УДК 504.53.064.2:004.9](477.46)
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.1-58.30

ОЦІНКА ЗАСОЛЕННЯ УРБОҐРУНТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ СУЧАСНИХ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Мислюк О.О., Єгорова О.В., Хоменко О.М.
Черкаський державний технологічний університет
бул. Шевченко, 460, 18006, м. Черкаси
o.mysliuk@chdtu.edu.ua, ok.yehorova@chdtu.edu.ua, o.khomenko@chdtu.edu.ua

Стаття присвячена дослідженню стану ґрунтів міста Черкаси в контексті екологічних змін та оцінювання можливих ризиків в результаті антропогенної діяльності. Всебічне дослідження і оцінка ступеню засолення ґрунтів урбоземів є задачею вкрай актуальною в контексті забезпечення сталого розвитку урбанізованих екосистем. Моніторингові спостереження свідчать про значний рівень і контрастність техногенних аномалій легкорозчинних солей у ґрунтовому покриві міста. Тип засолення за співвідношенням аніонів переважно содово-хлоридний (66%) і содово-хлоридний з участю соди (22%). Оцінка ступеню засолення показала, що 49% ґрунтів є слабко засоленими, 30% – помірно засоленими і 21% – сильно засолені. Аналіз Пірсона показав, що основний внесок у сумарну засоленість ґрунтів мають хлорид-іон (R2 варіює від 0,53 до 0,85 при середньому значення 0,67) і гідрокарбонат-іон (R2 варіює від 0,19 до 0, 82 при середньому значення 0,59). За вмістом токсичних солей 40,6% проб ґрунту відповідає градації слабко засолені, 59,4% – не засолені. За сумарним ефектом токсичних іонів 77% ґрунтів характеризуються як середньо засолені, 13% – сильно-засолені і 11% – слабо-засолені. Природний промивний режим не забезпечує видалення солей, необхідна додаткова промивка ґрунтів. Для розсолення ґрунтів і поліпшення їх водно-фізичних властивостей потрібне проведення комплексу спеціальних хімічних меліорацій. Просторовий аналіз показав, що вплив солоності неоднорідний і походить від початкового джерела материнського матеріалу та антропогенного впливу. Засолення ґрунтів призводить до залуження урбоземів міста Черкаси. У процесі моделювання створено цифрову модель зонування урбоземів міста Черкаси за сумою токсичної дії солей. Найвищу засоленість мають ґрунти центральної частини міста і прибережних районів. Незначні відмінності в рівнях засолення урбоземів може бути зумовлено різними типами доріг і дворами. *Ключові слова:* урбоземи, засолення, геоінформаційні технології, картографічне моделювання, зонування території.

Assessment of urban soil salinity using modern geoinformation technologies. Mislyuk O., Yehorova O., Khomenko O.
The article is devoted to the study of the soil condition in Cherkasy in the context of environmental changes and the assessment of possible risks as a result of anthropogenic activity. A comprehensive study and assessment of the degree of salinization of urban soils is an extremely important task in the context of ensuring the sustainable development of urbanized ecosystems. The monitoring observations show a significant level and contrast technogenic anomalies of easily soluble salts in the city's soil cover. The type of salting by anion ratio is mainly soda-chloride (66%) and soda-chloride with soda (22%). The salinity assessment showed that 49% of the soils are slightly saline, 30% are moderately saline, and 21% are highly saline. Pearson's analysis showed that the main contribution to total soil salinity is made by chloride ion (R2 varies from 0.53 to 0.85 with an average value of 0.67) and hydrogen carbonate ion (R2 varies from 0.19 to 0.82 with an average value of 0.59). In terms of toxic salt content, 40.6% of soil samples correspond to the slightly saline gradation, while 59.4% are not saline. Based on the total effect of toxic ions, 77% of soils are characterized as medium saline, 13% as highly saline, and 11% as slightly saline. The spatial analysis showed that the influence of salinity is heterogeneous and comes from the original source of the parent material and anthropogenic impact. Soil salinization leads to alkalization of urban soils in Cherkasy. In the process of modeling, a digital model of zoning of urban soils in Cherkasy was created by the amount of toxic salts. Soils in the central part of the city and coastal areas have the highest salinity. Differences in salinity levels of urban soils between different types of roads and yards are not significant. *Key words:* urban lands, salinization, geoinformation technologies, cartographic modeling, territory zoning.

Постановка проблеми. Однією з ключових соціально-екологічних проблем, що стоїть перед суспільством на сучасному етапі розвитку, є дослідження навколишнього природного середовища, зокрема ґрунтового покриву, який є основним та невід'ємним ресурсом. Це важливо для прогнозування змін в його стані в природних умовах та оцінювання можливих ризиків під впливом людської діяльності. Техногенне галохімічне (засолення, підлуження) і поліметалічне забруднення за своєю небезпекою виходить на перше місце серед екстремальних факторів у містах.

Актуальність дослідження. Ґрунтовий покрив міст зазнає радикальних змін як в результаті природних процесів, так і під безпосереднім впливом діяльності людини. Вплив транспортних засобів, промисловості, будівництва та реконструкції змінює ґрунти у містах, що веде до змін майже всіх їхніх компонентів: від морфологічної структури до фізико-хімічних властивостей. Це призводить до втрати здатності ґрунтів виконувати важливі екологічні функції, такі як поглинання викидів, функціонування зелених насаджень тощо [1–3].

Всебічне дослідження і оцінка ступеню засолення ґрунтів урбоземів є задачею вкрай актуальною в контексті забезпечення сталого розвитку урбанізованих екосистем. Вона не може бути вирішена без ретельного і всебічного вивчення характеру забруднення урбоґрунтів шкідливими домішками.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.

Збереження ґрунту має величезне значення, саме тому питанню моніторингу, запобігання та пом'якшення наслідків трансформації ґрунтів присвячені програми та директиви багатьох урядових організацій. Європейській Союз має кілька програм і ініціатив, спрямованих на збереження ґрунтів. Зокрема, Ґрунтова стратегія ЄС до 2030 року встановлює рамки та конкретні заходи для захисту та відновлення ґрунтів, а також забезпечення їх сталого використання [4]. 17 червня 2024 року Рада ЄС прийняла загальний підхід, спрямований на обов'язковість моніторингу здоров'я ґрунту, що забезпечує керівні принципи сталого управління ґрунтами та розглядає ситуації, коли забруднення ґрунту створює неприйнятні ризики для здоров'я та навколишнього середовища. Відповідно до запропонованої директиви, країни-члени ідентифікують усі потенційно забруднені ділянки, а потім відображають їх у публічному реєстрі. Це дозволить державам-членам визначати пріоритетність заходів, беручи до уваги потенційні ризики, соціально-економічний контекст [5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Урбоземи суттєво відрізняються за своїм складом і властивостями від природних ґрунтів. В результаті антропогенного впливу специфічні міські ґрунти мають значні відмінності – змінені фізико-механічні властивості ґрунтів, наявність включень будівельного і побутового сміття у верхніх горизонтах, зміна кислотно-лужного балансу з тенденцією до підлуження, засолення, забрудненість важкими металами, нафтопродуктами [2, 6–9].

Основними процесами привнесення розчинних солей в урбогрунти є пряма інфільтрація зі снігу, поверхневого стоку та вимивання з верхнього шару ґрунту, що призводить до їх прогресуючого засолення. Просторовий аналіз показує, що вплив солоності неоднорідний і походить від початкового джерела материнського матеріалу або під впливом антропогенного впливу [10]. Засолення ґрунту водорозчинними солями у великій мірі впливає на його фізичні і хімічні властивості, біологічну якість на здатність опору до навантажень. Засоленість викликає різку зміну реакції ґрунтового розчину, складу поглинених катіонів, підвищує мобільність органічної речовини, погіршує водний режим ґрунту, його структурно-текстурні особливості. Катіон натрію, що міститься в протиожеледних сумішах, витісняє катіони кальцію і магнію з ґрунтово-вбірного комплексу ґрунтів, руйнуючи структуру і посилюючи рухливість органічної речовини.

Акумуляція солей в поверхневих шарах ґрунтів проявляються у змінах росту та розвитку рослин, зазнає впливу будова та функціонування фотосинтетичного апарату рослин, що в підсумку зумовлює пригнічення росту, розвитку і продуктивності рослин, впливає на ґрунтові мікроорганізми. [11–12].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Метою роботи є системний аналіз засоленості і стану урбоземів м. Черкаси із застосуванням науково-методичних основ та моделювання процесів трансформації ґрунтів з районуванням території міста за рівнем засоленості з використанням геоінформаційного програмного пакету SURFER, який дозволяє аналізувати та візуалізувати дані, що дає інструменти для аналізу інформації та прийняття ефективних рішень управлінського характеру, допомагаючи зменшити ризики погіршення стану навколишнього середовища.

Новизна. Полягає в застосуванні сучасних геоінформаційних технологій для системного аналізу і візуалізації даних моніторингу урбоземів з просторовим зонуванням території міст за ступенем засоленості. Це дозволить простежувати динаміку трансформації урбогрунтів і приймати ефективні рішення управлінського характеру задля сталого розвитку міст.

Методологічне або загальнонаукове значення. Отримана у ході досліджень інформація може служити орієнтиром при організації ґрунтово-екологічного моніторингу міських територій, для науково обґрунтованої оцінки геоекологічного стану урбогрунтів і прийнятті оптимальних управлінських рішень галузі охорони навколишнього середовища.

Мета роботи. Дослідження фізико-хімічних властивостей техногенне модифікованих ґрунтів м. Черкаси у зоні кореневої системи рослин, оцінка ступеню їх засолення із просторовим зонуванням території із використанням сучасних ГІС технологій.

Викладення основного матеріалу. Ґрунти міста Черкаси в зонах створення відкритих просторів є складними утвореннями природного та антропогенного походження. Ландшафти міста формуються переважно за рахунок лесів і лесовидних суглинків, а також супісків різного походження. Ґрунтовий покрив неоднорідний, легкого механічного складу з наявністю домішок антропогенного походження. Переважають чорноземи типові та чорноземи сильно реградовані. Ґрунти забруднені ксенобіотиками, зокрема, важкими металами, і мають тенденцію до підлуження [13]. Для дослідження техногенне модифікованих ґрунтів були обрані ділянки у різних функціональних зонах міста (рис. 1).

Дослідження показало, що вміст розчинних солей і їх просторовий розподіл нерівномірний і характеризується значною варіабельністю. Сульфат-іони присутні в ґрунтовій витяжці у дуже малих концентраціях і варіював від 0,005 до 0,03 мг-екв на 100 г ґрунту при середньому значенні 0,01. Переважають іони Cl^- та іони HCO_3^- (рис. 2). Вміст хлорид-іону варіював від 1,02 до 4,90, при середньому значенні 1,91 мг-екв на 100 г ґрунту, стандартне відхилення – 0,34, дисперсність – 0,42, коефіцієнт варіації C_v 0,34. Високий вміст іоні Cl^- зумовлений використанням протиожеледних сумішей.

Рис. 1. Розташування модельних ділянок

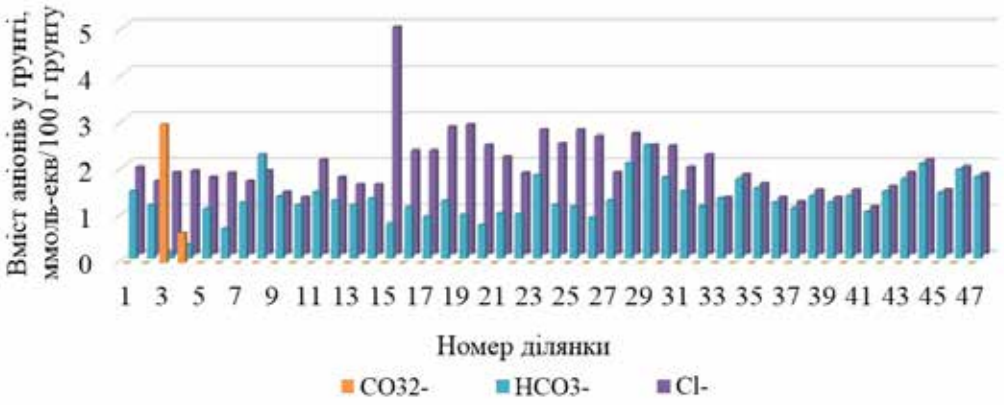

Рис. 2. Вміст аніонів у ґрунтах

Вміст іонів HCO_3^- становить 0,13÷2,45, середнє значення – 1,29 мг-екв на 100г ґрунту, коефіцієнт варіації 0,34, стандартне відхилення – 0,45, ступінь дисперсії – 0,2. Значний вміст в ґрунтовому розчині іонів HCO_3^- зумовлений як природними (материнські породи – леси і лесовидні суглинки), так і урбогенними факторами (розвинута транспортна мережа, забруднення поверхневого шару ґрунту будівельними відходами).

Загальний вміст солі в досліджуваних районах становив 0,11–0,40%, при середньому значенні 0,21%. При такому вмісті солей обмежується ріст і нормальне функціонування багатьох дерев і чагарників, які характерні для міст.

За сумарним вмістом солей, майже половина досліджених ґрунтів є слабко засоленими, 30% – помірно засоленими та 21% сильно засолені (рис. 3).

Аналіз Пірсона показав, що основний внесок у загальну засоленість ґрунтів мають хлорид-іон (R2 варіює від 0,53 до 0,85 при середньому значення 0,67) і гідрокарбонат-іон (R2 варіює від 0,19 до 0,82 при середньому значення 0,59), що пояснюється їх

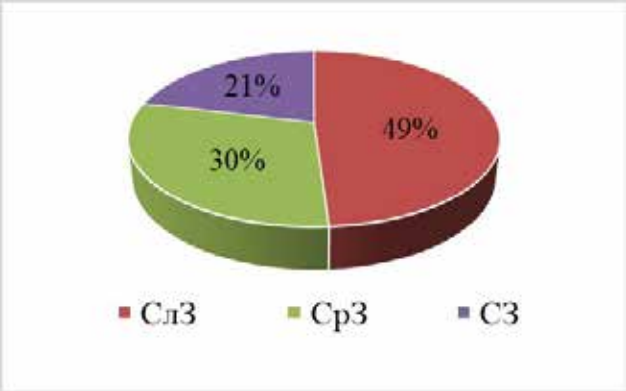

Рис. 3. Ранжування ґрунтів міста Черкаси за сумарним вмістом солей

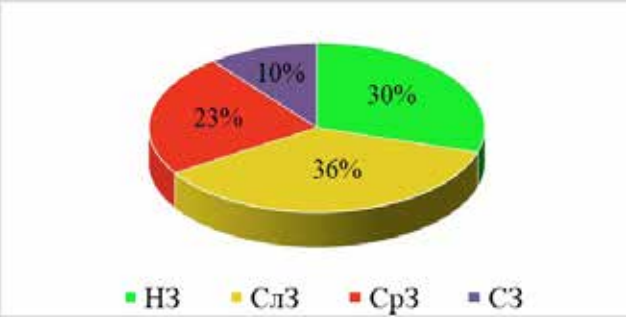

Рис. 4. Ранжування ґрунтів міста Черкаси за вмістом токсичних солей

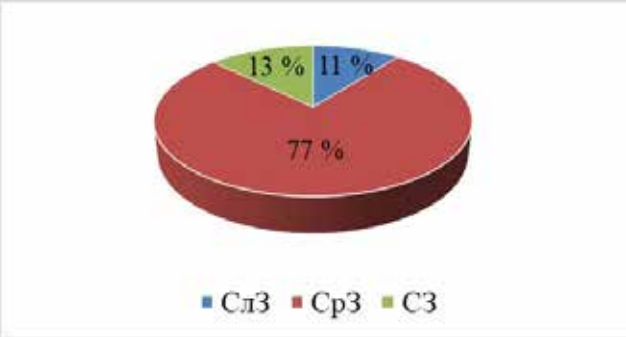

Рис. 5. Ранжування ґрунтів за сумарним ефектом токсичних солей

високою концентрацією серед вилужених іонів та іонною провідністю у випадку хлорид іонів [14]. За вмістом токсичних солей, то майже 30% досліджених ґрунтів є не засоленими, 36% – слабко засолені, 23% – помірно засолені і 10% мають високим рівень засоленості (рис. 4).

Відомо, що навіть на слабко засолених ґрунтах спостерігається пригнічення росту 25% деревної рослинності, а при концентрації розчинених солей 0,35% дуби, дерева білої та жовтої акації сохнуть [15].

За класифікацією Базилевича та Панкової з врахуванням «сумарного ефекту» токсичних іонів ґрунти на досліджених ділянках є помірно засоленими (77%), сильно-засолений (13%) та слабо-засолений (11%) (рис. 5).

Для візуалізації інформації про засоленість ґрунтів міста Черкаси був використаний геоінформаційний пакет SURFER (рис. 6, 7).

Найвищу засоленість мають ґрунти центральної частини міста, що спричиняє міграцією у ґрунти примагістральних смуг розчинених солей, які вико-

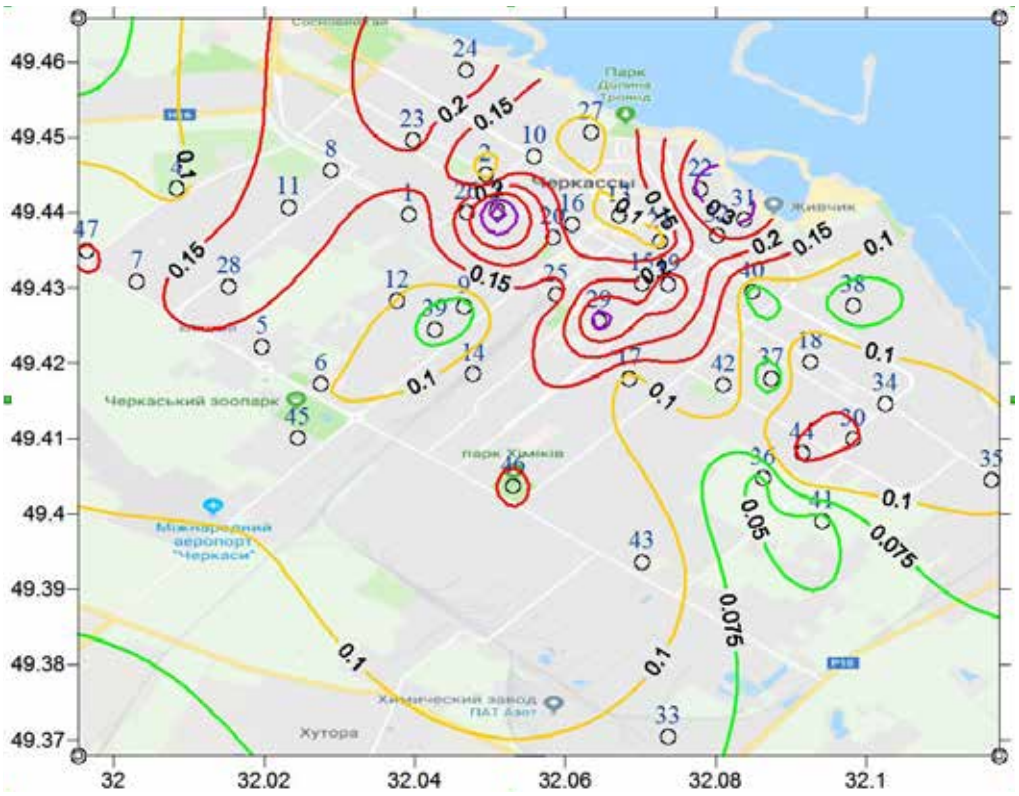

Рис. 6. Карта засоленості ґрунтів за сумою токсичних солей

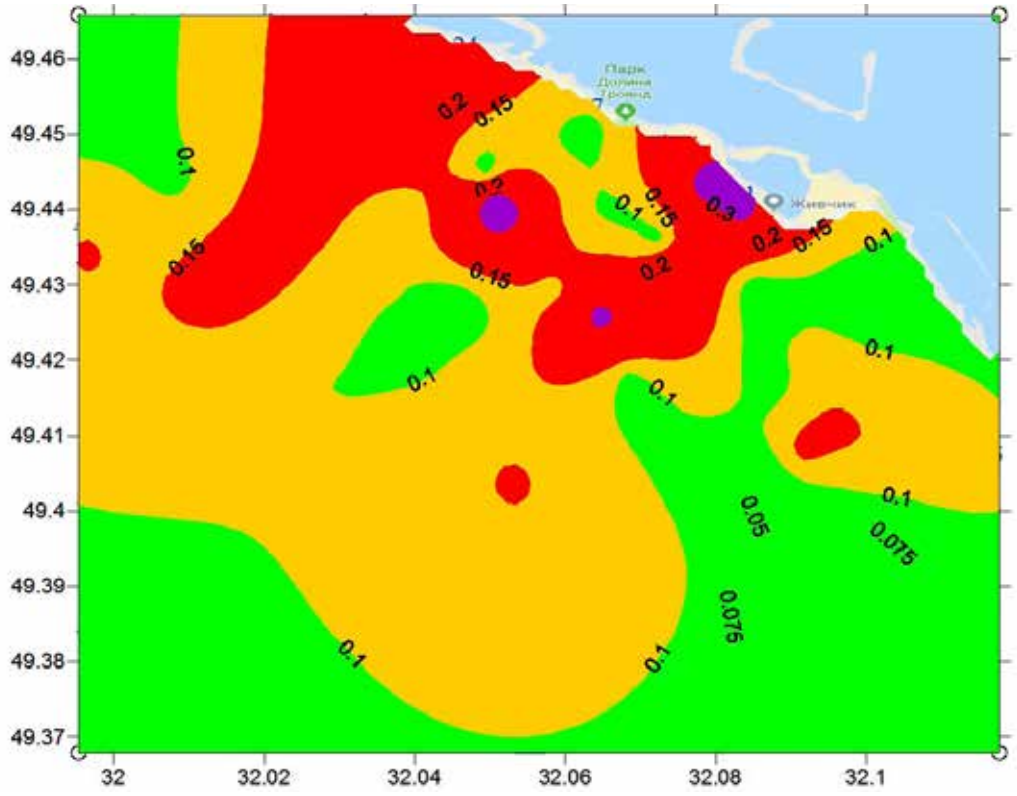

Рис. 7. Карта зонування ґрунтів за сумою токсичних солей

ристовуються як протиожеледні засоби. Високий рівень засолення ґрунтів прибережних районів імовірно зумовлений міграцією солей за пониженням рельєфу та активною забудовою цієї території. Проведені дослідження показали, що відмінності в рівнях засолення урбоземів між різними типами доріг і дворами не значні.

Головні висновки. Моніторингові спостереження виявили значний рівень і контрастність техногенних аномалій легкорозчинних солей у ґрунтовому покриві міста Черкаси. Засолення ґрунтів призводить до їх залуження. Найвищу засоленість мають ґрунти центральної частини міста і прибережних районів. Відмінності в рівнях засолення урбоземів між різними типами доріг і дворами не значні. Застосування сучасних геоінформаційних технологій для системного аналізу і візуалізації даних моніторингу урбоземів з просторовим зонуванням території за ступенем засоленості дозволить простежувати динаміку трансформації урбоґрунтів і приймати ефективні рішення управлінського характеру задля сталого розвитку міст.

Перспективи використання результатів дослідження. Отримана у ході досліджень фактична інформація може розглядатися як орієнтир для більш об'єктивної та науково обґрунтованої оцінки геоекологічного стану міських ґрунтів та організації ґрунтово-екологічного моніторингу міських територій.

Література

1. P., Blumlein & Kircholtes, H.J. & Schweiker, M. & Wolf, G. et al. Soil in the City. Urban Soil Management Strategy. Stuttgart, 2012. 30 p.
2. Richard Pouyat, Susan D Day, Sally Brown Show. Urban Soils. *Forest and Rangeland Soils of the United States Under Changing Conditions, A Comprehensive Science Synthesis.* 2020. P. 127-144. DOI:10.1007/978-3-030-45216-2_7.
3. Підкова О. Оцінка екологічних функцій ґрунтів міста Києва. *Молодий вчений*. 2020. № 1 (77). С. 57-61. https://doi.org/10.32839/2304-5809/2020-1-77-13.
4. Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – EU Soil Strategy for 2030 Reaping the benefits of healthy soils for people, food, nature and climate. 2021.
5. Soil Monitoring Law: EU on the path to healthy soils by 2050. Council of the European Union. 2024. P. 127.
6. Bulimaga C., Certan C. Evaluarea impactului ecositemelor urbane asupra mediului în regiunea de dezvoltare economica Centru. In: *Impactul antropic asupra calităţii mediului.: Culegere de articole ştiinţifice dedicată dlui ION DEDIU membru corespondent AŞM la 85 de ani de la naştere şi 62 ani de activitate ştiinţifică*, 14 februarie 2019, Chişinău. Chişinău, Republica Moldova: Tipogr. «Impressum», 2019, pp. 42-53. ISBN 978-9975-3308-0-0.
7. Борис Я, Телегузи О. Особливості міських ґрунтів міста Львова. *Наукові проблеми Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка.* Серія: географія. 2022. № 1. С. 59-65. DOI:https://doi.org/10.25128/2519-4577.22.1.8.
8. Howard, Jeffrey L.; Orlicki, Katharine M. Effects of Anthropogenic Particles on the Chemical and Geophysical Properties of Urban Soils, Detroit, Michigan. *Soil Science.* 2015. 180(4/5). Pp 154-166. DOI: 10.1097/SS.0000000000000122
9. Хохрякова А., Елгуджа Куліджанов. Характеристика ґрунтів м. Одеси. *Вісник Львівського університету*. Серія Географія, вип. 52. С. 293-302. http://dx.doi.org/10.30970/vgg.2018.52.10195.
10. Криштоп Є. А., Волощенко В. В. Міські ґрунти як невід'ємний елемент урбанізованих і техногенно забруднених територій. *Вісник Харківського національного аграрного університету*. Сер.: Грунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове господарство. 2013. № 2. С. 200-206.
11. Горбань В.А. Співвідношення екологічних функцій ґрунтів та їх екологічних властивостей. *Ґрунтознавство*. 2008. № 1-2. С. 124-127.
12. Деркач І., Романюк Д. Вплив засолення ґрунту на рослинні організми. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка*. Серія: Біологія. 2016. № 3-4. С. 91-106.
13. Мислюк О. О., Хоменко О. М., Єгорова О. В. Екологічна оцінка кислотно-основних властивостей урбоземів м. Черкаси. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. 2019. Вип. № 4 (117). С. 53-59. DOI: 10.30929/1995-0519.2019.4.53-59
14. Mashal, Kholoud & Al-Qinna, Mohammed & Salahat, Mohammed & Al-Degs, Yahya & Hamzeh, Samer. Spatial variations of urban soil salinity and related ions in arid and semiarid areas. *Arabian Journal of Geosciences*. 2022. V.15. DOI:15. 10.1007/s12517-022-10540-5.
15. Хохрякова А. І., Куліджанов Е. В. Оцінка рівня хімічного забруднення ґрунтів паркових зон міста Одеси. *Науковий вісник Херсонського державного університету*. Серія: Географічні науки. 2017. Вип. 6. С. 164-172.