

6. Мельник В.В. Особливості розподілу ^{137}Cs у компонентах лісового біогеоценозу свіжих борів українського Полісся. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2020. № 2. С. 88–98. doi: 10.31210/visnyk2020.02.11.
7. Краснов В.П., Ландін В.П. Методологічні основи реабілітації лісових екосистем, забруднених радіонуклідами. *Збалансоване природокористування*. 2013. № 2-3/2013. С. 33–39.
8. Markovic J., Stevovic S. Radioactive Isotopes in Soils and Their Impact on Plant Growth. Chapter. *Metals in Soil – Contamination and Remediation*. London : IntechOpen Limited, 2019. P. 1–11. doi: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.81881>.
9. Ірклієнко С.П., Бузун В.О., Дмитренко О.Г., Турчак Ф.М. Функціонування лісових екосистем і ведення лісового господарства в зонах безумовного відселення. *Ядерна фізика та енергетика*. 2001. № 2(02). С. 127–132.
10. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97). Державні гігієнічні нормативи. Київ : Відділ поліграфії Українського центру Держсанепіднагляду МОЗ України, 1997. 120 с.
11. Abedin J., Karim R., Hossain S., Deb N., Kamal M., Miah H.A., Khandaker M.U. Spatial distribution of radionuclides in agricultural soil in the vicinity of a coal-fired brick kiln. *Arabian Journal of Geosciences*. 2019. 12:236. <https://doi.org/10.1007/s12517-019-4355-7>.
12. Abba H.T., Hassan W.M.S.W., Saleh M.A. Evaluation of environmental natural radioactivity levels in soil and ground water of Barkin Ladi, Plateau state, Nigeria. *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences*. 2018. Vol. 14, № 3. P. 338–342.
13. Gad A., Saleh A., Khalifa M. Assessment of natural radionuclides and related occupational risk in agricultural soil, southeastern Nile Delta, Egypt. *Arabian Journal of Geosciences*. 2019. 12:188. <https://doi.org/10.1007/s12517-019-4356-6/>.
14. Алексеева Т.М. Біоіндикація як метод екологічної оцінки стану природного навколишнього середовища. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. 2014. Вип. 2/2014 (85). С. 166–171.

УДК 631.675.2:631.674.4:631.674.6

DOI <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.116.2.25>

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ЗОН ЗВОЛОЖЕННЯ ПРИ ПІДГРУНТОВОМУ КРАПЛИННОМУ ЗРОШЕННІ

Шатковський А.П. – д.с.-г.н., член-кореспондент Національної академії аграрних наук України, заступник директора з наукової роботи,
Інститут водних проблем і меліорації Національної академії аграрних наук України
Журавльов О.В. – к.с.-г.н., докторант,
Інститут водних проблем і меліорації Національної академії аграрних наук України
Овчатова І.М. – директор,
Дослідне господарство «Великі Клини» Інституту водних проблем і меліорації
Національної академії аграрних наук України

У статті наведено результати експериментальних досліджень із визначення особливостей та встановлення параметрів формування зони зволоження середньосуглинкового ґрунту за підґрунтового краплинного зрошення сої в умовах Степу України. За передполивної вологості ґрунту 85% від найменшої вологомисткості (далі – НВ) ґрунту

було проведено полив нормою $175 \text{ м}^3/\text{га}$ протягом чотирьох годин. Отримані результати підтверджують, що геометричні параметри зони зволоження ґрунту є функцією часу (норми поливу).

Так, протягом першої години після початку поливу вологість ґрунту на глибині укладання поливного трубопроводу (25 см) підвищилася із 88% від НВ до 100% від НВ і залишалася на цьому рівні практично протягом усього часу поливу (4 години). Через годину після початку проведення поливу утворився так званий «первинний контур зволоження» на глибині 21-45 см овальної форми із такими параметрами: по вертикалі – 24 см, по горизонтальній – 30 см. Із другої по четверту години перерозподіл вологості відбувався у межах первинного контуру. Починаючи з п'ятої години, вологість ґрунту більш інтенсивно зростала вже за глибиною ґрунтового профілю. На 12 годину після припинення поливу відбувався перерозподіл вологості з утворенням двох умовних зон вологості ґрунту.

Розраховано геометричні площі зони зволоження середньосуглинкового ґрунту у динаміці протягом 12 годин після припинення поливу, встановлено відповідну функціональну залежність, яка описується степеневою функцією з коефіцієнтом детермінації $R^2 = 0,98$. Дослідженнями також підтверджено, що зона посівного ложе сої (3-4 см від поверхні ґрунту) за підґрунтового краплинного зрошення не досить зволожується у результаті проведення поливу, що зумовлює отримання сходів польових сільськогосподарських культур здебільшого за рахунок природніх вологозапасів у ґрунті.

Ключові слова: вологість ґрунту, зона зволоження ґрунту, підґрунтове краплинне зрошення, геометричні параметри, гідроізоплети, датчики вологості.

Shatkovskiy A.P., Zhuravlov O.V., Ovchatov I.M. Features of formation of zones of humidification under subsurface drip irrigation

The article presents the results of experimental studies to determine the features and establish the parameters of the formation of the moisture zone of the medium loam soil under subsurface drip irrigation of soybeans in the Steppe of Ukraine. With a pre-irrigation soil moisture of 85% of the minimum moisture-holding capacity (ММНС) of the soil, irrigation was carried out at a rate of $175 \text{ м}^3/\text{га}$ for four hours. The results obtained confirm that the geometric parameters of the soil moisture zone are a function of time (irrigation rate).

So, during the first hour after the start of irrigation, the soil moisture at the depth of the irrigation pipeline (25 cm) increased from 88% of ММНС to 100% of ММНС and remained at this level practically throughout the entire irrigation time (04:00). An hour after the start of irrigation, the so-called "primary contour of humidification" is formed at a depth of 21-45 cm of an oval shape with parameters: vertical – 24 cm, and horizontal – 30 cm. From the second to the fourth hour, the redistribution of moisture took place within the primary circuit, and starting from the fifth hour, the soil moisture increased more intensively already along the depth of the soil profile. Twelve hours after the cessation of irrigation, a redistribution of moisture took place with the formation of two conditional zones of soil moisture.

The geometrical areas of the wetting zone of medium loamy soil in dynamics were calculated within twelve hours after the termination of irrigation and the corresponding functional dependence was established, which is described by a power function with a coefficient of determination $R^2 = 0,98$. Studies have also confirmed that the area of the sowing bed of soybeans (3-4 cm from the soil surface) under subsurface drip irrigation is insufficiently moistened as a result of irrigation, which determines the production of field crops seedlings mainly due to natural moisture reserves in the soil.

Key words: soil moisture, soil moisture zone, subsurface drip irrigation, geometric parameters, hydroisoplethes, humidity sensors.

Постановка проблеми. За останні 5-7 років в Україні зростає зацікавленість аграріїв застосуванням краплинного зрошення із підземним (здебільшого на глибині від 20 см) розміщенням поливних трубопроводів (далі – ПТ) відомого у світовій практиці як "subsurface drip irrigation" (далі – SDI) [1; 2]. Нині в Україні використання цього способу зрошення знаходиться на початковому етапі – реалізовано пілотні проекти на загальній площі майже 4000 га. На думку фахівців, саме цей спосіб зрошення є новим трендом в іригації [3]. Багаторічний зарубіжний досвід свідчить про ефективність використання підґрунтового зрошення на різних сільськогосподарських культурах як багаторічних (плодових, ягідних, винограді), так і польових (овочевих, баштанних, кукурудзі, сої, буряку, люцерні, бавовнику) [1].

Технологічною відмінністю підгрунтового краплинного зрошення здебільшого є осередкований, точковий характер водоподачі безпосередньо у кореневу зону рослин. За нього формуються зони зволоження відповідної геометричної форми та розмірів, які залежно від відстані між ПТ можуть змикатися. Важливим завданням на етапі проєктування та експлуатації системи підгрунтового краплинного зрошення є встановлення особливостей і геометричних параметрів формування зон зволоження ґрунтів при поливах. Необхідність проведення таких досліджень підсилюється тим фактом, що сільськогосподарські культури, особливо просапні, в різні фази розвитку потребують зволоження різних обсягів ґрунту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У колишньому СРСР [4; 5], в Україні [6; 7] і Російській Федерації [8; 9] було проведено дослідження зон зволоження ґрунтів за поверхневого краплинного зрошення. Вчені провідних світових агротехнологічних університетів [10; 11; 12] досліджували параметри формування зон зволоження ґрунтів за підгрунтового краплинного зрошення залежно від схем укладання ПТ та інтенсивності водоподачі. Однак вивчення особливостей зон зволоження ґрунтів за підгрунтового краплинного зрошення в Україні досліджено не досить.

Постановка завдання. Метою досліджень було вивчення особливостей і встановлення параметрів зон зволоження середньосуглинкового ґрунту за підгрунтового краплинного зрошення.

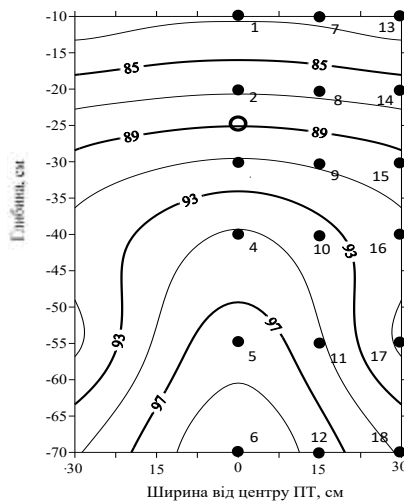
Дослідження проведено на землях Кам'янсько-Дніпровської дослідної станції ІВПіМ НААН (47°46' пн.ш. 34°42' сх.д.) у 2018 році на системі підгрунтового краплинного зрошення із ПТ ASSIF на глибині укладання 0,25 м. Відстань між ПТ – 0,7 м, між водовипусками – 0,5 м, витрата крапельниць – 1,5 дм³/год., тривалість поливу – 4 години нормою 175 м³/га за передполивної вологості ґрунту 85% від НВ. Джерело зрошення – свердловина з мінералізацією води від 0,76 до 1,14 г/дм³ (II класу якості за ДСТУ 2730, ДСТУ 7286, ДСТУ 7591).

Ґрунт дослідної ділянки – чорнозем звичайний середньосуглинковий, щільність складення у шарі 0-50 см – 1,37 т/м³, у шарі 51-100 см – 1,31 м³/т, НВ метрового шару – 18,8%, ПВ – 28,8%, реакція ґрунтового розчину близька до нейтральної. Вміст фізичного піску у шарі ґрунту 0-50 см становив 73,0-74,0%, фізичної глини – 25,8-26,8%.

Моніторинг динаміки вмісту вологи у ґрунті проводили за допомогою станції вологості ґрунту iMetos, обладнаної діелектричними датчиками EC-5 (Decagon Devices, США) у кількості 18 шт. Зони зволоження будували за допомогою програми Surfer 8 методом Radial Basis Function [13]. Протягом вегетаційного періоду 2018 року на вказаній вище ділянці вирощували сою сорту Оксана.

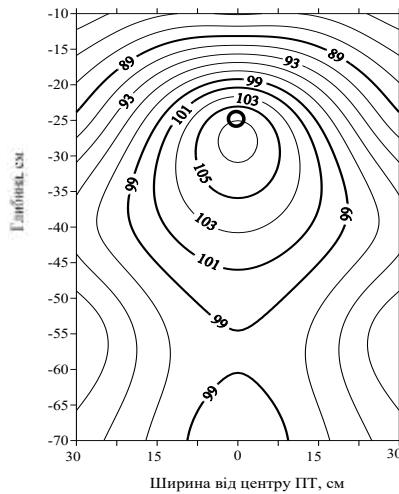
Виклад основного матеріалу дослідження. На час початку поливу вологість 0-25 см шару знаходилася в межах 80-88% від НВ, 26-50 см шару ґрунту – 88-95% НВ (рис. 1). Таким чином, відслідковуємо підвищення вологості за глибиною ґрунтового профілю до 65 см: у середньому зі зниженням глибини на 5 см вологість ґрунту підвищувалася на 2% НВ. У шарі 35-70 см утворилася зона з вологістю 93-98% НВ, формою наближена до трапеції. Параметр ширини зони з вологістю 93% від НВ на глибині 35 см становив 20 см, а на глибині 70 см – 60 см. Найвищу вологість (98% від НВ) фіксували на глибині 65 см у центрі умовної «трапеції» (рис. 1).

Через годину після початку проведення поливу відбувся перерозподіл вологості за шарами ґрунту. На глибині 21-45 см утворився так званий первинний контур зволоження [6], формою наближений до овалу з розмірами по вертикалі – 24 см, по горизонталі – 30 см (рис. 2).



- – 4 датчик ЕС-5 і його номер; ○ – поливний трубопровід (ПТ);
 — — — — — гідроізоплета вологості ґрунту, % від НВ

Рис. 1. Розподіл вологості ґрунту перед поливом

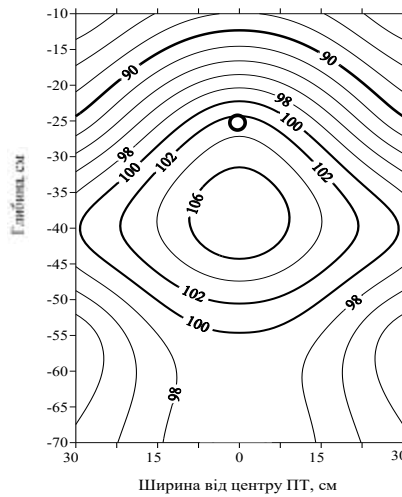


- – 4 датчик ЕС-5 і його номер; ○ – поливний трубопровід (ПТ);
 — — — — — гідроізоплета вологості ґрунту, % від НВ

Рис. 2. Розподіл вологості ґрунту через годину після проведення поливу

Основна частина первинного контуру розташована під ПТ, нижня межа якого проходить на відстані 20 см під ПТ, верхня – 5 см над ПТ. Вологість верхнього 0-25 см шару також підвищилася і знаходилася в межах від 85% від НВ до 103% від НВ. Констатуємо, що на першому (початковому) етапі формування зони зволоження ґрунту гравітаційні сили переважають над капілярними і відбувається динамічний перерозподіл вологи за шарами ґрунту.

З другої по четверту годину після початку проведення поливу перерозподіл вологості відбувався в межах первинного контуру зволоження. Починаючи з п'ятої години, зона з вологістю 100% від НВ на глибині 40 см збільшилася до 45 см, а на шосту та сьому години її ширина становила 55 см і 58 см. За глибиною зона з вологістю 100% від НВ на 6 годину після поливу зменшилася із 18 см до 22 см (рис. 3). Вологість 0-25 см шару ґрунту також знизилася і знаходилася в межах від 92% до 84% від НВ ґрунту.



● – 4 датчик ЕС-5 і його номер; ○ – поливний трубопровід (ПТ);

— — гідроізоплета вологості ґрунту, % від НВ

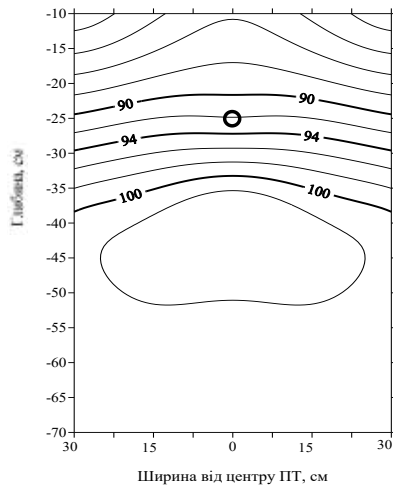
Рис. 3. Розподіл вологості ґрунту через 6 годин після проведення поливу

На 8 годину після поливу межа зони з вологістю 100% від НВ збільшилася до 65 см із одночасним зменшенням за глибиною на 10 см із 22 см до 32 см. Вологість верхніх шарів ґрунту також із цього моменту почала зменшуватися: зона з вологістю 90% від НВ за глибиною зменшилася на 6 см (із 12 до 18 см).

На 12 годину після проведення поливу у результаті перерозподілу вологості за шарами ґрунту утворилися дві умовні зони вологості: перша – на глибині 0-35 см, у якій вологість зростала зі збільшенням глибини від 82% від НВ до 100% від НВ, друга («вторинна зона») – на глибині від 35 до 70 см із вологістю на рівні 100% від НВ (рис. 4).

Після припинення поливу вологість ґрунту поступово знизилася до 90,5% від НВ. Важливо зазначити, що вологість верхнього 0-10 см шару ґрунту до поливу знаходилася на рівні 78% від НВ, а максимального значення у 88% від НВ вона досягла через 7-8 годин після початку поливу.

Тому констатуємо, що зона посівного ложе (верхні 3-4 см) за підґрунтового краплинного зрошення не досить зволожується у результаті поливу, що підтверджує дані [14]. Починаючи з другої години після початку поливу вологість на глибині 40 см підвищилася із 98% до 104% від НВ. Після припинення поливу вона почала поступово знижуватися і рівня у 100% від НВ досягла через 20 годин. Глибини 55 см волага досягла через 5 годин після початку поливу і за наступні 5 годин підвищилася із 96% від НВ до 103% від НВ.



● – 4 датчик ЕС-5 і його номер; ○ – поливний трубопровід (ПТ);

— – гідроізоплета вологості ґрунту, % від НВ

Рис. 4. Розподіл вологості ґрунту через 12 годин після проведення поливу

Моніторинг динаміки вологості ґрунту на різних глибинах ґрунтового профілю (рис. 5) показав, що протягом першої години після початку проведення поливу вологість ґрунту на глибині 25 см підвищилася із 88% від НВ до 100% від НВ і залишалася на цьому рівні практично протягом усього часу поливу (4 години).

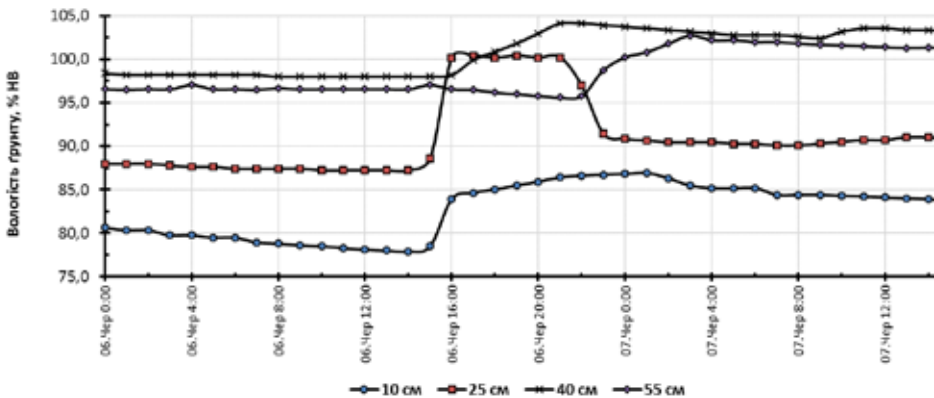


Рис. 5. Динаміка вологості середньосуглинкового ґрунту у зоні зволоження за підґрунтового краплинного зрошення

Ми також розрахували геометричні площі зон зволоження середньосуглинкового ґрунту у динаміці протягом 12 годин після припинення поливу (рис. 6).

Отримана функціональна залежність описується степеневою функцією, коефіцієнт детермінації R^2 дорівнює 0,98.

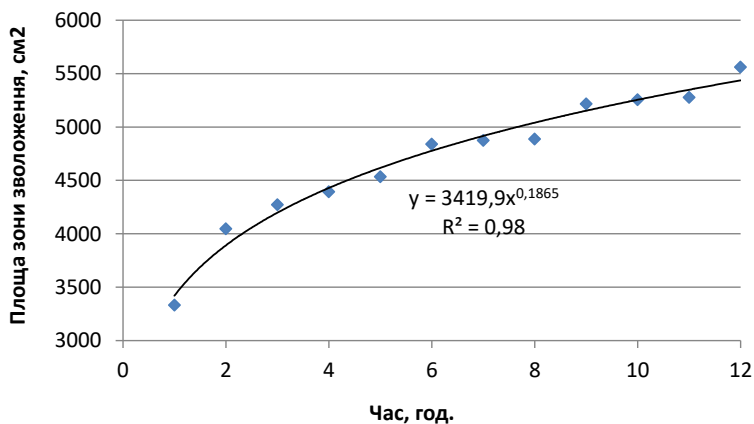


Рис. 6. Залежність площі зони зволоження середньосуглинкового ґрунту від функції часу за підґрунтового краплинного зрошення

Висновки і пропозиції. За результатами експериментальних досліджень визначено особливості та встановлено параметри зони зволоження середньосуглинкового ґрунту за підґрунтового краплинного зрошення. Протягом першої години після початку поливу вологість ґрунту на глибині укладання ПТ (25 см) підвищилася із 88% НВ до 100% НВ. Через годину після початку проведення поливу утворився первинний контур на глибині 21-45 см овальної форми. З другої по четверту години перерозподіл вологості відбувався у межах первинного контуру, а з п'ятої години вологість більш інтенсивно зростала за глибиною ґрунтового профілю. На 12 годину після поливу відбувся перерозподіл вологості з утворенням двох умовних зон вологості.

Підтверджено, що зона посівного ложе сої (верхні 3-4 см) за підґрунтового краплинного зрошення не досить зволожується у результаті поливу, що зумовлює отримання сходів польових культур за рахунок природніх вологозапасів ґрунту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Rai N., Mahmood S. Surface and subsurface drip irrigation: impacts on soil moisture and its distribution in irrigated environment. Saarbrucken. VDM Publishing House Ltd. 2009. P. 76.
2. Сидоренко А., Макаренко І., Мігальов А. Підземне крапельне зрошення. Технічне забезпечення та застосування. *Новітні технології в АПК: дослідження та управління*. 2020. № 26(40). С. 280–291. URL: [http://dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2020-1-26\(40\)-26](http://dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2020-1-26(40)-26).
3. Подпочвенное капельное орошение – теоретические и практические аспекты / М. Ромащенко, А. Шатковский, А. Билоброва, С. Вовчок, Ю. Болтвец, И. Овчатов. *Овощеводство*. 2018. № 2(154). С. 52–55.
4. Снеговой В.С., Бланк Э.И. Формирование контура увлажнения и зоны активного иссушения почвы при капельном орошении : тезисы докладов Республиканской науч. конф. по капельному орошению. Кишинев : Штиинца, 1983. С. 6–8.
5. Балцату И.Н. Исследование закономерностей передвижения воды в почве при капельном орошении садов в условиях Молдавии : автореф. дис. канд. с.-х. наук: 06.01.02. Москва, 1979. 20 с.

6. Ромащенко М.І., Корюненко В.М., Ключин Д.А. Закономірності зволоження ґрунтів при мікрозрошенні. *Вісник аграрної науки*. 1998. № 12. С. 45–51.
7. Лимар В.А. Диференціація зон зволоження при вирощуванні овочевих і баштанних культур в умовах півдня України при різних способах зрошення. *Зрошуване землеробство*. 2015. № 64. С. 119–122.
8. Овчинников А.С., Азарьева И.И. Водный режим почв и геометрические параметры контура увлажнения при возделывании посевных томатов. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса*. 2010. № 1(17). С. 24–28.
9. Обумахов Д.Л. Линейные параметры контуров увлажнения при капельном поливе. *Научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2014. № 100. С. 30–43.
10. Arbat G., Lamm F., Kheira A. Effect of emitter spacing on soil water redistribution, corn yield and water productivity under subsurface drip irrigation. *Applied Engineering in Agriculture*. 2009. № 26(3). P. 2–18. DOI: 10.13031/2013.29959.
11. Grabow G., Huffman R., Evans R., Jordan D., Nuti R. Water distribution from a subsurface drip irrigation system and dripline spacing effect on cotton yield and water use efficiency in a coastal plain soil. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*. 2006. № 49(6). P. 1823–1835. DOI: 10.13031/2013.22303.
12. Elabadin T., Mattar M., Alazba A. Soil wetting pattern from subsurface drip irrigation as affected by application of a polyacrylamide layer. *Irrigation and Drainage*. 2015. № 64. P. 609–618. DOI: 10.1002/ird.1937.
13. Толкач О.М., Соболевський Р.В. Обґрунтування оптимального методу інтерполяції даних на базі програмного забезпечення SURFER. *Вісник ЖДТУ. Технічні науки*. 2011. № 1(56). С. 135–141.
14. Douh B., Abdelhamid B. Subsurface drip irrigation and water management under semiarid climate. *Advances in Environmental Research* / Editors: Justin A. Daniels. New-York. 2012. P. 181–198.