako dostupna voda u zoni korena (mm).

Kada je  $D_{R,i-1} \leq RAW$ ,  $K_s = 1.0$ .

Ukupno raspoloživa voda biljkama ( $TAW$ ) predstavlja količinu vode koja se drži kapilarnim silama od poljskog vodnog kapaciteta (-0,033 MPa) do vlažnosti venuća (1.5 MPa), izračunava se preko formule:

$$TAW = (\theta_{fc} - \theta_{wp}) \cdot Z_r$$

Gde je  $Z_r$  dubina korena (m).

Voda je teorijski dostupna sve do tačke trajnog venuća, međutim, kako se sadržaj vode u zemljištu smanjuje, voda postaje čvršće vezana za zemljište i teže se usvaja od strane biljaka. Kada sadržaj vode u zemljištu padne ispod praga tolerancije za svaku biljnu vrstu, voda u zemljištu se više ne može dovoljno brzo transportovati prema korenu kako bi zadovoljila transpiracionu potražnju, i biljka počinje da doživljava stress (Allen et al., 1998). Deo ukupne raspoložive vode koji je biljci lako dostupan, odnosno koji može usvojiti iz zone korena bez ulaska u stres, predstavlja lako dostupnu vodu:

$$RAW = p \cdot TAW$$

Gde je  $p$  – prosečna frakcija ukupno raspoložive vode u zoni korena ( $TAW$ ) koja može biti iscrpljena pre nego što se pojavi stres usled nedostatka vlage. Za soju je usvojen prag tolerancije  $p = 0,55$  (Doorenbos and Kassam 1979).

Izračunavanje  $D_{R,i-1}$  zahteva dnevni bilans vode u zoni korena:

$$D_{R,i} = D_{R,i-1} - P_i - I_i - DP_i + ET_{C,i}$$

Gde su:  $D_{R,i}$  i  $D_{R,i-1}$  kumulativne dubine transpiracije u zoni korena na kraju dana  $i$  i  $i-1$  (mm), a  $ET_{C,i}$  evapotranspiracija useva na dan  $i$  (mm).

### ***Vegetacioni indeksi određeni pomoću multispektralnih senzora***

#### ***Vegetation indices determined using multispectral sensors***

Određivanje vrednosti vegetacionih indeksa obuhvaćeno je merenjem ručnim multispektralnim aktivnim senzorom, pod nazivom “Plant-O-Meter” (POM) koji je zasnovan na specijalno dizajniranom multispektralnom izvoru koji integriše šest izvora svetlosti najindikativnijih talasnih dužina u jednom optičkom modulu. Obuhvata šest odvojenih talasnih dužina iz oblasti blisko infracrvenog (NIR1 od 810 nm i NIR2 od 940 nm), crvenog (Red: 657 nm), zelenog (Green: 528 nm), plavog (Blue: 455 nm) i ivice crvenog spektra (RedEdge: 740 nm) (Kitić et al., 2019). Na ovaj način uređaj pruža mogućnost za izračunavanje više od 30 različitih vegetacionih indeksa koji se dobijaju primenom odgovarajućih matematičkih formula. Merenja su bila izvršena tako što je uređaj bio postavljen na udaljenosti od 50 cm od biljaka. Tokom vegetacije fenološka osmatranja i merenja su vršena u sledećim fazama: fazi početka intenzivnog rasta V4



(13.06.2023.), fazi početka cvetanja R1 (28.06.2023.), fazi početka formiranja prvih mahuna R3 (12.07.2023.) i fazi formiranja mahuna R4 (27.07.2023.).

Na osnovu pojedinačnih spektralnih dužina i vrednosti vegetacionih indeksa tokom vegetacije praćeno je stanje useva. Uporedo, tokom prethodno navedenih faza, vršena su i snimanja bespilotnom letelicom DJI Phantom 4 Multispectral (DJI P4) na visini od 50 m. Ova bespilotna letelica kombinuje standardnu RGB kameru sa multispektralnim nizom 5 kamera koje pokrivaju opseg blisko infracrvenog (NIR: 840 nm ± 26 nm), crvenog (Red: 650 nm ± 16 nm), zelenog (Green: 560 nm ± 16 nm), plavog (Blue: 450 nm ± 16 nm) i ivice crvenog dela spektra (Red Edge: 730 nm ± 16 nm), pružajući na taj način prostorne informacije o stanju, kako biljaka, tako i zemljišta. Na osnovu prikupljenih podataka sa pomenutog optičkog senzora i bespilotne letelice sa multispektralnom kamerom, određene su vrednosti Indeksa normalizovane razlike vegetacije (NDVI), Pojačanog indeksa vegetacije (EVI) i Zelenog indeksa normalizovane razlike vegetacije (GNDVI) prema sledećim formulama:

**Tabela 1.** Vegetacioni indeksi korišćeni za praćenje stanja useva.

**Table 1.** Vegetation indices used for crop condition monitoring.

Indeks	Jednačina	Referenca
NDVI	$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$	Wang et al., 2022
EVI	$EVI = 2.5 \left( \frac{NIR - RED}{NIR + 2.4RED + 1} \right)$	Marcial-Pablo et al., 2021
GNDVI	$GNDVI = \frac{NIR - GREEN}{NIR + GREEN}$	Mwinuka et al., 2021

Indeks lisne površine (LAI) koji predstavlja jednostranu površinu zelenih listova po jedinici površine zemljišta, određen je tokom prethodno pomenutih faza rasta i razvoja soje, pomoću laserskog merača površine lista. LAI (m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>) je izračunat preko formule:

$$LAI = \frac{Leaf\ area}{Ground\ area}$$

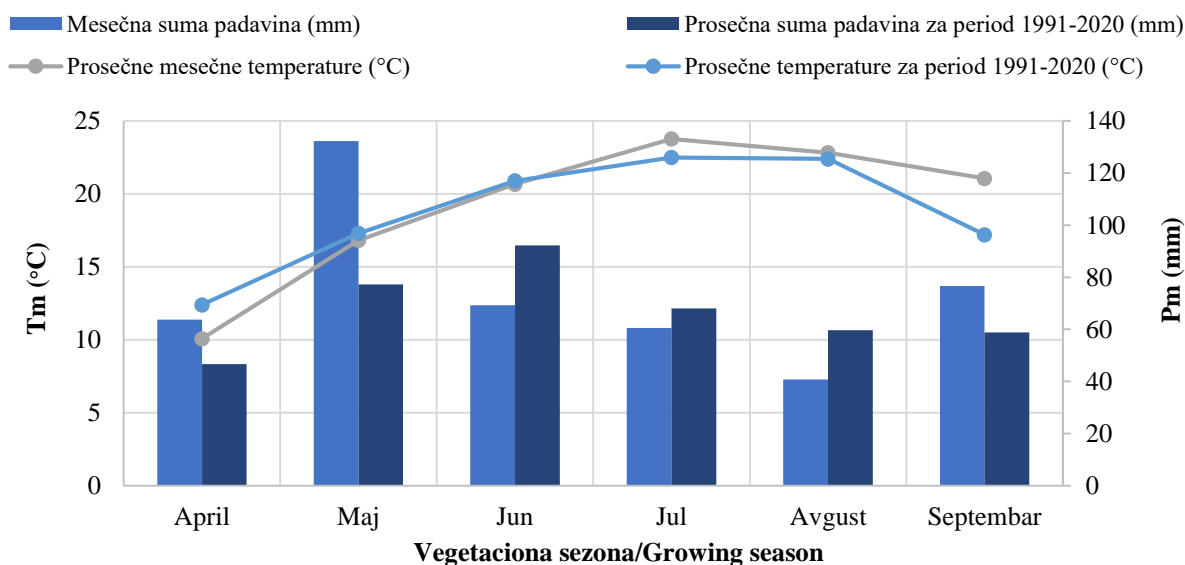
Međuzavisnost posmatranih parametara vegetacionih indeksa i evapotranspiracije, vlažnosti zemljišta i prinosa ustanovljena je izračunavanjem Pirsonovih koeficijenata korelacije.

Statistička obrada rezultata je urađena u računarskom program StatSoft Statistica for Windows, verzija 13.2 (Dell Inc., USA).

## Rezultati i diskusija

### Results and discussion

U toku ogleada, najviša prosečna temperatura vazduha zabeležena je u julu, dostigavši 23.7 °C, dok je najniža temperatura zabeležena u aprilu, iznosila 10 °C. Količina padavina varirala je u rasponu od 132.4 mm u maju do 40.8 mm u avgustu. Tokom aprila, maja i septembra, padavine su bile iznad višegodišnjeg proseka, dok su prosečne dnevne temperature iznad višegodišnjeg proseka bile tokom jula, avgusta i septembra (grafik 1). Ukupna količina padavina tokom vegetacione sezone iznosila je 384.4 mm, a raspored padavina tokom sezone bio je relativno neujednačen.

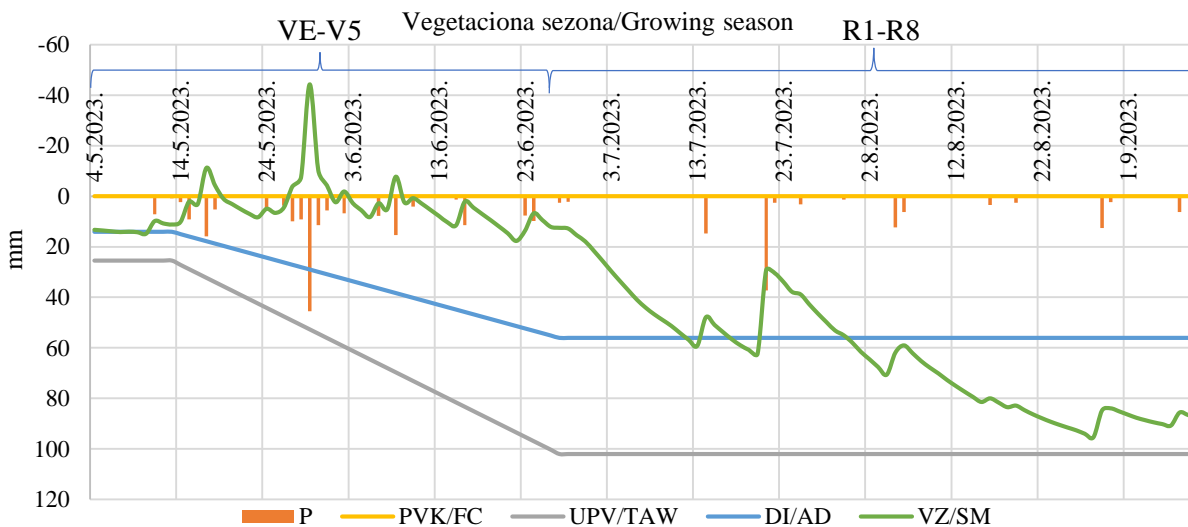


**Grafik 1.** Prosečne temperature vazduha  $T_m$  (°C) i mesečna suma padavina  $P_m$  (mm) tokom vegetacione sezone uz poređenje sa prosečnim vrednostima za period od 1991. do 2020. godine.

**Figure 1.** Average air temperature  $T_m$  (°C) and monthly precipitation sum  $P_m$  (mm) during the growing season compared to the average values for the period from 1991 to 2020.

Na grafiku 2 prikazan je trend vlažnosti zemljišta tokom perioda rasta soje, uz dodatne vrednosti ukupno pristupačne vode (UPV/TAW) tokom vegetacione sezone. Nakon završetka faze intenzivnog rasta, vrednost UPV dostiže konstantnu vrednost od 102 mm, što odražava kapacitet zemljišta za vodu u zoni glavne mase korenovog sistema. Takođe, prikazani su dozvoljeni nivo

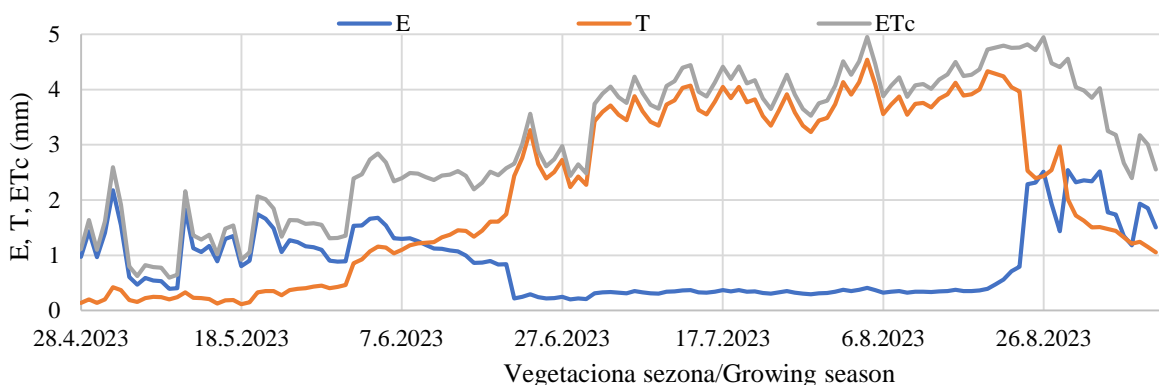
isušivanja od 55% i poljski vodni kapacitet. Iz grafika se jasno uočava da je na početku vegetacione sezone, tokom V1 faze, vlažnost zemljišta bila na granici dozvoljenog isušivanja, što je rezultiralo koeficijentom stresa u rasponu od 0.60 do 0.84. Od polovine maja, usled visokih padavina, zabeležen je nagli porast vlažnosti zemljišta, zadržavajući se iznad poljskog vodnog kapaciteta. Potrošnja vode bila je manja od priliva vode dospеле usled obilnih padavina od 132.8 mm (grafik 1). Tokom faze početka cvetanja (R1) i cvetanja (R2), zabeležena su dva perioda kada je vlažnost zemljišta opala ispod vrednosti dozvoljenog isušivanja, međutim, usled padavina, ove vrednosti su ubrzo dostigle vrednosti približne poljskom vodnom kapacitetu. Koeficijent stresa u tom periodu kretao se od 0.52 do 0.88. Tokom faze formiranja mahuna (R4), sadržaj vlage kretao se ispod zone dozvoljenog isušivanja, usled čega je usev bio izložen stresu u najosetljivijoj fazi razvića. Sadržaj vlage se konstantno zadržavao ispod vrednosti dozvoljenog isušivanja, te se koeficijent stresa tokom tog perioda kretao u opsegu od 0.14 do 0.92. Iako je tokom septembra zabeležena suma padavina od 76.6 mm, padavine su bile neravnomerno raspoređene, te nisu uspele da nadoknade potrebe useva soje za vodom.



**Grafik 2.** Padavine (P), poljski vodni kapacitet (PVK), ukupno pristupačna voda (UPV), dozvoljeno isušivanje (DI), i promene vlažnosti zemljišta (VZ) tokom vegetacione sezone.

**Figure 2.** Precipitation (P), field capacity (FC), total available water (TAW), allowable depletion (AD), and changes in soil moisture (SM) during the growing season.

Na grafiku 3 prikazane su vrednosti evaporacije, transpiracije i evapotranspiracije soje tokom vegetacione sezone. Na početku vegetacionog perioda, usled dostupnosti vode u površinskom sloju i većeg udela frakcije solarne radijacije koja je dospevala na golo zemljište, voda se pretežno gubila isparavanjem sa zemljišta. Kako je ova frakcija opadala tokom vremena i kada je soja krenula da zasenjuje zemljište, proces transpiracije postao je dominantan, pa sumarna vrednost gubitaka vode transpiracijom tokom vegetacione sezone iznosila je 295.3 mm (tabela 2). Nagli skokovi evaporacije tokom vegetacionog perioda javili su se odmah posle kiša, kada je voda sa površine zemljišta lako isparavala. Kako se zemljište isušivalo i zasenjivalo, tako se i koeficijent evaporacije smanjivao, tako da sumarna vrednost evaporacije tokom vegetacione sezone iznosi 116.9 mm (tabela 2).



**Grafik 3.** Transpiracija (T), evaporacija (E) i evapotranspiracija useva (ETc) tokom vegetacione sezone.

**Figure 3.** Transpiration (T), Evaporation (E) and crop evapotranspiration (ETc) during the growing season.

**Tabela 2.** Prikaz sumarne transpiracije, evaporacije, evapotranspiracije useva i prinosa.

**Table 2.** Sum of transpiration, evaporation, crop evapotranspiration and yield.

$\Sigma T$ (mm)	$\Sigma E$ (mm)	$\Sigma ETc$ (mm)	$\Sigma ETa$ (mm)	Prinos ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ )
295.25	116.91	412.16	299.44	4800

Prosečan prinos zrna soje na oglednoj parceli bio je  $4800 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  (tabela 1), dok je tokom 2012. na polju u Bačkom Petrovcu u uslovima prirodne vlažnosti postignut prinos od  $3650 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , međutim padavine su iznosile svega 221.5 mm (Popović et. al., 2015). Slično našim rezultatima, u trogodišnjem istraživanju Maksimović et. al., 2005 su utvrdili da se utrošak vode na

evapotranspiraciju soje u kontrolnoj varijanti, odnosno u uslovima prirodne vlažnosti kretao u intervalu od 390 do 524 mm, dok se prosečan prinos u uslovima navodnjavanja povećao za 1000–1300 kg·ha<sup>-1</sup>. Tokom svog istraživanja (Pejić et al., 2011) došli su do sličnih rezultata, gde je utvrđeno da se tokom desetogodišnjeg perioda stvarna evapotranspiracija kretala od 170 do 450 mm, dok je prinos varirao u opsegu od 2442 do 5170 kg·ha<sup>-1</sup> na zemljištu tipa černozem, na Rimskim Šančevima.

Koeficijenti korelacije analizirani su između vegetacionih indeksa dobijenih preko ručnog multispektralnog senzora (POM) i bespilotne letelice (UAV), stvarne evapotranspiracije, vlažnosti zemljišta i prinosa tokom prethodno pomenutih faza rasta i razvoja soje (tabela 2). Cilj je bio da se identifikuju faze razvoja u kojima su određeni indeksi povezani sa prinosom, kao i identifikacija ključnih indeksa i faza razvoja koji su najpouzdaniji za procenu prinosa i obezbeđenost useva vodom. Tokom faze intenzivnog rasta (V4), NDVI-UAV, EVI-UAV i GNDVI-UAV pokazali su visoko značajnu, odnosno značajnu pozitivnu korelaciju sa prinosom ( $r = 0.96^{**}$ ,  $r = 0.94^{**}$ ,  $r = 0.86^{*}$ ). Slične rezultate gde je analiza pokazala da regioni sa najvišim vrednostima NDVI-a imaju potencijal za postizanje najvećeg prinosa soje, utvrdili su Da Silva et.al (2020). GNDVI-UAV je takođe, uz GNDVI-POM iskazao značajne pozitivnu korelaciju sa vrednostima ETa i vlažnosti zemljišta. Slične rezultate na području Srbije (Stara Pazova) ostvarili su Lipovac et al. (2022) na navodnjavanom pasulju, gde je ustanovljena visoko značajna pozitivna korelacija između NDVI, GNDVI i transpiracije. Tokom faze cvetanja (R1), GNDVI-POM pokazao je značajne pozitivne korelacije sa vrednostima svih parametara, dok je GNDVI-UAV pokazao značajne pozitivne korelacije sa vrednostima stvarne evapotranspiracije i vlažnosti zemljišta. Tokom faze početka formiranja mahuna (R3), GNDVI-UAV je ponovo pokazao značajnu pozitivnu korelaciju sa prinosom ( $r = 0.86^{*}$ ), dok je NDVI-POM pokazao značajne pozitivne korelacije sa vrednostima stvarne evapotranspiracije i vlažnosti zemljišta. Tokom faze formiranja mahuna (R4), EVI-UAV pokazao je visoko značajne pozitivne korelacije sa vrednostima stvarne evapotranspiracije, vlažnosti zemljišta i prinosom ( $r = 0.94^{**}$ ,  $r = 0.96^{**}$ ,  $r = 0.89^{**}$ ), dok su NDVI-POM i GNDVI-POM pokazali značajne pozitivne korelacije sa svim parametrima (tabela 2). Tang et al. (2023) ispitujući korelaciju između vegetacionih indeksa i vlažnosti zemljišta na području severozapadne Kine utvrđuju da se EVI pokazao kao jedan od indeksa koji je osetljiv na promene sadržaja vlage u zemljištu, sa koeficijentom korelacije većim od 0.63. Do sličnih rezultata na području Perua došli

su Saravia et al. (2023) ispitujući korelacije između prinosa pasulja i vegetacionih indeksa dobijenih preko bespilotne letelice, gde je analiza pokazala visoko značajne pozitivne korelacije između prinosa, NDVI, GNDVI i EVI ( $0.544 > r > 0.470$ ).

**Tabela 3.** Koeficijenti korelacije između vrednosti vegetacionih indeksa tokom vegetacione sezone i stvarne evapotranspiracije, vlažnosti zemljišta i prinosa (n=6).

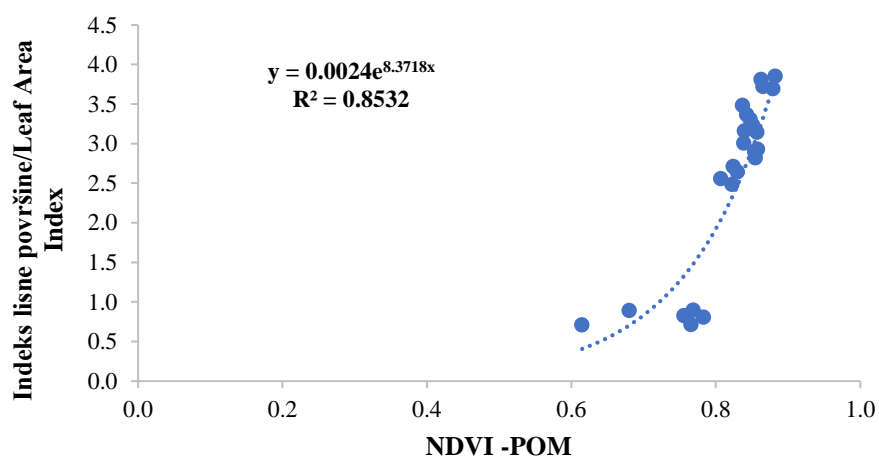
**Table 3.** Correlation coefficient between vegetation indices values during the growing season and actual evapotranspiration, soil moisture and yield (n=6).

Fenofaza	Varijable	NDVI- POM	NDVI- UAV	EVI- POM	EVI- UAV	GNDVI- POM	GNDVI- UAV
V4	ETa	0.77 <sup>ns</sup>	0.72 <sup>ns</sup>	0.79 <sup>ns</sup>	0.49 <sup>ns</sup>	0.82 <sup>*</sup>	0.78 <sup>*</sup>
	Vlažnost zemljišta	0.79 <sup>ns</sup>	0.78 <sup>ns</sup>	0.76 <sup>ns</sup>	0.55 <sup>ns</sup>	0.84 <sup>*</sup>	0.84 <sup>*</sup>
	Prinos	0.68 <sup>ns</sup>	0.96 <sup>**</sup>	0.70 <sup>ns</sup>	0.94 <sup>**</sup>	0.73 <sup>ns</sup>	0.86 <sup>*</sup>
R1	ETa	0.73 <sup>ns</sup>	0.83 <sup>ns</sup>	0.87 <sup>ns</sup>	-0.30 <sup>ns</sup>	0.85 <sup>*</sup>	0.90 <sup>*</sup>
	Vlažnost zemljišta	0.78 <sup>ns</sup>	0.73 <sup>ns</sup>	0.87 <sup>ns</sup>	0.42 <sup>ns</sup>	0.86 <sup>*</sup>	0.89 <sup>*</sup>
	Prinos	-0.23 <sup>ns</sup>	0.64 <sup>ns</sup>	0.05 <sup>ns</sup>	-0.50 <sup>ns</sup>	0.89 <sup>*</sup>	0.49 <sup>ns</sup>
R3	ETa	0.86 <sup>*</sup>	0.19 <sup>ns</sup>	0.29 <sup>ns</sup>	0.18 <sup>ns</sup>	0.58 <sup>ns</sup>	0.26 <sup>ns</sup>
	Vlažnost zemljišta	0.85 <sup>*</sup>	0.21 <sup>ns</sup>	-0.20 <sup>ns</sup>	0.15 <sup>ns</sup>	0.73 <sup>ns</sup>	0.46 <sup>ns</sup>
	Prinos	0.43 <sup>ns</sup>	-0.55 <sup>ns</sup>	-0.11 <sup>ns</sup>	-0.56 <sup>ns</sup>	0.37 <sup>ns</sup>	0.86 <sup>*</sup>
R4	ETa	0.83 <sup>*</sup>	-0.67 <sup>ns</sup>	0.70 <sup>ns</sup>	0.94 <sup>**</sup>	0.81 <sup>*</sup>	0.33 <sup>ns</sup>
	Vlažnost zemljišta	0.90 <sup>*</sup>	-0.58 <sup>ns</sup>	0.65 <sup>ns</sup>	0.96 <sup>**</sup>	0.89 <sup>*</sup>	0.60 <sup>ns</sup>
	Prinos	0.82 <sup>*</sup>	-0.72 <sup>ns</sup>	0.53 <sup>ns</sup>	0.89 <sup>**</sup>	0.90 <sup>*</sup>	-0.82 <sup>ns</sup>

ns: nema značaja (non-significant); \*: značajno za nivo  $P < 0.05$  (significant at  $P < 0.05$  level); \*\*: veoma značajno za nivo  $P < 0.01$  (highly significant at  $P < 0.01$  level).

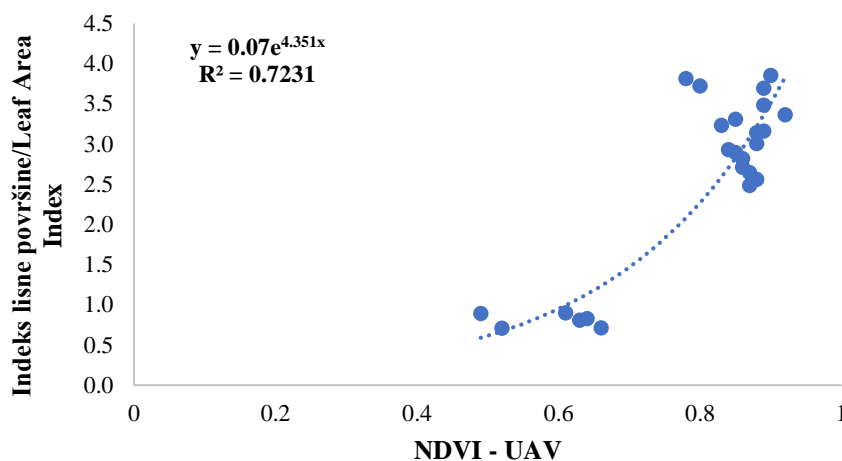
Tokom različitih faza rasta i razvoja soje, utvrđen je rastući trend indeksa lisne površine (LAI) koji je za faze V4, R1, R2, R3 imao zabeležene prosečne vrednosti od: 0.80, 2.46, 3.85 i 3.40, respektivno (grafik 4). Vrednosti LAI su u skladu sa rezultatima dobijenim i u drugim delovima sveta (Dubrovin et al., 2022). Analizom odnosa između LAI i NDVI, dobijenih korišćenjem ručnog multispektralnog senzora i bespilotne letelice, uočena je pozitivna korelaciona povezanost (Slika 4 i 5). Odnos između biomase i NDVI je takav da veće vrednosti LAI često rezultiraju većim vrednostima NDVI, jer veća biomasa dovodi do intenzivnije fotosinteze i zdravije vegetacije, što se može objasniti činjenicom da se više absorbuje i manje reflektuje solarna energija. Koeficijent determinacije ( $R^2$ ) između LAI i NDVI dobijenog preko ručnog multispektralnog senzora i NDVI dobijenog preko bespilotne letelice iznosio je 0.85, odnosno

0.72. Do sličnih rezultata u svom istraživanju došli su Bajocco et al. (2022) koji su za pšenicu pretežno koristili eksponencijalne jednačine. Ovi eksponencijalni oblici su pokazali bolje rezultate sa višim  $R^2$  vrednostima ( $R^2 > 0.5$ ). Kim et al. (2012) koristili su satelitske snimke za izračunavanje NDVI i primenili modele za korelaciju NDVI sa LAI merenim podacima. Njihovi rezultati su pokazali da su ekspanlinearni modeli pružili visoke tačnosti u proceni LAI kod soje, dok su slike sa višom prostornom rezolucijom bile značajno korisnije za precizno određivanje LAI. Pozitivnu korelaciju povezanost između LAI i NDVI uočili su u svojim istraživanjima i Lee et al. (2017), dok je na području Srbije (Stara Pazova) Lipovac et al. (2022) takođe ostvario pozitivnu korelaciju između LAI i NDVI navodnjavanog pasulja, koja se kretala od 0.79 do 0.74. Mohlala et al. (2022) su u svom istraživanju utvrdili da se tokom letnjih meseci vrednosti NDVI kreću u opsegu od 0.6 do 0.8. Takođe, njihovi rezultati ukazuju na to da NDVI odražava reakciju vegetacije na promene u gradijentu vlage. Visoke vrednosti NDVI su u saglasnosti sa lakopristupačnom vodom u zemljištu, što je pogotovo izraženo u V4 fenofazi.



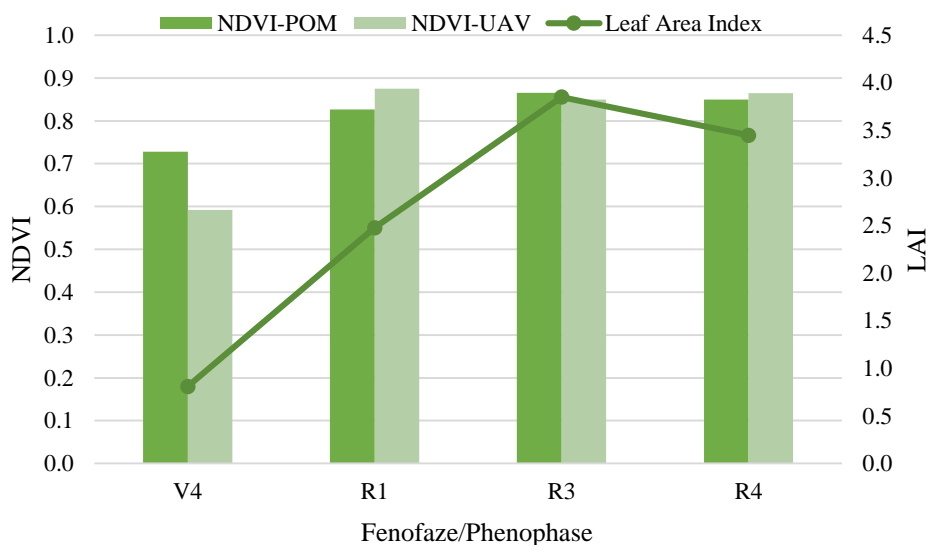
**Grafik 4.** Odnos LAI i NDVI dobijenog primenom ručnog multispektralnog senzora.

**Figure 4.** Relationship between LAI and NDVI obtained using a manual multispectral sensor.



**Grafik 5.** Odnos LAI i NDVI dobijenog primenom bespilotne letelice.

**Figure 5.** Relationship between LAI and NDVI obtained using a UAV.



**Grafik 6.** Prikaz LAI, vrednosti NDVI-POMi NDVI-UAV tokom vegetacione sezone.

**Figure 6.** LAI, NDVI-POM and NDVI-UAV values during the growing season.

Na grafiku 6 zapažene su najveće vrednosti NDVI tokom R1 faze, kada je prosečna vrednost bila 0.87. Slične rezultate u eksperimentu sa sojom u Rusiji, gde je maksimalna vrednost NDVI tokom R1 faze bila najveća (0.852) utvrdili su Stepanov et al. (2020).



Visoke vrednosti NDVI po proučavanim fazama razvoja soje ukazuju da je sorta soje Wendy relativno tolerantna na vodni stress, što se potvrđuje visokim ostvarenim prinosima (4800 kg ha<sup>-1</sup>), što je gotovo jednako genetskom potencijalu (<https://www.rwa.co.rs/>).

## Zaključak

### Conclusion

Analizom međuzavisnih odnosa ustanovljene su značajne i visokoznačajne vrednosti korelacionih koeficijenata između vegetacionih indeksa, evapotranspiracije, vlažnosti zemljišta i prinosa. Pirsonovi koeficijenti korelacije dobijeni između vegetacionih indeksa, prinosa i agroklimatskih parametara iskazali su različite vrednosti u zavisnosti od faze razvoja useva i agroklimatskih uslova tokom sezone. Posebno je važno istaći da su vegetacioni indeksi tokom faze formiranja mahuna, kada je usev soje posebno osetljiv na nedostatak vode, pokazali povezanost sa stvarnom evapotranspiracijom, promenama vlažnosti zemljišta i prinosom. Ovi rezultati pružaju uvid u dostupnost vode za biljke i ukazuju na potencijalni stres. Kako se u istraživanju tokom jedne sezone pratila zavisnost prinosa soje i različitih agroklimatskih parametara, kao i vegetacionih indeksa u uslovima prirodnog vlaženja, korelacije koje nisu pokazale ponovljivost u različitim uslovima sredine i različitim fenofazama su u većoj zavisnosti od meteoroloških uslova gajenja. Rezultati sugerišu da ovi parametri mogu poslužiti kao pouzdani indikatori za praćenje stresnih uslova u gajenju soje što bi doprinelo pravovremenim intervencijama kako bi izbegli nedostatke i smanjili rizike u proizvodnji ove kulture.

U našem istraživanju, ističe se značaj korelacije između prinosa i indeksa NDVI i EVI dobijenih pomoću bespilotne letelice tokom faze intenzivnog rasta (V4), indeks GNDVI tokom faze početka cvetanja (R1), kao i NDVI i GNDVI dobijenih preko ručnog multispektralnog senzora i EVI dobijenog preko bespilotne letelice tokom faze obrazovanja mahuna (R4). Tokom različitih faza rasta i razvoja soje u uslovima prirodnog vlaženja, utvrđen je rastući trend indeksa lisne površine, dok je analizom odnosa između LAI i NDVI utvrđena pozitivna korelaciona povezanost. Podaci ovih istraživanja značajni su za buduću primenu multispektralnih senzora u proizvodnji soje i definisanju mera koje pogoduju ili eventualno štete proizvodnji soje za određene ili slične agroekološke uslove.

## Zahvalnica

### Acknowledgments

Istraživanje je podržano ANTARES projektom, koji je dobio finansiranje iz programa istraživanja i inovacija Horizont 2020 Evropske Unije u okviru ugovora o dodeli grantova SGA-CSA. Broj. 739570 u okviru FPA br. 664387 (<https://doi.org/10.3030/739570>). Autori izražavaju iskrenu zahvalnost kompaniji KITE d.o.o. (KITE Tehnologije), Srbija, na saradnji i velikodušnom deljenju svojih terenskih zapisa kako bi se obezbedili relevantni podaci u našem istraživanju.

## Literatura

### References

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. Fao, Rome, 300(9), D05109.
- Andrade, T. G., Andrade Junior, A. S. D., Souza, M. O., Lopes, J. W. B., & Vieira, P. F. D. M. J. 2022. Soybean yield prediction using remote sensing in southwestern Piauí state, Brazil. *Revista Caatinga*, 35, 105-116.
- Bajocco, S., Ginaldi, F., Savian, F., Morelli, D., Scaglione, M., Fanchini, D. & Bregaglio, S. U. M. 2022. On the use of NDVI to estimate LAI in field crops: Implementing a conversion equation library. *Remote Sensing*, 14(15), 3554.
- Da Silva, E. E., Baio, F. H. R., Teodoro, L. P. R., da Silva Junior, C. A., Borges, R. S., & Teodoro, P. E. 2020. UAV-multispectral and vegetation indices in soybean grain yield prediction based on in situ observation. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 18, 100318.
- Doorenbos, J., & Kassam, A. H. 1979. Yield response to water. FAO Irrigation and drainage paper, 33, 257. Rome
- Dragovic, S., Maksimovic, L., Radojevic, V., & Cicmil, M. 2005. Irrigation requirements and their Effects on Crop Yields in Serbia and Montenegro. In ICID 21st European Regional Conference, Frankfurt (Oder) and Slubice—Germany and Poland, pp. 1-9.

- Dubrovin, K. N., Stepanov, A. S., & Aseeva, T. A. 2022. Application of LAI and NDVI to model soybean yield in the regions of the Russian Far East. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 949(1), 012030. IOP Publishing.
- Đukić, V., Balešević-Tubić, S., Đorđević, V., Dozet, G., Jaćimović, G., Tatić, M., Petrović, K. 2011. Prinos i semenski kvalitet soje u zavisnosti od uslova godine. Ratarstvo i povrtarstvo, 48(1), 137-142.
- Enger, H., Riehm, H. 1958. Die ammoniumlaktatessigsäure-methode zur bestimmung der leichtlöslichen phosphorsäure in karbonathaltigen böden. Agrochimica, 3(1), 49-65.
- Huang, S., Tang, L., Hupy, J.P., Wang, Y., Shao, G. 2012. A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing. J. For. Res. 32, 1–6. <https://doi.org/10.1007/s11676-020-01155-1>
- Kim, S. H., Hong, S. Y., Sudduth, K. A., Kim, Y., & Lee, K. 2012. Comparing LAI estimates of corn and soybean from vegetation indices of multi-resolution satellite images. Korean Journal of Remote Sensing, 28(6), 597-609.
- Kitić, G., Tagarakis, A., Cselyuszka, N., Panić, M., Birgermajer, S., Sakulski, D., & Matović, J. 2019. A new low-cost portable multispectral optical device for precise plant status assessment. Computers and Electronics in Agriculture, 162, 300-308.
- Kolarić, L., Ikanović, J., Popović, V., Živanović, L., Janković, S., Rakaščan, N. & Jevremov, B. 2023. Soybeans as a food and energy source. In Abstracts, 11th World Soybean Research Conference (WSRC 11), Soybean Research for Sustainable Development, Vienna, 18-23 June 2023, pp. 149-149. Vienna: University of Natural Resources and Life Sciences (BOKU).
- Lee, B.; Kwon, H.; Miyata, A.; Lindner, S.; Tenhunen, J. 2017. Evaluation of a Phenology-Dependent Response Method for Estimating Leaf Area Index of Rice Across Climate Gradients. Remote Sensing, 9, 20. <https://doi.org/10.3390/rs9010020>
- Lipovac, A., Bezdan, A., Moravčević, D., Djurović, N., Ćosić, M., Benka, P., & Stričević, R. 2022. Correlation between Ground Measurements and UAV Sensed Vegetation Indices for Yield Prediction of Common Bean Grown under Different Irrigation Treatments and Sowing Periods. Water, 14(22), 3786.
- Maksimović, L., Pejić, B., Milić, S., & Radojević, V. 2005. Efekat navodnjavanja na evapotranspiraciju i prinos soje. Vodoprivreda, 37(4-6), 239-244.

- Mandić, V., Bijelić, Z., Krnjaja, V., Simić, A., Ružić-Muslić, D., Dragičević, V., & Petričević, V. 2017. The rainfall use efficiency and soybean grain yield under rainfed conditions in Vojvodina. *Biotechnology in Animal Husbandry*, 33(4), 475-486.
- Mandić, V., Krnjaja, V., Tomić, Z., Bijelić, Z., Simić, A., Đorđević, S. & Gogić, M. 2015. Effect of water stress on soybean production. In *Proceedings of the 4th International Congress New Perspectives and Challenges of Sustainable Livestock Production October 7–9, 2015* (pp. 405-414). Belgrade: Institute for Animal Husbandry.
- Marcial-Pablo, M. D. J., Ontiveros-Capurata, R. E., Jiménez-Jiménez, S. I., & Ojeda-Bustamante, W. 2021. Maize crop coefficient estimation based on spectral vegetation indices and vegetation cover fraction derived from UAV-based multispectral images. *Agronomy*, 11(4), 668.
- Meseldžija, M., Rajković, M., Dudić, M., Vranešević, M., Bezdan, A., Jurišić, A., & Ljevnaić-Mašić, B. 2020. Economic feasibility of chemical weed control in soybean production in Serbia. *Agronomy*, 10(2), 291.
- Mohlala, D. B., Stričević, R., Gregorić, E., & Životić, L. 2022. Просторне и временске промене у снабдевеност биљака водом применом NDVI у сливовима Тиње и Козлице. *Zemljiste i biljka*, 71(2).
- Muruganatham, P., Wibowo, S., Grandhi, S., Samrat, N. H., & Islam, N. 2022. A systematic literature review on crop yield prediction with deep learning and remote sensing. *Remote Sensing*, 14(9), 1990.
- Mwinuka, P. R., Mbilinyi, B. P., Mbungu, W. B., Mourice, S. K., Mahoo, H. F., & Schmitter, P. 2021. The feasibility of hand-held thermal and UAV-based multispectral imaging for canopy water status assessment and yield prediction of irrigated African eggplant (*Solanum aethopicum* L). *Agricultural Water Management*, 245, 106584.
- Nguy-Robertson, A., Gitelson, A., Peng, Y., Viña, A., Arkebauer, T., & Rundquist, D. 2012. Green leaf area index estimation in maize and soybean: Combining vegetation indices to achieve maximal sensitivity. *Agronomy journal*, 104(5), 1336-1347.
- Pejić, B., Bošnjak, Đ., Mačkić, K., Rajić, M., Josipović, M., Jug, I., & Maksimović, L. 2012. Yield and water use efficiency of irrigated soybean in Vojvodina, Serbia. *Ratarstvo i povrtarstvo*, 49(1), 80-85.

- Pejić, B., Maksimović, L., Cimpeanu, S., Bucur, D., Milić, S., & Ćupina, B. 2011. Response of soybean to water stress at specific growth stages.
- Popović, V., Miladinović, J., Vidić, M., Vučković, S., Dolijanović, Ž., Ikanović, J. & Kolarić, L. 2015. Drought: Limiting factor in soybean production; the effect of irrigation on yield of soybean: *Glycine max*. Zbornik naučnih radova Instituta PKB Agroekonomik, 21(1-2), 11-20.
- Richards, L. A. 1941. A pressure-membrane extraction apparatus for soil solution. *Soil science*, 51(5), 377-386.
- Rodigheri, G., Fontana, D. C., Schaparini, L. P., Dalmago, G. A., & Schirmbeck, J. 2020. Net primary productivity and dry matter in soybean cultivation utilizing datas of NDVI multi-sensors. In 2020 IEEE Latin American GRSS & ISPRS Remote Sensing Conference (LAGIRS) (pp. 115-120). IEEE.
- Saravia, D., Valqui-Valqui, L., Salazar, W., Quille-Mamani, J., Barboza, E., Porrás-Jorge, R. & Arbizu, C. I. 2023. Yield prediction of four bean (*Phaseolus vulgaris*) cultivars using vegetation indices based on multispectral images from UAV in an arid zone of Peru. *Drones*, 7(5), 325.
- SRPS 7150-1 1990. Određivanje sadržaja amonijaka. Metoda pomoću Nessler-ovog reagensa
- Stepanov, A., Dubrovin, K., Sorokin, A., & Aseeva, T. 2020. Predicting soybean yield at the regional scale using remote sensing and climatic data. *Remote Sensing*, 12(12), 1936.
- Tang, Z., Zhang, W., Wang, X., Xiang, Y., & Chen, J. 2023. Study on soil moisture content in soybean root zone based on UAV multispectral remote sensing. *International Journal of Precision Agricultural Aviation*, 6(1).
- Tyurin, I. V., & Kononova, M. M. 1934. On a new method for determining soil nitrogen requirements. *Proceedings of the Soil Institute named after VV Dokuchaev*, 10(4), 49-56.
- USDA. 2014. Kellogg Soil Survey Laboratory Methods Manual. Soil Survey Investigations Report No. 42, Version 5.0; Burt, R., Staff, S.S., Eds.; U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service: Washington, DC, USA.
- Vadjunina, Korchagina, 1973 – Vadjunina A.F., Korchagina Z.A. 1973. Methods research on physical properties of soils and primers. *Vysshaya Shkola: Moscow*, 400 p.

- Wang, N., Guo, Y., Wei, X., Zhou, M., Wang, H., & Bai, Y. 2022. UAV-based remote sensing using visible and multispectral indices for the estimation of vegetation cover in an oasis of a desert. *Ecological Indicators*, 141, 109155.
- Worku, M., & Astatkie, T. 2011. Row and plant spacing effects on yield and yield components of soya bean varieties under hot humid tropical environment of Ethiopia. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 197(1), 67-74.
- Xue, J., & Su, B. 2017. Significant remote sensing vegetation indices: A review of developments and applications. *Journal of sensors*, 2017.
- Zerihun, A., & Haile, D. 2017. The effect of organic and inorganic fertilizers on the yield of two contrasting soybean varieties and residual nutrient effects on a subsequent finger millet crop. *Agronomy*, 7(2), 42.
- Zhang, X., Zhao, J., Yang, G., Liu, J., Cao, J., Li, C. & Gai, J. 2019. Establishment of plot-yield prediction models in soybean breeding programs using UAV-based hyperspectral remote sensing. *Remote Sensing*, 11(23), 2752.
- <https://www.rwa.co.rs/> (dostupno 29.04.2024.)
- <https://www.fao.org/faostat>; (dostupno 29.04.2024.)

## Using a manual multispectral sensor and UAV in monitoring soybean development and productivity under rainfed conditions

Nevena Stevanović<sup>1\*</sup>, Nikola Stanković<sup>1</sup>, Nataša Ljubičić<sup>1</sup>, Mirjana Vukosavljev<sup>1</sup>, Aleksa Lipovac<sup>2</sup>, Irina Marina<sup>3</sup>, Ružica Stričević<sup>2</sup>

<sup>1</sup>University of Novi sad, BioSense Institute, Dr Zorana Đinđića 1, 21000 Novi Sad, Serbia

<sup>2</sup>University of Belgrade, Faculty of Agriculture, Nemanjina 6, Belgrade 11080, Serbia

<sup>3</sup>Institute of Agriculture Economics, Volgina 15, Belgrade 11060, Serbia

\*Contact author: Nevena Stevanović, [nevena.stevanovic@biosense.rs](mailto:nevena.stevanovic@biosense.rs)

### Abstract

Soybean (*Glycine max* L.) is one of the leading cultivated crops globally. Although the region of Vojvodina is favorable for soybean production, the climate, especially high temperatures and uneven distribution of precipitation, represents a major limiting factor. The aim of this study is to investigate the correlation between soybean yield, water stress levels, and vegetation indices obtained using a handheld multispectral sensor and a drone under natural moisture conditions on a test plot in Čenej, Vojvodina. The results showed a significant correlation between vegetation indices with evapotranspiration, soil moisture changes, and soybean yield. During the intensive growth phase (V4), NDVI-UAV, EVI-UAV, and GNDVI-UAV showed highly significant positive correlations with yield ( $r=0.96^{**}$ ,  $r=0.94^{**}$ ,  $r=0.86^*$ ). During the flowering phase (R1), GNDVI-POM had significant positive correlations with all analyzed parameters, while GNDVI-UAV had significant correlations with evapotranspiration and soil moisture. During the pod formation phase (R3), GNDVI-UAV again showed a significant correlation with yield ( $r=0.86^*$ ), while NDVI-POM had significant correlations with evapotranspiration and soil moisture. During the pod filling phase (R4), EVI-UAV showed highly significant positive correlations with evapotranspiration, soil moisture, and yield ( $r=0.94^{**}$ ,  $r=0.96^{**}$ ,  $r=0.89^{**}$ ). These results are useful for the application of multispectral sensors in detecting soybean water availability and improving production under natural moisture conditions.

*Keywords:* soybean, multispectral sensor, UAV, vegetation indices, soil moisture

Received 08.05.2024

Revised 03.08.2024

Accepted 07.08.2024

## **Production and state of the corn market according to the principles of sustainable development**

Jelena Ignjatović, Milan Blagojević, Aleksandra Đorđević

Academy of Applied Studies Šabac, Dobropoljska 5, 15000 Šabac, Serbia

\*Corresponding author: Jelena Ignjatović, jignjatović985@gmail.com,  
j.ignjatovic@akademijasabac.edu.rs

### **Abstract**

The constant pretension of people for food indicates the importance of agriculture and technology, and places them among the most important economic branches. Agriculture in the modern world ensures the general progress of society in the economic and cultural aspects and represents an economic branch that ensures the material survival of mankind. Given the fact that the world's population is growing faster and that the need for daily food is constantly increasing, it is necessary to start as soon as possible with the implementation of sustainable methods in agricultural production at all levels. Corn, as an agricultural product, is of great importance for the sustainable development of agriculture and belongs to field wide-row crops, which belongs to the group of cereals. Cultivation of this culture is best achieved in climatic conditions, from moderate to tropical, where in the periods of the year when daily average temperatures do not fall below 15 °C, they belong to C-4 plants, which do not tolerate low temperatures. New varieties and hybrids of corn enable higher and more stable yields in different climates, which implies that the correct selection of hybrids is sustainable development, not only for the corn crop and its price as a product on the cereal market. The subject of the paper is to point out the importance of sustainable development for the corn market as an agricultural product. The aim of the work is to assess the possibility of sustainable corn production in order to create a competitive product for the foreign market, as well as the potential and advantages of Serbia for the implementation of new or corrected production technologies that are characterized by respect for the principles of sustainable development.

**Keywords:** agriculture, corn, market, sustainable development.



## Introduction

As economic progress in every activity tends to constant growth and increase in profits, so in agriculture, too, the development of possibilities for constant increase of yield and profit has always been done. In the past, it was possible to implement such economic demands to the increasing detriment of the natural environment. The most important elements for the survival of human life, namely land, water, and air, suffer the greatest consequences of constant growth and development (Roljević Nikolić, Paraušić, 2021). Sustainable agriculture can be defined as a set of plant and livestock products that are necessary for human survival, which are produced in a way that preserves the quality of the environment, without endangering natural resources, and all this with a high economic value for agricultural producers. Also, engaging in sustainable agriculture contributes to the quality of the local community and society as a whole (Harwood, 2020). The goals of sustainable agriculture are to satisfy human needs for food in the long term, provide a healthy environment, use resources on the agricultural property to the best extent possible, ensure economic profitability, improve the quality of life of people in the given area (Borowski, Patuk, 2021). Sustainable development is necessary in order to create a quality environment for future generations and good foundations for improving people's lives (Ignjatović et al. 2024) in rural areas and agriculture.

Agriculture itself, as an important economic branch, has a perspective and development chance in the Republic of Serbia, while corn is one of the most important agricultural products. According to Food Technology (2023) "Although we are used to it being yellow in color, there is also white, red, blue, pink and black corn. Also, it can have stripes or be colorful! Whatever color it is, people use it in their diet all over the world, unaware that this cereal is a real protector of health." Corn is an annual plant whose length of vegetation depends on the variety (hybrid) and the method of cultivation. All hybrids can be classified as early (vegetation period from 90 to 110 days), medium (period from 120 to 130 days) and late (between 135 and 145 days) by length of vegetation. It thrives best on fertile, slightly acidic soil" (Agromedia, 2023). The six main subspecies of corn are: toothed, hard, soft, sweet, waxy and popcorn. There is information that more than 60% of corn in the world is used as feed for cattle, and less than 20% for human consumption, while the rest is seed or used in the processing industry (Agroklub, 2023).

Although corn originates from Central America, it was brought to Europe by Columbus, where it quickly adapted to new climatic conditions. It was primarily used as livestock feed

and was grown only in small gardens, but experiments with the method of preparation changed its nutritional characteristics. In Europe, it was used for the production of corn flour and other cereals. In the territory of Serbia, the former SFRY, it was grown from the end of the 16th and the beginning of the 17th century, while the first corn growing area was in Srem. Sustainable development of agriculture and corn production can be defined as development that enables the preservation of soil, water, plant and animal species (biodiversity), in such a way that it is in accordance with the requirements of ecology, technically applicable, economically profitable and socially acceptable (FAO, 1985). However, agriculture does not only refer to the production and processing of primary corn products, but its influence also extends to the context of rural communities and their development.

Corn is the plant with the highest biological fertility potential and is among the plants with the highest production of organic matter. Almost all parts of the plant can be used, which gives corn a special economic importance. Average yields in the last few years for the corn crop in the Republic of Serbia are around 6.0 tons per hectare. In the past period of eleven years, corn was grown on an area of 1,034,297 ha with a trend of decreasing areas since 2018. According to FAO data (2023) for the period 2010-2020. year, the total area decreased by 227,052 ha (2020), while the grain yield increased by 295 t ha<sup>-1</sup> (2020). The average of the total production in the mentioned period was 6,369,748 t, while the production in ten years increased by 665,416 t (table 1).

**Table 1.** Corn production in Serbia (areas, yields) in the period 2010-2020.

Year	Areas (ha)	Grain yield (t ha <sup>-1</sup> )	Total production (t)
2010	1.223.579	5,890	7.207.191
2011	1.256.437	5,149	6.479.564
2012	976.020	3,619	3.532.602
2013	980.334	5,982	5.864.419
2014	1.057.877	7,517	7.951.583
2015	1.010.227	5,310	5.454.841
2016	1.010.097	7,303	7.376.738
2017	1.002.319	4,009	4.018.370
2018	901.753	7,724	6.964.770
2019	962.083	7,634	7.344.542
2020	996.527	7,900	7.872.607
<b>Prosек</b>	<b>1.034.296</b>	<b>6,185</b>	<b>6.369.748</b>

Source: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>

The yield and realized profit certainly depend on the level of application of complex agrotechnical measures in the production process. Different tillage systems on corn yield at different levels of applied fertilizers research Videnović et al. (2011) showed the advantages of classical cultivation in the presented agroecological conditions, regardless of the level of applied fertilizers. For the production of corn, there is no universal agrotechnical matrix that would be applied in all regions where it is produced, the production technology should be adapted to the available type of arable land and climate (Živanović et al., 2016).

The cultivation of corn and the height of the achieved yields is closely related to the relief, the physical and chemical properties of the soil and the accessibility of nutrients to the plant, especially the nitrogen macroelement (Schmidt et al., 2002). What suits the corn crop is a slightly acidic soil with a slightly alkaline reaction, and the most acceptable types of soil for growing corn are chernozem, meadow and ridge black soil, fertile alluvium and fertile alluvium (Nastić, 2014). Climatic changes, and above all the amount and distribution of precipitation as well as air temperature, greatly influence the variation in corn yields from year to year. Usually, we are talking about low amounts of precipitation and high temperatures during July and August, when the fertilization of corn is in progress, as well as the pouring of seeds, which negatively affects the yield of corn. Irrigation, with its high inputs, can greatly reduce the effect of drought on the corn crop and improve fertilization, but this measure is justified only in dry years, while it has very little effect in rainy years.

### **Potentials of agriculture for the needs of sustainable development**

Agriculture has one of the key roles in the development of modern civilization, and its present and future are determined by the relationship to food production. The transition from gathering to stationary agricultural production is one of the biggest turning points in human society, considering that it contributes to the development of various human activities (Šeremešić et al. 2017).

Industrialization enabled the intensive expansion of agriculture based on economy and improved technological procedures, which created conditions for increasing the number of the population, and therefore providing a safe source of food. This enabled the further development of other human activities and interests.

One of the most important problems in the 21st century is the loss of biological diversity, especially in conditions of intensive agricultural production. The destruction of species does not happen as a planned and targeted human activity, but most often indirectly,

by destroying the habitats where the species live. The attitude of people towards biodiversity is different. While some see in it an inexhaustible source of their income, others are aware of the necessity of its protection. It should also be noted the importance of agriculture as one of the main causes of increased greenhouse gas emissions. Loss of biodiversity threatens agricultural productivity, human health and even survival. The modern concept of preserving biological diversity, in essence, tries and strives to create a balance between these two opposing attitudes, through the idea of sustainable use and preservation of original biodiversity.

Sustainable agriculture most often implies a way of growing plants, in which the use of synthetic mineral fertilizers and pesticides is minimized or not used at all, i.e. it represents a system of ecological production management that preserves and improves biological diversity, cycles of matter circulation and biological activity of the soil (Kovačević, Oljača, 2005). Considering the growing trend in the production of health-safe food, there are increasing demands to reduce chemical inputs while maintaining stable yields and good nutritional composition of fruits. To this end, it is expedient to study the methods by which the requirements of sustainable production can be achieved, and food needs can be met.

The advantages of the development and modification of agriculture in Serbia are reflected in the favorable climatic conditions, as well as the abundance of rivers and canals that can be used for irrigation purposes. Furthermore, Serbia has a favorable geographical position that allows easy transportation, whether it is river, rail, road or other types of traffic. Also, the revolutionary development of agriculture has never happened in Serbia, which leads to the question: "What is the reason for this?" (Ugrenović, Filipović, 2013).

Although there are numerous advantages that technological progress has brought, the question of the sustainability of such an agricultural system at the global level is increasingly being raised (Šeremešić et al. 2017). In today's production conditions, when the principles of good agricultural practice must be observed, there is a need to determine production methods with economically profitable yields, in different conditions (agro-climatic and soil), with a satisfactory chemical composition of the grain, and preservation of the parameters that define soil fertility.

### **The importance of corn for Serbia's competitiveness in foreign markets**

The European Union market occupies more than half of Serbia's agricultural exports, while the other half of the market is made up of countries from the region that belong to CEFTA (Central European Free Trade Association) members that are part of the trade agreement

(Filipović Ignjatović, 2023). Serbia, as the only CEFTA member country in the region, has preferential access to the Customs Union market, which also includes the Russian Federation, Belarus and Kazakhstan, which enables better marketing of agricultural products. Also, agricultural production has duty-free access to the Turkish market. The trade agreement between Serbia and the EU began in February 2010, which enabled Serbian products to be present on a large and demanding market (Stegić, 2016).

The biggest task and progress of agriculture in Serbia can be declared to be a significant increase in production and productivity, with the provision of money for investments in equipping systems and infrastructure (irrigation, slaughterhouses, cold stores, laboratories), for consolidating holdings, for raising production facilities, higher levels of processing and the like. As one of the most important goals and tasks of Serbian agriculture, efforts related to directing strategies, activities and measures related to the increase of segments in relation to the general level of competitiveness, access to new markets, harmonization with EU and WTO standards, winning new skills, knowledge and the use of technologies, which will change the structure of agriculture and prepare it for the competitive struggle in the demanding and change-prone domestic and international market (Avdić, 2017).

The main goal of corn production is aimed at obtaining quantitatively and qualitatively high and stable yields. Given that corn is produced and grown in different areas, it is necessary to adapt the production technology to the specific conditions of the climate, soil and other factors of the external environment in order to fully utilize the potential (habitats and genotype). The yield of hybrid corn seeds per unit area can be expressed as the result of the number of plants per hectare and the weight of seeds per plant, which is the product of several factors such as: number of ears per plant, length of seeds, number of rows of seeds, total number of seeds, size and weight of seeds which was produced.

In Serbia, corn is the most represented plant species, which is necessary for providing domestic needs. At the same time, it is a strategic product intended for export. The great variability of corn resulted in a huge number of varieties, which were grown at the very beginning of the development of corn as a cultivated plant, while only hybrid seeds are used for the production of commercial corn (Tabaković, 2012). In Serbia, the cultivation of corn is the primary agricultural crop compared to soybeans and sunflowers, although in January 2020 it cost 17.05 dinars, and its price would eventually rise to more than 32 dinars (Gulan, 2022). In recent years, between 240,000 and 250,000 hectares of soybeans were planted in Serbia, and

around 220,000 hectares of sunflowers. In 2021, sunflower was the best drought tolerant so that the total yield of this oilseed was about 650,000 tons.

The Agrarian Association of Serbia stated that sowing corn in 2022 cost 140,000 - 155,000 dinars per hectare, which is 50% more than sowing in previous years, while sowing soybeans and sunflowers is 30% more expensive. Corn occupies the most hectares of fields every year, so for example in 2020, the harvest was about 8 million tons, and in 2021, when there was a drought, approximately 6 million tons were harvested. Due to the lack of livestock, 4 million tons of corn are enough for Serbia per year, and the rest is exported (Agrofin, 2022). According to data from 2022, sowing is more expensive for several reasons: high prices of fertilizers, fuel and rent. In some parts of Vojvodina, the rent is around 500 euros per hectare. When the spring sowing took place, the tenants of the state fields and the herdsmen passed cheaper, since the rent amounted to 200 euros in dinar equivalent. Also, sowing was lower for large agricultural producers due to the fact that they received VAT refunds (Agrobusiness, 2022).

Agricultural subsidies in agriculture were increased from 4,000 to 8,000 per hectare from March 2022, although this did not solve the problem according to the opinion of farmers, and their proposals related to systemic measures to solve the problem in the long term by implementing a new concept of agrarian policy, which would mean that farmers should to have a processing industry. The modern agriculture of Serbia and agriculture in general is focused on the strategic determination of our country through equal inclusion in the European Union with the aim of exchanging agricultural products of Serbia with the countries of the European Union, with an emphasis on the export possibilities of the Vojvodina Agroindustry through the example of the company NS Seme and brands under the same by name.

Based on RZS estimates (2023), the areas under wheat in Serbia increased by about 8%, while the areas under corn decreased by about 1.5 percent. These two most important agricultural crops of vegetable production in Serbia were grown last year on an area of about 631 thousand hectares (wheat) and on about 952 thousand hectares (Corn). It is estimated that one million hectares of arable land will be sown with corn in Serbia, and close to 600,000 hectares are under wheat. In the last three years, there has been an evident increase in the area under corn, which has reached one million hectares from around 900,000 hectares.

However, looking at the export of corn in grain (Charts 1 and 2), a drop in exports in the period 2020-2022 is evident. year, in the amount of 2,325,145 tons, but also worth 233,344 thousand USD (RZS, 2023), which is the result of the COVID-19 pandemic (Filipović, Ignjatović, 2021).

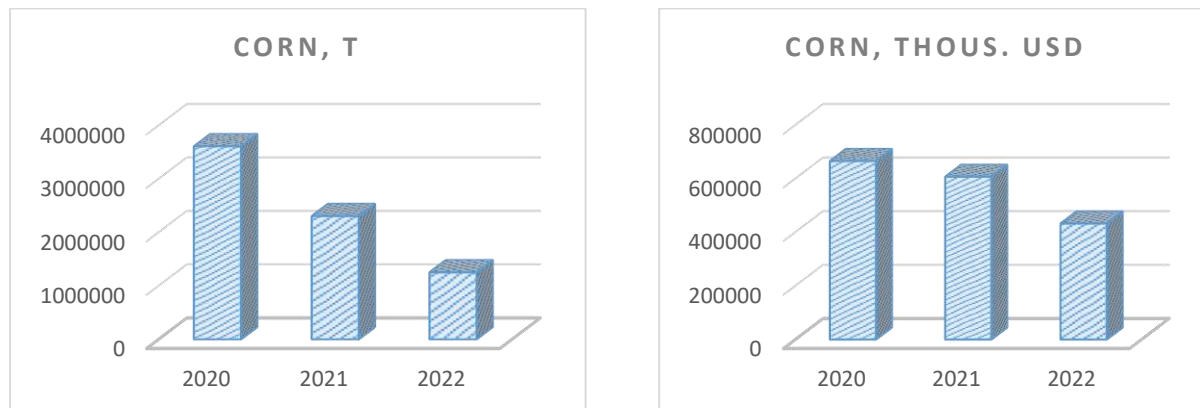


Chart 1 and 2: Quantitu (t) and Volume (thous. USD) of Corn

Source: RZS, 2023.

The average sowing unit 2.4 and the price of corn, a few years ago, was around 35 euros, but today this value for domestic seed companies would be around 50-70 euros, while foreign hybrids are significantly more expensive (Todorović, 2024):

Necessary quantities of seed corn seeds in Serbia:

$$1,200,000 \text{ ha} \times 2.4 \text{ su} = 2,880,000 \text{ su} \times 35 \text{ €/su} = 100,800,000 \text{ €}$$

(su-sowing unit (for sowing one hectare, 2.4 sowing units are needed).

This is certainly not in favor of sustainable development for the corn crop. Serbia achieved the highest value of exports with the countries of the European Union, Romania and Italy, both in terms of quantity and value (Table 2). With both countries, it is in the period 2020-2022. a decline in exports was achieved, while growth in quantity and value was recorded with Bosnia and Herzegovina, Hungary, Austria and Croatia.

**Table 2:** Corn source by country, 2020-2022.

	Quantitu, t			Value, thous. USD		
	2020	2021	2022	2020	2021	2022
<b>Romania</b>	2.539.128	1.243.274	409.245	450.370	302.257	129.951
<b>Italy</b>	584.950	418.696	303.641	94.625	100.848	91.214
<b>BiH</b>	158.492	127.571	176.523	30.166	36.809	56.788
<b>Hungary</b>	25.446	148.200	120.720	10.005	43.035	44.455
<b>Austria</b>	62.308	158.392	87.404	13.323	47.371	29.308
<b>Croatia</b>	18.076	13.604	26.662	5.706	6.953	13.671

<b>Albania</b>	83.634	70.577	43.057	14.880	18.919	13.146
<b>North Macedonia</b>	63.221	57.440	40.455	12.066	15.911	13.117
<b>Other countries</b>	72.951	62.884	42.354	34.166	34.442	40.313

Source: RZS, 2023.

Organic production of corn in Serbia is in the initial stage of development and occupies small production areas. Organic farming systems can provide the producer with a significant economic profit while simultaneously preserving the fertility of the soil and the environment. Organic corn production in R. In Serbia, it started with about 1000 ha as early as ten years ago, it should be pointed out that it is primarily about production, which tends to increase production areas from year to year. Most corn varieties are suitable for organic production systems. It is certainly necessary to point out that the production of sweet corn that is packed in cans (grain) or for direct use in cobs is suitable for achieving higher earnings in the organic production system.

## Conclusion

Sustainable agriculture can be implemented by spreading knowledge and training the rural population, which should be of key importance in the coming period. We would all feel the benefits of sustainable agriculture, first of all because it affects the restoration of natural plant and animal habitats, the protection of water courses, the preservation of soil, while farmers making economic profit, consumers on the market have quality, healthy and safe food .

Corn is definitely a grain with which producers have made a safe profit in the last decades, so it is also the most represented by area. The costs in the organic system of growing corn are significantly higher than in the conventional system, however, in organic production, a higher market value of the product is realized, because higher market prices of the final products are realized. The assumption is that this arable crop will regain its primacy among producers, that is, that earnings on this and other crops will return to the prices before the war events in Ukraine. For survival and growth, it is important to keep existing and conquer new markets, through market research activity, as a basis for creating an offer of suitable products with an accent on the promotional message "Create the right product for the consumer". This means that everything starts and ends with the consumer.

## Acknowledgements

The paper was written within the Erasmus + project Better Soil to Better Tomorrow (BS2BT), no. 2023-1-HRO1-KA220-VET-000160995.



## References

- Agribusiness. 2022. This year's corn sowing is more expensive by 50 percent, sunflower by 30.10-sep-2023.
- Avdić, P. 2017. Agribusiness Development Strategy, Ministry of Education, Science and Technological Development, *Doctoral Thesis*, University Business Academy.
- Agromedia. 2023. Food technology: All about corn. 10-sep-2023 <https://www.tehnologijahrane.com/iz-novina/sve-o-kukuruzu>
- Agroclub. 2023. Evolution of agriculture: Corn, 10-sep-2023. <https://www.agroklub.rs/sortna-lista/zitarice/kukuruz-115/> and [polj.uns.ac.rs](http://polj.uns.ac.rs)
- AgroFin. 2022. Farmers calculated: Sowing corn will cost 140,000-150,000 dinars per hectare. 10-Feb-2022. <https://www.agrofin.rs/vesti/ratari-izracunali-setva-maize-costace-140-000-150-000-dinars-per-hectare/>
- Borowski P, Patuk I. 2021. Environmental, social and economic factors in sustainable development with food, energy and eco-space aspect security. *Present Environment & Sustainable Development*, 15(1).
- FAO. 1985. Guidelines: Land evaluation for irrigated agriculture, *FAO soils bulletin* 55: 243, [www.fao.org/docrep/x5648e/x5648e00.htm](http://www.fao.org/docrep/x5648e/x5648e00.htm),
- Ignjatović J, Filipović S, Radovanović M. 2024: Challenges of the green transition for the recovery of the Western Balkans. *Energy, Sustainability and Society* 14(2):1-13. <https://doi.org/10.1186/s13705-023-00421-4>
- Filipović S, Ignjatović J. 2023. Foreign trade commodity exchange between the countries of the former SFRJ. *The Review of International Affairs* LXXIV(1187):31- 58. DOI: <https://doi.org/10.18485/iiperia.2023.74.1187.2>
- Filipovic S, Ignjatovic J. 2021. International relations through the prism of the new technological division of power. *Međunarodni problem*, iLXXIII (4): 637-666. DOI: <https://doi.org/10.2298/MEDJP2104637F>
- Harwood R. R. 2020. A history of sustainable agriculture. *Sustainable agricultural systems*3-19.
- Gulan, B. 2022. Sowing in Serbia: The largest areas will belong to corn, 09-jul-2023.
- Kovačević D, Oljača S. 2005. Organic agricultural production. Zemun: Faculty of Agriculture, p.10.
- Nastić P. 2014. Guide for organic corn production, 26-may-2016.
- Nikolić Roljević N, S, Paraušić V. 2021. New technologies and sustainable agriculture: opportunities and challenges. Belgrade: IEA, p. 3-25.
- Republic Institute of Statistics (RZS). 2023. Expected production of wheat, raspberries and cherries and the sown area of corn, sugar beet, sunflower and soybeans, 23-May-2023. <https://www.stat.gov.rs/sr-latn/vesti/statisticalrelease/?p=13621>

- Stegić M. 2016. The impact of foreign trade exchange of the agro-industrial sector, Ministry of Education, Science and Technological Development. *Doctoral Thesis*, University Business Academy.
- Schmidt J. P, De Joia A. J, Ferguson R. B, Taylor R. K, Young R. K, Havlin J. L. 2002. Corn yield response to nitrogen at multiple in-field locations, *Agronomy Journal*. 94(4):798-806.
- Tabaković J. M. 2012. The influence of weather conditions, soil and genotypic combination on the characteristics of hybrid corn seeds, *Doctoral dissertation*, University of Belgrade, Faculty of Agriculture. Food technology. 2023: Corn: Agromedia. 09-Jun-2023. <https://www.agromedia.rs>
- Todorović, G. 2024. Corn seed production. Zemun: Institut Zemun polje, p. 25. <http://www.dsss.org.rs/download/25god-dr-goran-todorovic.pdf>
- Ugrenović V, Filipović V. 2013. Nove tehnologije i održiva poljoprivreda: mogućnosti i izazovi, Beograd: IEP, p.3. Videnović Ž, Simić M, Srdić J, Dumanović Z. 2011: Long term effects of different soil tillage systems on maize (*Zea mays* L.) yields. *Plant Soil Environ*. 57 (4):186-192.
- Šeremešić S, Vojnova B, Manojlovića M, Miloševa, D, Ugrenović V, Filipović V, Babec B. 2017. Organic Agriculture in the Service of Biodiversity and Health, *Annals of Scientific Works/Annals of Agronomy* 41(2):51-60.
- Živanović Lj, Kovačević V, Subić J, Jelocnik M, Zubović J. 2016. Economic costeffectiveness of different nitrogen rates application in the production of corn hybrids of different maturity groups on brown forest soil (Euteric Cambiosol), 12(4):279-294.

## Proizvodnja i stanje tržišta kukuruza po principima održivog razvoja

Jelena Ignjatović, Milan Blagojević, Aleksandra Đorđević

Academy of Applied Studies Šabac, Dobropoljska 5, 15000 Šabac, Serbia

\*Corresponding author: Jelena Ignjatović, [jignjatovic985@gmail.com](mailto:jignjatovic985@gmail.com),  
[j.ignjatovic@akademijasabac.edu.rs](mailto:j.ignjatovic@akademijasabac.edu.rs)

### Abstract

Stalna pretenzija ljudi za hranom, ukazuje na značaj poljoprivrede i tehnologije, i stavlja ih u red najznačajnijih privrednih grana. Poljoprivreda u savremenom svetu osigurava opšti napredak društva u privrednom i kulturnom aspektu i predstavlja privrednu granu koja obezbeđuje materijalni opstanak čovečanstava. S obzirom na činjenicu da svetska populacija sve brže raste i da se potreba za dnevnom količinom hrane stalno povećava, neohodno je što pre početi sa implementacijom održivih načina u poljoprivrednoj proizvodnji na svim nivoima. Kukuruz, kao poljoprivredni proizvod, ima veliki značaj za održivi razvoj poljoprivrede i pripada ratarskim širokorednim usevima koji pripada grupi žitarica. Gajenje ove kulture najbolje se ostvaruje u klimatskim uslovima od umerenih do tropskih, gde u periodima godine kada dnevne prosečne temperature ne padaju ispod 15 °C i spadaju u C-4 biljke koje ne podnose niske temperature. Nove sorte i hibridi kukuruza omogućavaju veće i stabilnije prinose u različitim klimatima, što podrazumeva da pravilan odabir hibrida jeste održivi razvoj, ne samo za usev kukuruza i njegovu cenu kao proizvoda na tržištu žitarica. Predmet rada jeste da ukaže na značaj održivog razvoja za tržište kukuruza kao poljoprivrednog proizvoda. Cilj rada je sagledavanje mogućnosti održive proizvodnje kukuruza radi stvaranja konkurentskog proizvoda za ino-tržište, kao i potencijal i prednosti Srbije za implementaciju novih ili korigovanih tehnologija proizvodnje koje karakterišu poštovanje principa održivog razvoja.

**Ključne reči:** poljoprivreda, kukuruz, tržište, održivi razvoj.

Received 02.06.2024

Revised 17.06.2024

Accepted 20.06.2024

## Использование беспилотных летательных аппаратов и геоинформационных систем для картографирования почвенного покрова территории

### Using unmanned aerial vehicles and geographic information systems for mapping the soil cover of the territory

Anton Lavrishchev<sup>1\*</sup>, Anna Kramer<sup>1</sup>, Anastasia Klyatisheva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>St. Petersburg State Agrarian University, Peterburgskoye 2, 196601 St. Petersburg, Russia

\* *Corresponding author*: av.lavrishchev@yandex.ru

#### Аннотация

#### Abstract

В статье представлены результаты почвенного картографирования территории с использованием беспилотных летательных аппаратов и геоинформационных систем. Приведены данные геоморфологического исследования участка. С помощью нивелирной съёмки и данных SRTM-съёмки в геоинформационной среде QGIS создана цифровая карта рельефа территории с высотой сечения 1 метр. Установлено, что диапазон высот варьирует от 53,72 до 61,46 метров над уровнем моря. Представлены данные геоботанического обследования территории, проводимого с корректировкой точности выделения границ растительных ассоциаций с помощью аэрофотосъёмки с БПЛА. Выделено 30 растительных ассоциаций. Проведено изучение морфологических и физико-химических свойств почв картографируемого участка. В геоинформационной среде QGIS создана цифровая геоботаническая и почвенная карта. Выявлено, что почвенный покров представлен дерново-подзолистыми среднегумусными почвами тяжёлого гранулометрического состава с чёткой дифференциацией почвенного профиля по содержанию илистой фракции. Почвы обладают сильнокислой реакцией среды ( $pH_{KCl}$  4,36 ед). Степень кислотности снижается с глубиной. Значение гидролитической кислотности, в зависимости от горизонта, варьирует в пределах 5,49-5,84 ммоль(экв)/100 г, достигая максимальных значений в подзолистом горизонте. Выявлена дифференциация значений ёмкости катионного обмена и степени насыщенности оснований по профилю, минимальные значения характерны для элювиального горизонта.

*Ключевые слова*: ГИС, БПЛА, QGIS, почвенное картографирование, геоботаническое обследование, цифровые карты

*Keywords*: GIS, UAV, QGIS, soil mapping, geobotanical survey, digital maps

## Введение

### Introduction

Почвенное картографирование является важнейшей составной частью информации об окружающей среде и, в первую очередь, о почвенном покрове, как о главном объекте сельскохозяйственного производства. Почвенные карты являются основой для агропроизводственной оценки почв и разработки конкретных мероприятий по поднятию их плодородия, охране и наиболее эффективному использованию.

Усовершенствовать процесс составления почвенных карт можно на основе современных технологий, использующих ГИС, сочетающих в себе аналитический аппарат с пространственным представлением информации. Современное почвенное картографирование неразрывно связано с применением новых технологических приёмов, основанных на использовании цифровых технологий.

Цифровая картография почв изучалась в работах целого ряда учёных. Среди подходов цифровой картографии почв широко используются разнообразные математические методы (Мешалкина, 2012; Grunwald, 2009). Развитие цифровых методов и технологий информационного анализа определили начало качественно нового этапа в развитии почвенной картографии (Козлов с соавт., 2012; Minasny et al., 2016). За последние десятилетия появились новые технологии (геоинформационные, дистанционные), методы и алгоритмы цифрового (автоматизированного) почвенного картографирования. Созданы предпосылки для начала работ по переработке карт, полученных традиционным способом и созданию новых цифровых почвенных карт.

В работах А.И. Павловой (2021, 2022) были рассмотрены вопросы цифрового картографирования сельскохозяйственных земель с применением географических информационных систем и данных дистанционного зондирования, полученных в результате аэрофотосъёмки местности с применением беспилотного летательного аппарата, а также вопросы корректировки почвенных карт-схем с использованием данных аэрофотосъёмки местности с управляемого беспилотного летательного аппарата (БПЛА). Для корректировки почвенных карт автором использован геоморфологический методический подход картографирования контуров почв.

Молев А.А. (2021) исследовал концепцию мониторинга почв, как научного направления, его принципы и возможности применения в городском пространстве. Дистанционный мониторинг позволяет избежать лишних людских и временных затрат при анализе почв, позволяет более выборочно и точно охватывать большие площади, в

краткие сроки выявлять проблемные зоны и зоны с наилучшими показателями. Мажитова Г.З. с соавт. (2020) посвятили работу вопросу агроландшафтного картографирования, применения современных геоинформационных методов, материалов дистанционного зондирования Земли для разработки агроландшафтных карт и моделей. Были рассмотрены возможности и преимущества использования беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в сельском хозяйстве и агроландшафтных исследованиях.

В целом, накоплен опыт использования БПЛА и ГИС в самых разных отраслях народного хозяйства, в том числе области земельного надзора (Мещанинова с соавт., 2021), почвенной картографии и мелиорации (Кузнецов с соавт., 2006; Королюк с соавт., 2010; Любич с соавт., 2014; Клебанович с соавт., 2014; Тубалов, 2015; Киселёва, 2020), цифровизации и роботизации сельского хозяйства (Панфилов с соавт., 2014), в том числе в точном земледелии (Башилов, 2005)

Апробация инструментов цифровизации в почвенном картографировании наряду с традиционными методами почвенной съёмки позволит усовершенствовать методические подходы при создании цифровых карт и баз данных. Цель работы – провести почвенное картографирование территории с использованием беспилотных летательных аппаратов и геоинформационных систем.

В задачи исследований входило:

- используя средства БПЛА и ГИС составить геоморфологическую и геоботаническую карту территории;
- провести детальное почвенное обследование территории с оформлением цифровой почвенной карты в ГИС;
- изучить морфологические и физико-химические свойства почв.

## **Материалы и методы**

### **Materials and Methods**

Наиболее информативным методом по характеристике почвенного покрова является почвенная съёмка. Информативность почвенной карты зависит от масштаба выявления неоднородности почвенного покрова, от его сложности и цели применения карты. Почвенные карты составляются в следующих масштабах: детальные – от 1:200 до 1:2000; крупномасштабные – от 1:5000 до 1:50000; среднемасштабные – от 1:100000

до 1:300000; мелкомасштабные – от 1:500000 до 1:1000000; обзорные – мельче 1:1000000.

Детальные почвенные карты составляются на ограниченные территории и не являются массовым видом почвенной съёмки. Составление подобных карт производится при высокой комплексности почвенного покрова, а также при подробном изучении почв опытных сельскохозяйственных предприятий.

В наших исследованиях для апробации инструментов цифровизации при картографировании участка применялась детальная почвенная съёмка. Для проведения исследований был выбран участок, расположенный в Лужском районе Ленинградской области (Российская Федерация), в настоящее время находящийся в залежи. Площадь участка – 0,8 га. Детальная почвенная съёмка является комплексным исследованием и включает, помимо почвенной карты, составление геоботанической карты и карты рельефа.

При проведении геоботанической съёмки границы растительных контуров выделялись вручную, с подсчётом растений в ассоциации для выделения преобладающих видов. Контроль за точностью выделения границ растительных ассоциаций проводили с помощью аэрофотосъёмки с беспилотного летательного аппарата (БПЛА) SJRC F11 4k PRO, оснащённого камерой с разрешением 4k. Карту рельефа составляли на основе нивелирной съёмки и данных SRTM-съёмки.

Электронные карты рельефа, геоботаническую и почвенную карты создавали в программе QGIS. Методика создания электронных карт и баз данных ранее описана нами в работе (Лаврищев с соавт., 2021; Клятышева, 2021; Клятышева с соавт., 2022;).

Закладку почвенных разрезов на поле проводили, ориентируясь на смену растительных ассоциаций и элементов микрорельефа. Морфологическое описание почвенного профиля проводили по общепринятой методике (Общесоюзная инструкция..., 1973).

Географическую привязку расположения почвенных разрезов и точек нивелирной съёмки проводили с помощью GPS-навигатора Garmin eTrex 30 со встроенным барометрическим альтиметром. Аналитические работы проводили согласно следующим методикам:

– определение содержания гумуса проводили по методу И.В. Тюрина (Новицкий с соавт., 2021);

– определение гидролитической кислотности проводили по методу Каппена в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26212-91);

– определение суммы обменных катионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  комплексонометрическим методом (Новицкий с соавт., 2021);

– определение ёмкости катионного обмена и степени насыщенности почв основаниями – расчётным методом.

## Результаты исследований

### Results and Discussions

#### *Создание геоморфологической карты (карты рельефа)*

Одним из основных факторов, который оказывает сильное влияние на неоднородность почвенного покрова в пределах небольшой по площади территории, является микрорельеф. Изучение рельефа проводили несколькими способами.

Для определения превышения (разницы высоты) между точками местности, а также высот этих точек относительно принятой отсчётной поверхности, проводили нивелирную съёмку. Результаты нивелирования приведены в табл. 1.

**Таблица 1.** Результаты нивелирной съёмки

**Table 1.** Results of leveling survey

№ точки	№ точки (навигатор)	$h_1$	$h_2$	$h_3$	$h_4$	Широта	Долгота
0	271	1,40			0,00	58°50'25,4"	30°08'02,4"
1	272	1,40	+2,40	-1,00	-1,00	58°50'25,1"	30°08'00,7"
2	273	1,38	+1,60	-0,22	-0,20	58°50'24,9"	30°07'59,6"
3	274	1,33	+1,20	+0,13	+0,10	58°50'24,7"	30°07'58,7"
4	275	1,24	+1,00	+0,24	+0,40	58°50'24,7"	30°07'57,8"
5	276	1,31	+1,16	+0,15	+0,24	58°50'24,6"	30°07'56,6"
6	288	1,45	+1,27	+0,18	+0,13	58°50'24,5"	30°07'56,7"
7	289	1,43	+0,80	+0,63	+0,60	58°50'24,3"	30°07'55,7"
8	295	1,50	+1,05	+0,45	+0,33	58°50'24,2"	30°07'54,6"
9	296					58°50'24,0"	30°08'53,2"

Примечание:  $h_1$  – высота нивелира над землёй;  $h_2$  – показания на геодезической рейке;  $h_3$  – превышение высот относительно предыдущей точки;  $h_4$  – превышение высот относительно точки «0» (т. 271).

Расположение точек нивелирной съёмки, а также точек закладки почвенных разрезов представлено на рисунке 1.



В качестве альтернативного способа изучения неоднородности рельефа использовали данные SRTM-съёмки. SRTM (Shuttle radar topographic mission) – международный исследовательский проект по созданию цифровой модели высот Земли с помощью радарной топографической съёмки её поверхности. Съёмка была проведена в феврале 2000 г с помощью специальной радарной системы двумя радиолокационными сенсорами SIR-C и X-SAR с борта шатла «Индевор» во время 11-дневной миссии STS-99. Полученная цифровая модель охватила 80% земной суши от 56° ю. ш. до 60° с. ш. (Nikolakoroulos, 2006). В течение этого времени с помощью метода называемого радарной интерферометрией (radar interferometry) было собранно огромное количество информации о рельефе Земли.

Информация SRTM-высот была взята с сервиса Google Earth Pro при формировании файла пути (.kmz), а затем, была обработана на платформе gprvisualizer.com и преобразована в файл точек (.gpx). В таблице 2 приведены данные экспорта данных высот точек из таблицы атрибутов программы QGIS

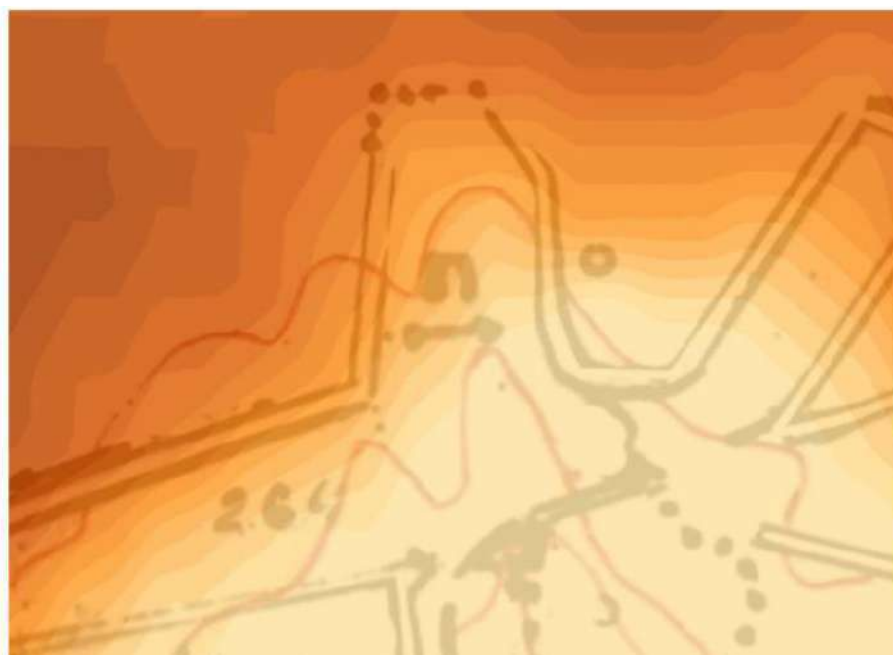
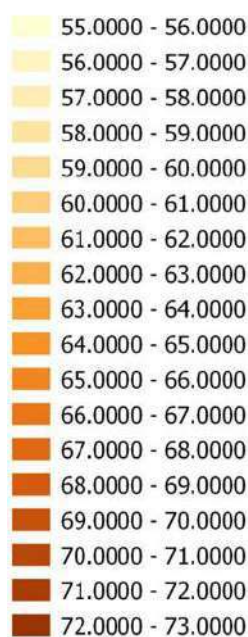


**Рис. 1** Расположение точек нивелирной съёмки и закладки почвенных разрезов

**Fig. 1.** Location of leveling survey points and laying of soil sections

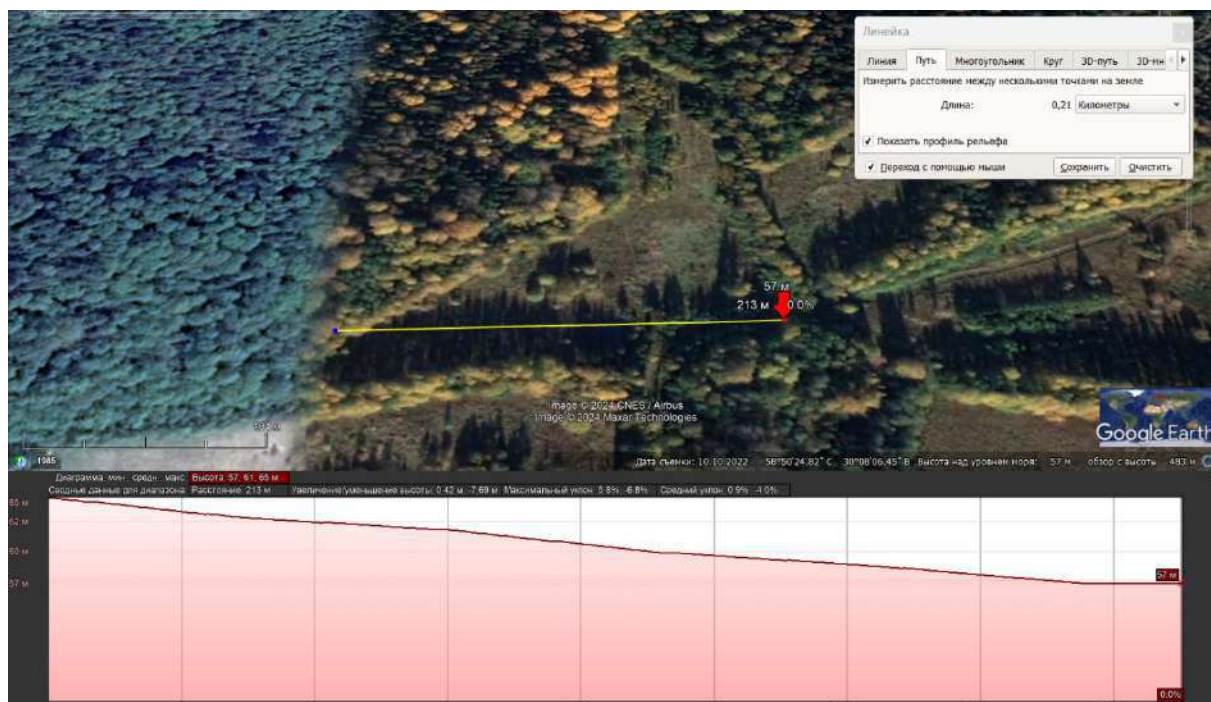
**Таблица 2.** Высота точек над уровнем моря**Table 2.** Height of points above sea level

№ точки	Высота над уровнем моря, м	№ точки	Высота над уровнем моря, м	№ точки	Высота над уровнем моря, м	№ точки	Высота над уровнем моря, м
219	59,99	239	55,69	259	58,60	279	56,78
220	59,85	240	56,18	260	58,64	280	57,10
221	58,33	241	56,00	261	57,14	281	57,04
222	58,07	242	56,37	262	57,34	282	57,01
223	58,86	243	53,72	263	57,39	283	57,11
224	59,82	244	55,24	264	57,64	284	57,12
225	60,61	245	55,24	265	57,04	285	57,11
226	59,21	246	54,38	266	56,82	286	57,10
227	59,12	247	54,40	267	56,99	287	57,10
228	59,12	248	54,37	268	57,60	288	57,46
229	60,63	249	54,63	269	57,17	289	57,47
230	61,19	250	55,09	270	57,18	290	58,77
231	61,46	251	55,86	271	55,98	291	58,87
232	58,13	252	56,99	272	55,95	292	59,31
233	57,63	253	56,68	273	54,95	293	59,95
234	56,37	254	58,19	274	54,37	294	59,96
235	56,37	255	58,21	275	55,54	295	58,67
236	56,71	256	57,06	276	57,08	296	59,96
237	54,01	257	57,06	277	57,24	297	60,44
238	55,66	258	57,03	278	55,45		

**Рис. 2** Карта рельефа, созданная на основе визуализации данных SRTM**Fig.2.** Relief map created from SRTM data visualization

Визуализация рельефа проводилась с помощью модуля Contour Plugin в программе QGIS. Полученная карта рельефа имеет высоту сечения 1 метр и охватывает диапазон высот от 53,72 до 61,46 метров над уровнем моря (рис. 2).

В программе Google Earth Pro был построен геоморфологический профиль (рис. 3).



**Рис. 3** Геоморфологический профиль по направлению Запад – Восток  
**Fig. 3.** Geomorphological profile in the West-East direction

Изучение рельефа показало, что территория картирования имеет небольшой уклон местности в направлении Запад-Восток. Амплитуда высот на участке, подлежащему детальному картографированию, достигает 7 метров.

### ***Создание геоботанической карты***

Пестрота почвенного покрова имеет высокую коррелятивную связь с растительностью. В связи с этим, согласно методике, на территории, подлежащей детальной почвенной съёмке, необходимо выделить растительные ассоциации.

На картируемом участке была проведена геоботаническая съёмка. Границы растительных контуров выделялись вручную, с подсчётом растений в ассоциации для выделения преобладающих видов.

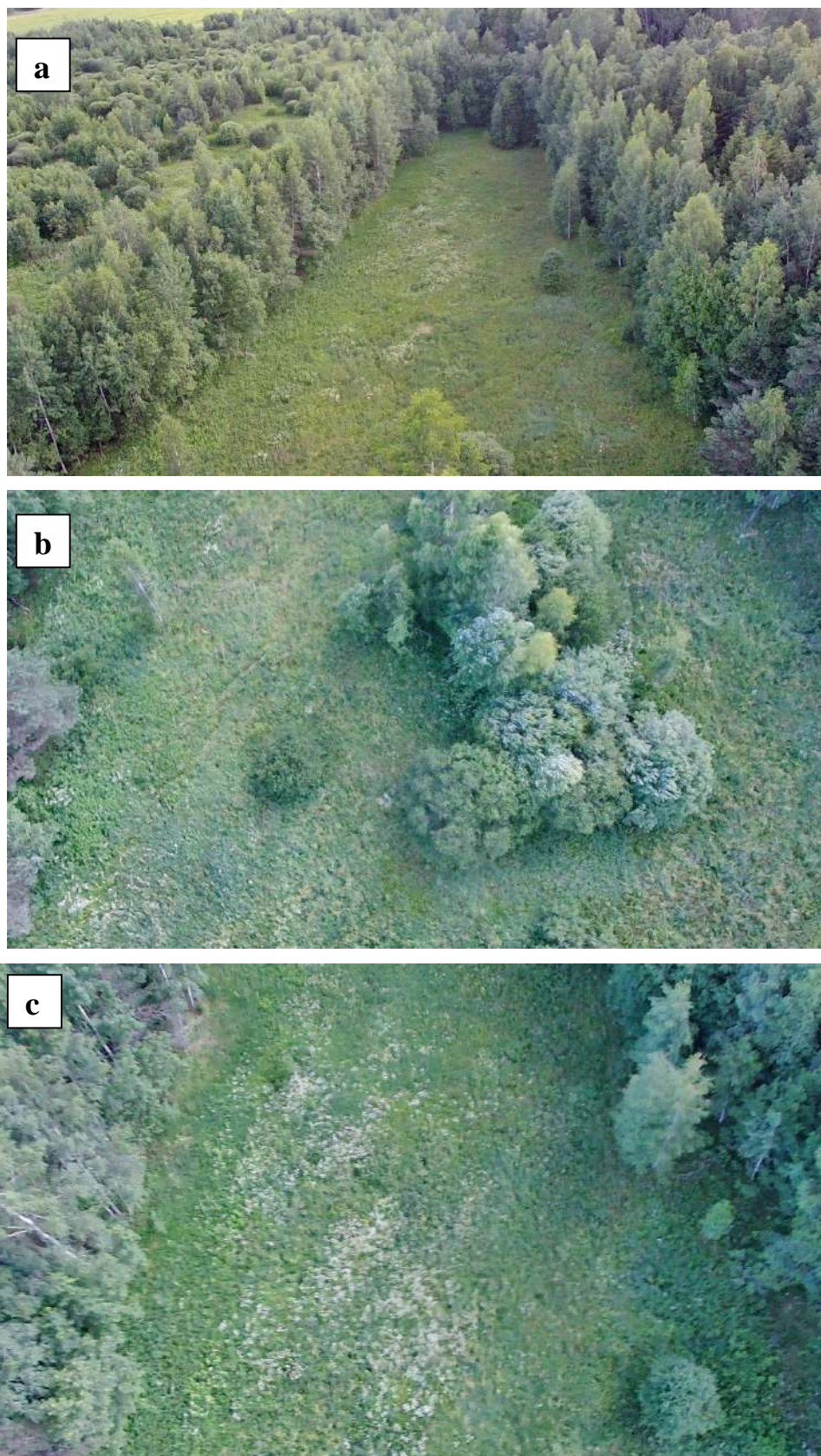
По данным литературы при составлении крупномасштабных почвенных карт с использованием БПЛА существуют проблемы полевого этапа. Они заключаются в двух аспектах: отсутствие топоосновы для картографирования и необходимости поиска границ фитоценозов, которые традиционно и вполне обосновано рассматриваются в качестве границ фаций (Котлов с соавт.. 2018). Как указывают авторы статьи решение

может быть осуществлено с использованием GPS-станции и GPS-приемника, привязанного к местным координатам. Границы комплексного описания фаций отбиваются на трансектах и данных беспилотной аэрофотосъемки.

В наших исследованиях контроль за точностью выделения границ растительных ассоциаций проводили с помощью аэрофотосъёмки с БПЛА. На рис. 4 представлены примеры аэрофотоснимков, сделанных с помощью квадрокоптера SJRC F11 4k PRO. Кроме этого на границах ассоциаций создавались дополнительные GPS-точки, моделирующие цифровой контур.

В результате проведения геоботанической съёмки были выделены следующие растительные ассоциации:

- |    |                                 |    |                                 |
|----|---------------------------------|----|---------------------------------|
| 1  | тимофеечно-купырно-овсяничная   | 16 | клеверно-лисохвосто-кострецовая |
| 2  | клеверно-купырно-пырейная       | 17 | лисохвосто-кипрейно-камышовая   |
| 3  | лисохвосто-бодянично-пырейная   | 18 | лисохвосто-снытьево-таволговая  |
| 4  | зверобойно-звезчато-кострецовая | 19 | лисохвосто-пырейно-таволговая   |
| 5  | купырно-звезчато-клеверная      | 20 | вейно-геранно-кипрейная         |
| 6  | снытьево-лисохвосто-пырейная    | 21 | вейно-ежово-геранная            |
| 7  | тимофеево-таволжно-бодячная     | 22 | овсянично-купырно-таволговая    |
| 8  | зверобойно-подморенно-клеверная | 23 | таволгово-ежово-лисохвостая     |
| 9  | ежово-купырно-снытьевая         | 24 | купырно-лисохвосто-бодячная     |
| 10 | нивяно-звезчато-марьяничная     | 25 | овсянично-купырно-лисохвостая   |
| 11 | пырейно-лисохвосто-звезчатая    | 26 | геранно-купырно-снытьевая       |
| 12 | овсянично-веронично-камышовая   | 27 | клеверно-купырно-снытьевая      |
| 13 | звезчато-клеверно-пырейная      | 28 | кострецово-овсянично-купырная   |
| 14 | лисохвосто-звезчато-хвощовая    | 29 | лисохвосто-кипрейно-камышовая   |
| 15 | купырно-лисохвосто-пырейная     | 30 | кострецово-клеверно-хвощовая    |



**Рис. 4.** Съёмка участка, подлежащего детальной почвенной съёмке с БПЛА (a, b, c)  
**Fig. 4.** Survey of the area subject to detailed soil survey using a UAV (a, b, c)

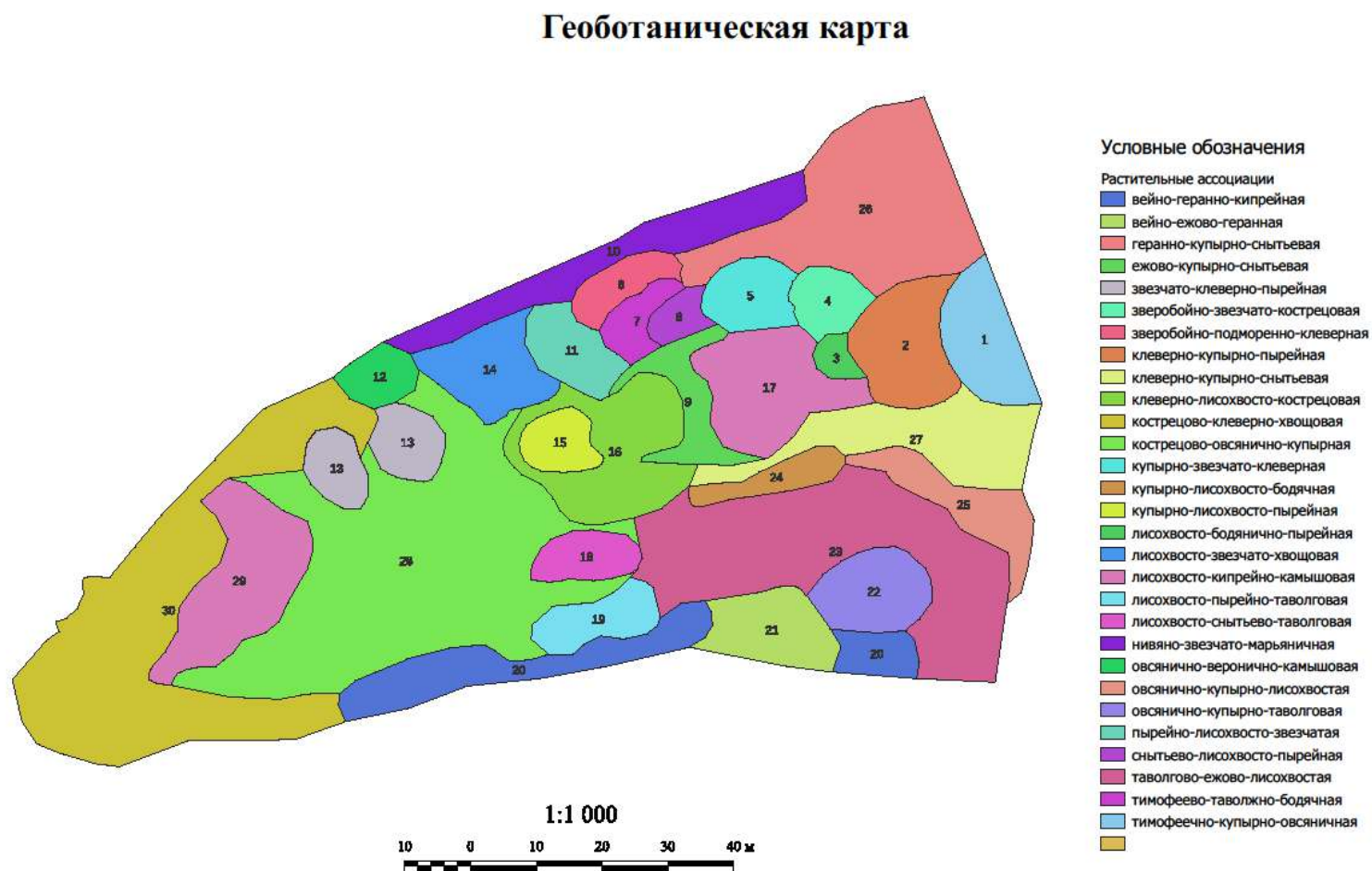


Рис. 5. Цифровая геоботаническая карта территории участка

Fig. 5. Digital geobotanical map of the study area

Создание цифровой геоботанической карты проводили с помощью кроссплатформенной геоинформационной системы QGIS (рис. 5).

### *Создание почвенной карты*

На основании карты рельефа и геоботанической карты были намечены места закладки почвенных разрезов для создания детальной почвенной карты. Морфологическое описание почвенных профилей дерново-подзолистых почв представлено ниже.

Разрез (т. 232). Дерново-слабоподзолистая легкосуглинистая на моренном суглинке.

Ад	0-4	– дернина
А <sub>1</sub>	4-42	– гумусово-элювиальный, сухой, светло-палевый с буроватым оттенком, легкосуглинистый, комковатый, плотный, корни растений, камни, угольки, переход ясный, неровный.
В	42-67	– иллювиальный, влажный, серо-коричневый, легкосуглинистый, глыбистый, очень плотный, угольки, корни, гранит, бобовина, переход ясный, ровный
С	67-(72)	– почвообразующая порода, свежий, светло-палевый, среднесуглинистый, призматический, плотный

Разрез (т. 233) Дерново-слабоподзолистая легкосуглинистая на моренном суглинке

Ад	0-2	– дернина
А <sub>1</sub>	2-21	– гумусово-элювиальный, сухой, светло-палевый, с 10 см бурый, легкосуглинистый, комковатый, очень плотный, корни, бурые примазки, угольки, валунчики, валуны, переход ясный с затеками
В	21-(48)	– иллювиальный, свежий, серый с буроватым оттенком, легкосуглинистый, призматический, плотный, корни растений

Разрез (т. 270) Дерново-слабоподзолистая легкосуглинистая на моренном суглинке

Ад	0-3	– дернина
А <sub>1</sub>	3-11	– гумусово-элювиальный, влажный, палево-коричневый, легкосуглинистый, комковатый, плотный, корни, камни, переход постепенный, ровный
А <sub>2</sub> В	11-33	– переходный, влажный, палево-серый, легкосуглинистый, плитчатый, очень плотный, корни, гумусовые пятна, угольки, пятна оглеения, переход резкий
В	33-41	– свежий, темно-коричневый, среднесуглинистый, плитчатый, очень плотный, корни, следы ожелезнения

## Разрез (т. 236) Дерново-слабоподзолистая легкосуглинистая на моренном суглинке

Ад	0-3	– дернина
А <sub>1</sub>	3-43	– гумусово-элювиальный, свежий, серо-палевый, с 29 см палевый, легкосуглинистый, комковатый, очень плотный, корни, угольки, переход ясный, ровный
В	43-(68)	– иллювиальный, влажный, рыже-охристый, легкосуглинистый, плитчатый, плотный, угольки, камни

## Разрез (т. 237) Дерново-слабоподзолистая среднесуглинистая на моренном суглинке

Ад	0-2	– дернина
А <sub>1</sub>	2-29	– гумусово-элювиальный, влажный, палево-коричневый, среднесуглинистый, комковатый, плотный, корни, угольки, переход резкий, ровный
В	29-39	– иллювиальный, влажный, палево-серый, среднесуглинистый, плитчатая, плотный, корни, угольки, переход четкий, ровный
С	39-(49)	– почвообразующая порода, влажный, палево-охристый, среднесуглинистый, плитчатый, очень плотный,

## Разрез (т. 269) Дерново-слабоподзолистая легкосуглинистая турбированная на моренном суглинке

Ад	0-6	– дернина
А <sub>1</sub>	6-22	– гумусово-элювиальный, сухой, палевый, легкосуглинистый, комковатый, очень плотный, корни растений, угольки, камни, переход резкий, ровный
А <sub>2</sub> В	22-32	– переходный, свежий, темно-палевый, легкосуглинистый, плитчатый, очень плотный, угольки, корни, переход ясный, волнистый
В	32-(49)	– иллювиальный, свежий, светло-палевый, легкосуглинистый, плитчатый, очень плотный, камни

## Разрез (т. 301) Дерново-слабоподзолистая легкоглинистая на моренном суглинке

Ад	0-2	– дернина
А <sub>1</sub>	2-34	– гумусово-элювиальный, свежий, кофейный на 16 см переход цвета в кофейно-рыжий, легкоглинистый, комковатый, очень плотный, в: корни растений, гумусовые пятна, переход по цвету четкий, ровный
В	34-52	– иллювиальный, свежий, темно-бурый, тяжелосуглинистый, призматический, очень плотный, корни, гумусовые пятна, угольки, переход ясный, языками
С	(63- )	– почвообразующая порода, влажный, палевый, тяжелосуглинистый, плитчатый, очень плотный, камни



## Разрез (т. 302) Дерново-среднеподзолистая легкоглинистая на моренном суглинке

Ад	0-2	– дернина
A <sub>1</sub>	2-39	– гумусово-элювиальный, влажный, темно-серый с буроватым оттенком, легкоглинистый, плитчатый, плотный, корни, угольки, переход резкий, волнистый
A <sub>2</sub>	39-56	– подзолистый, влажный, светло-палевый, легкоглинистый, плитчатый, очень плотный, угольки, пятна ожелезнения, корни, переход постепенный
B	56-68	– иллювиальный, влажный, ржаво-бурый, тяжелоглинистый, призматический, валуны
C	68- ...	– почвообразующая порода, тяжелоглинистый, валуны

## Разрез (т. 303) Дерново-среднеподзолистая тяжелосуглинистая на моренной глине

Ад	0-7	– дернина
A <sub>1</sub>	7-31	– гумусово-элювиальный, свежий, кофейный, тяжелосуглинистый, плитчатый, очень плотный, в: корни, угольки, пятна ожелезнения, переход ясный, волнистый
A <sub>2</sub>	31-49	– подзолистый, свежий, серовато-палевый, тяжелосуглинистый, плитчатый, очень плотный, угольки, пятна ожелезнения, корни, переход ясный, затеками
B	49-58	– иллювиальный, влажный, рыже-охристый, легкоглинистый, очень плотный, пятна ожелезнения, камни

## Разрез (т. 304) Дерново-слабоподзолистая тяжелосуглинистая на моренной глине

Ад	(0-5)	– дернина
A <sub>1</sub>	5-26	– гумусово-элювиальный, свежий, палевый, тяжелосуглинистый, комковато-плитчатый, очень плотный, корни, пятна ожелезнения, угольки, переход постепенный, волнистый
B	26-(49)	– иллювиальный свежий, серо-кофейный, тяжелосуглинистый, плитчатая, очень плотный, корни, угольки, следы ожелезнения, конкреции, камни

## Разрез (т. 305) Дерново-слабоподзолистая тяжелосуглинистая на моренном суглинке

Ад	0-2	– дернина
A <sub>1</sub>	2-17	– гумусово-элювиальный, свежий, темно-серый с буроватым оттенком, тяжелосуглинистый, комковато-плитчатый, плотный, корни, переход ясный, затеками
A <sub>2</sub>	17-23	– подзолистый, свежий, светло-палевый, легкосуглинистый, плитчатый, очень плотный, корни, гумусовые пятна, угольки, переход резкий, волнистый
A <sub>2</sub> B	23-26	– переходный, свежий, рыжий, тяжелосуглинистый, плитчатый, очень плотный, корни, переход резкий, волнистый
B	26-56	– иллювиальный, влажный, бурый, тяжелосуглинистый, плитчатый, плотный, корни, переход ясный, волнистый
C	56-(67)	– почвообразующая порода, влажный, тесно-бурый, тяжелосуглинистый, призматический, очень плотный, камни

## Разрез (т. 306) Дерново-слабоподзолистая легкоглинистая на моренном суглинке

Ад	0-3	– дернина
А <sub>1</sub>	3-27	– гумусово-свежий, кофейно-охристый, легкая глина, плитчатый, угольки, корни, очень плотный, следы ожелезнения, оподзаливания, переход постепенный, волнистый
В <sub>1</sub>	27-44	– иллювиальный, влажный, темно-бурый, легко глинистый, комковато-плитчатый, корни, гумусовые пятна, переход ясный, языками
В <sub>2</sub>	44-56	– иллювиальный, влажный, светлее предыдущего,, легкоглинистый, комковато-плитчатый, корни, гумусовые пятна, переход ясный, волнистый
С	56-...	влажный, светло-палевый, тяжелосуглинистый, плитчатый

На основании проведённого изучения морфологических признаков почвенных профилей почв был составлен систематический список почв территории:

1.  $\frac{P_{1Г}^A}{M}$  Дерново-слабоподзолистая легкосуглинистая на моренном суглинке (232,233, 236, 269)
2.  $\frac{P_{1Г}^A}{M}$  Дерново-слабоподзолистая легкосуглинистая глееватая на моренном суглинке (270)
3.  $\frac{P_{1В}^A}{M}$  Дерново-слабоподзолистая среднесуглинистая на моренном суглинке (237)
4.  $\frac{P_{1а}^A}{M}$  Дерново-слабоподзолистая легкоглинистая на моренном суглинке (301, 306)
5.  $\frac{P_{16}^A}{M}$  Дерново-слабоподзолистая тяжелосуглинистая на моренном суглинке (305)
6.  $\frac{P_{2а}^A}{M}$  Дерново-среднеподзолистая легкоглинистая на моренной глине (302)
7.  $\frac{P_{26}^A}{M}$  Дерново-среднеподзолистая тяжелосуглинистая на моренной глине (303, 304)

Изучение почвенного покрова показало, что он представлен дерново-подзолистыми почвами тяжёлого гранулометрического состава, сформированными на моренных отложениях. По данным детальной почвенной съёмки с помощью программы QGIS была создана почвенная карта (рис. 6).

### *Физико-химическая характеристика почвы*

Физико-химическую характеристику почвы определяли на примере разреза № 305. Определение гранулометрического состава показало, что исследуемая почва является тяжелосуглинистой пылевато-песчаной (табл. 3).

**Таблица 3.** Гранулометрический состав почвы (разрез № 305)

**Table 3.** Granulometric composition of soil (profile No. 305)

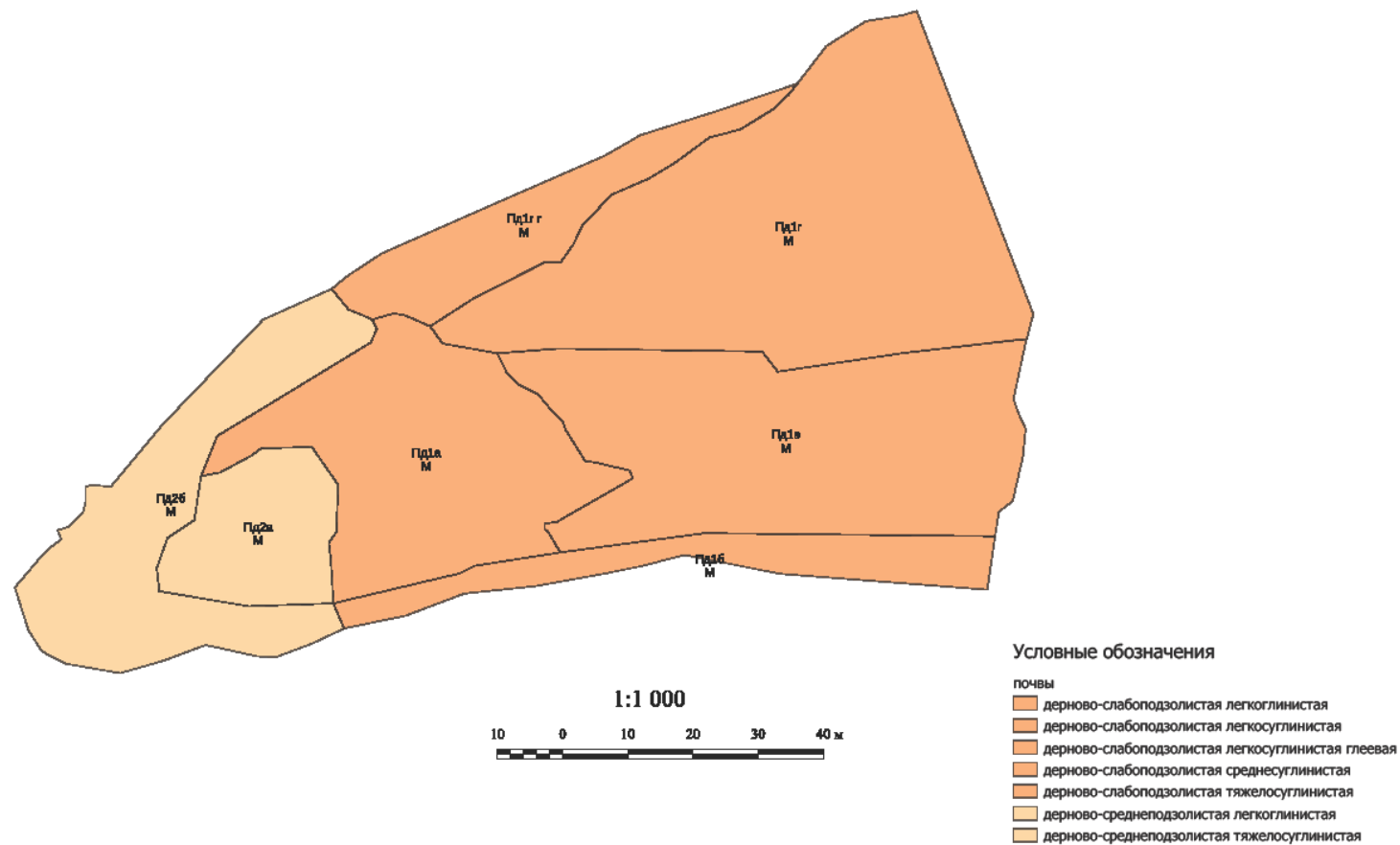
Горизонт	Глубина, см	Содержание фракций, %						
		1-0,25 мм	0,25-0,05 мм	0,05-0,01 мм	0,01-0,005 мм	0,005-0,001 мм	<0,001 мм	<0,01 мм
A <sub>1</sub>	2-17	13,21	23,27	14,96	12,53	17,1	18,93	48,56
A <sub>2</sub>	17-23	19,87	25,76	28,13	9,00	9,69	7,55	26,24
A <sub>2</sub> B	23-26	17,35	23,11	15,58	13,56	13,72	16,68	43,96
B	26-56	18,91	24,25	12,84	13,39	15,24	15,37	44,00
C	56-(67)	18,87	21,39	15,47	11,28	16,54	16,45	44,27

Гранулометрический состав почвы неоднороден по профилю. Наблюдается обеднение илистой фракцией горизонта A<sub>2</sub> и обогащение ей средней части профиля вследствие лессиважа.

Содержание гумуса в горизонте A<sub>1</sub> составляет 2,76 %, резко снижается с глубиной (табл. 4). По содержанию гумуса, почва относится к среднегумусным. Тип гумусового профиля – аккумулятивный неполноразвитый.

По уровню кислотности почва относится к сильнокислым, рН солевой вытяжки в гумусовом горизонте составляет 4,36 ед. Степень кислотности снижается с глубиной. Значение гидролитической кислотности, в зависимости от горизонта, варьирует в пределах 5,49-5,84 ммоль(экв)/100 г, достигая максимальных значений в подзолистом (A<sub>2</sub>) горизонте.

## Почвенная карта



**Рис. 6.** Цифровая почвенная карта территории участка  
**Fig. 6.** Digital soil map of the study area

**Таблица 4.** Физико-химическая характеристика почвы**Table 4.** Physicochemical characteristics of the soil

Горизонт	Глубина, см	Гумус, %	pH <sub>H2O</sub>	pH <sub>KCl</sub>	Нг	Ca <sup>2+</sup> + Mg <sup>2+</sup>	ЕКО	V, %
						ммоль(экв)/100 г		
A <sub>1</sub>	2-17	2,76	5,35	4,36	5,62	13,44	19,06	70,51
A <sub>2</sub>	17-23	0,25	5,23	4,32	5,84	10,87	16,71	65,05
A <sub>2</sub> B	23-26	0,22	5,64	4,98	5,76	13,95	19,71	70,78
B	26-56	0,23	5,66	4,86	5,58	15,53	21,11	73,57
C	56-(67)	0,13	5,58	4,87	5,49	14,98	20,47	73,18

Ёмкость катионного обмена изменяется по профилю от 16,71 до 21,11 ммоль(экв)/100 г. Некоторое снижение ёмкости поглощения в элювиальном (подзолистом) горизонте связано с обеднением этой части профиля илстой и коллоидной фракцией, вследствие лессиважа. Степень насыщенности почв основаниями варьирует по профилю от 65,05 до 73,57 ммоль(экв)/100 г, достигая минимальных значений в подзолистом горизонте.

## Выводы

## Conclusions

1. Проведено геоморфологическое исследование территории. С помощью нивелирной съёмки и данных SRTM-съёмки в геоинформационной среде QGIS создана цифровая карта рельефа территории с высотой сечения 1 метр. Диапазон высот варьирует от 53,72 до 61,46 метров над уровнем моря.

2. Проведено геоботаническое обследование территории с корректировкой точности выделения границ растительных ассоциаций с помощью аэрофотосъёмки с БПЛА. Цифровая геоботаническая карта создана в геоинформационной среде QGIS. Растительный покров представлен лугово-разнотравной растительностью, выделено 35 растительных ассоциаций.

3. В геоинформационной среде QGIS создана цифровая почвенная карта. Почвенный покров представлен дерново-подзолистыми почвами тяжёлого гранулометрического состава с чёткой дифференциацией почвенного профиля по содержанию илстой фракции. Почвы относятся к среднегумусным, обладают сильнокислой реакцией среды, pH солевой вытяжки гумусового горизонта составляет 4,36 ед. Степень кислотности снижается с глубиной. Значение гидролитической кислотности, в зависимости от горизонта, варьирует в пределах 5,49-5,84 ммоль(экв)/100

г, достигая максимальных значений в подзолистом ( $A_2$ ) горизонте. Выявлена дифференциация значений ЕКО и степени насыщенности оснований по профилю, минимальные значения характерны для элювиального горизонта.

## Литература

### References

- Grunwald S. 2009. Multi-criteria characterization of recent digital soil mapping and modeling approaches. *Geoderma* 3–4 (152), 195–207.
- Minasny B., McBratney A.B. 2016. Digital soil mapping: A brief history and some lessons. *Geoderma* 264, 301–311.
- Nikolakopoulos K. G.; Kamaratakis E. K.; Chrysoulakis N. 2006. SRTM vs ASTER elevation products. Comparison for two regions in Crete, Greece. *International Journal of Remote Sensing*, 27(21).
- Башилов, А.М. 2005. Визуализация и наблюдение системной сложности точного земледелия. Машинные технологии производства продукции в системе точного земледелия и животноводства. - М.: Изд. ВИМ, с.207-213.
- Киселева, А. С. 2020. Применение ГИС-технологий для морфометрического анализа рельефа при расчете смыва почвы в севооборотах. Сборник научных работ победителей и призеров Всероссийского конкурса на лучшую научную работу среди студентов, аспирантов и молодых ученых высших учебных заведений Минсельхоза России. Министерство сельского хозяйства РФ. Москва, С. 111-114.
- Клебанович, Н. В., Прокопович С. Н., Путятин Ю. В. 2014. Картографирование мезоструктур почвенного покрова с использованием геоинформационных технологий (на примере Клецкого района) № 3(81), С. 23-29.
- Клятышева А.И. 2021. Особенности морфологического строения почв учебно-опытного сада Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. В сборнике: «Мы - будущее Казахстана». Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 30-летию независимости Республики Казахстан. Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир-хана (ЗКАТУ). 2021, С. 76-80.
- Клятышева А.И., Лаврищев А.В. 2022. Использование геоинформационных систем при изучении почвенного покрова учебно-опытного сада СПбГАУ. *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета* № 4 (69), 101-113.

- Козлов Д.Н., Сорокина Н.П. 2012. Традиции и инновации в крупномасштабной почвенной картографии под ред. А.Л. Иванов, Москва: Почвенный ин-т имени В.В. Докучаева, 35–57 с.
- Королук Т. В., Овечкин С. В. 2010. Подходы к модернизации государственной почвенной карты России на основе методов цифровой картографии. Почвоведение № 5. С.527-537.
- Котлов, И.П. Горбунов Р. В., Фам, М. Ф. Дин В. А. Т. 2018. Беспилотная аэрофотосъемка для задач крупномасштабного картографирования горных тропических лесных ландшафтов. Труды Карадагской научной станции им. Т. И. Вяземского – Природного заповедника РАН, № 2 (6), С. 63–84.
- Кузнецов, Н. А., Парахин С. В., Садыгов Э. А. 2006. Повышение эффективности использования данных почвенных обследований с использованием геоинформационных технологий. Землеустройство, кадастр и мониторинг земель, № 5. С.95-96.
- Лаврищев А.В., Клятышева А.И. 2021. Почвы учебно-опытного сада Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета, № 1 (62), 101-112.
- Любич В. А., Курамшин М. Р. 2014. Оценка плодородия чернозёмов южных с использованием ГИС-технологий и современных технических средств. Известия Оренбургского государственного аграрного университета № 5, 66-69.
- Мажитова, Г. З., Пашков, С. В., Крыцкий, С. В. 2020. Опыт применения БПЛА для геоинформационного обеспечения агроландшафтного картографирования. Цифровая география: Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием: в 2 т., Пермь, 16–18 сентября 2020 года. Том I. Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2020. С. 115-118.
- Мешалкина Ю.Л. 2012. Что такое «цифровая почвенная картография» (обзор) под ред. А.Л. Иванов, Москва: Почвенный ин-т имени В.В. Докучаева, 9–19 с.
- Мещанинова Е. Г., Николукина В. О. 2018. Перспективы использования БПЛА при осуществлении земельного надзора. Экономика и экология территориальных образований. Новочеркасск, 2(3), 122-128.
- Молев, А. А. 2021. Дистанционный мониторинг почв. Наука в мегаполисе Science in a Megapolis, № 1(27), 12.

Новицкий М.В., Лаврищев А.В., Назарова А.В., Шабанов М.В., Родичева Т.В., Мельников С.П., Баёва Н.Н., Колодка В.П. 2021. Лабораторно-практические занятия по почвоведению (2-е издание, исправленное и дополненное). Санкт-Петербург, 332 с.

Общесоюзная инструкция по почвенным обследованиям и составлению крупномасштабных почвенных карт землепользований. М-во сел. хоз-ва СССР. Гл. упр. землепользования и землеустройства. - Москва : Колос, 1973, 95 с.

Павлова, А. И. 2021. Применение беспилотных и геоинформационных технологий для цифрового почвенного картографирования. Информационные технологии, системы и приборы в АПК. АГРОИНФО-2021: Материалы 8-й Международной научно-практической конференции, р.п. Краснообск, 21–22 октября 2021 года под ред. В.В. Альта. Новосибирск - Краснообск: Сибирский федеральный научный центр агробιοтехнологий Российской академии наук, С. 97-99. DOI 10.26898/agroinfo-2021-97-99.

Павлова, А. И. 2022. Цифровое почвенное картографирование на основе данных аэрофотоъёмки местности с применением беспилотных летательных аппаратов. Актуальные проблемы почвоведения, экологии и земледелия: Сборник докладов XVII Международной научно-практической конференции Курского отделения МОО «Общество почвоведов имени В.В. Докучаева», Курск, 27–29 апреля 2022 года. Курск: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Курский федеральный аграрный научный центр", С. 214-217.

Панфилов А.О., Королев В.А., Воротников С.А., Польский В.А. 2014. Устройства технического зрения агроботов. Инновации в сельском хозяйстве.

Тубалов, А.А. 2015. Геоинформационное картографирование почв аридных пастбищных ландшафтов. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование, № 4, 81-86. URL: <https://e.lanbook.com/journal/issue/301411> (дата обращения: 16.04.2023).



## Using unmanned aerial vehicles and geographic information systems for mapping the soil cover of the territory

Anton Lavrishchev<sup>1\*</sup>, Anna Kramer<sup>1</sup>, Anastasia Klyatisheva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>St. Petersburg State Agrarian University, Peterburgskoye 2, 196601 St. Petersburg, Russia

\* *Corresponding author*: av.lavrishchev@yandex.ru

### Abstract

The article presents the results of soil mapping of the territory using unmanned aerial vehicles and geographic information systems. Data from a geomorphological study of the site are provided. Using leveling survey and SRTM survey data in the QGIS geographic information environment, a digital relief map of the territory with a cross-section height of 1 meter was created. It was found that the height range varies from 53.72 to 61.46 meters above sea level. Data from a geobotanical survey of the territory, carried out with an adjustment for the accuracy of identifying the boundaries of plant associations using aerial photography from a UAV, are presented. 30 plant associations were identified. A study of the morphological and physicochemical properties of soils in the mapped area was carried out. A digital geobotanical and soil map was created in the QGIS geographic information environment. It was revealed that the soil cover is represented by sod-podzolic medium-humus soils of heavy texture with a clear differentiation of the soil profile by the content of the silt fraction. The soils have a strongly acidic reaction of the environment ( $\text{pH}_{\text{KCl}} 4.36$ ). The degree of acidity decreases with depth. The value of hydrolytic acidity, depending on the horizon, varies within 5.49-5.84 mmol (eq)/100 g, reaching maximum values in the podzolic horizon. Differentiation of the values of the cation exchange capacity and the degree of saturation of the bases along the profile was revealed, the minimum values are characteristic of the eluvial horizon.

*Keywords*: GIS, UAV, QGIS, soil mapping, geobotanical survey, digital maps

Received 08.07.2024

Revised 05.08.2024

Accepted 08.08.2024