

УДК 504.064.2.001.18

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-3-7>

Людмила ГЕРАСИМЧУК

кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка», вул. Чуднівська, 103, м. Житомир, Україна, 10005
ORCID: 0000-0002-3166-5588

Руслана ВАЛЕРКО

кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка», вул. Чуднівська, 103, м. Житомир, Україна, 10005
ORCID: 0000-0003-4716-0100

Василь РОЗГОН

здобувач освітнього ступеня магістр, Державний університет «Житомирська політехніка», вул. Чуднівська, 103, м. Житомир, Україна, 10005
ORCID: 0009-0005-0688-6695

Вікторія МАЛІНОВСЬКА

здобувачка освітнього ступеня магістр, Поліський національний університет, бульвар Старий, 7, м. Житомир, Україна, 10008
ORCID: 0009-0000-1209-230X

Бібліографічний опис статті: Герасимчук, Л., Валерко, Р., Розгон, В., Маліновська, В. (2023). Тенденції викидів діоксиду вуглецю як чинника кліматичних змін в атмосферне повітря Житомирської області від стаціонарних джерел та прогнозування їх обсягів. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 3, 49–58, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-3-7>

ТЕНДЕНЦІЇ ВИКИДІВ ДІОКСИДУ ВУГЛЕЦЮ ЯК ЧИННИКА КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН В АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ ВІД СТАЦІОНАРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ЇХ ОБСЯГІВ

Метою дослідження є висвітлення та оцінка обсягів викидів діоксиду вуглецю, як чинника кліматичних змін, в атмосферне повітря Житомирської області від стаціонарних джерел за період 2005 – 2021 рр., а також прогнозування їх обсягів.

Методологія. Інформаційною базою досліджень стали матеріали Державної служби статистики в Житомирській області. Оцінювали динаміку викидів діоксиду вуглецю від стаціонарних джерел за період 2005–2021 рр. в цілому по Житомирській області та в розрізі її адміністративно-територіальних одиниць; проводили ранжування регресійних моделей обсягів викидів за величинами достовірності апроксимації та значенням загальної похибки; здійснювали прогноз обсягів викидів діоксиду вуглецю від стаціонарних джерел.

Наукова новизна полягає у висвітленні регіональних тенденцій викидів діоксиду вуглецю в атмосферне повітря Житомирської області від стаціонарних джерел та прогнозування їх обсягів.

Висновки. Починаючи з 2005 р. до атмосферного повітря Житомирської області надійшло 11628,7 тис. т діоксиду вуглецю, а його граничні значення відповідали 2005 р. (236,4 тис. т) та 2009 р. (876,2 тис. т). Обсяги викидів діоксиду вуглецю у 2016 – 2021 рр. перевищували рівень 2015 р., а їх відповідні значенням становили від 111% (2016 р.) до 130% (2018 р.), а у 2021 р. – 114,9%. Відмічено нерівномірний розподіл обсягів викидів діоксиду вуглецю від стаціонарних джерел забруднення в межах адміністративно-територіальних одиниць Житомирської області: мінімальні значення – 0,1 тис. т – мали місце у Бердичівському (2012 р.), Ємільчинському (2012 – 2014 рр.), Лугинському (2014 р.), Малинському (2016 р.) та Черняхівському (2010 – 2012 рр. та 2014 р.) районах та м. Новоград-Волинський (2014 р.) – 21,6 тис. т, максимальні – 92,9 тис. т – Бердичівському районі (2014 р.) та у м. Житомир (2010 р.) – 359,1 тис. т. Частка районів у загальних обсягах викидів діоксиду вуглецю по області складала 33,2%, міст – 66,8% (у 2021 р. внесок новостворених районів складав 15,2% (Бердичівський), 48% (Житомирський), 20% (Коростенський), 16,8% (Новоград-Волинський)). За період 2010 – 2020 рр. перевищення середнього по області обсягу викидів діоксиду вуглецю від 1,3 до 11,2 разів мали місце у всіх містах, за виключен-

ням м. Новоград-Волинський (2014 р. і 2017 р.) та у 1,7 – 3 рази у Новоград-Волинському районі (за виключенням 2010 р.). За здійсненим прогнозом у наступні періоди обсяги викидів діоксиду вуглецю від стаціонарних джерел в атмосферне повітря Житомирської області будуть зменшуватися і становитимуть 574,7 тис. т у 2023 р., 522,5 тис. т у 2024 р. та 493,9 тис. т у 2025 р.

Ключові слова: діоксид вуглецю, зміни клімату, адміністративно-територіальні одиниці, кратність перевищення, внесок до обласного рівня, поліноміальна модель 2-го ступеня, прогнозування, тенденція до зменшення.

Liudmyla HERASYMCHUK

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Ecology and Environmental Protection Processes of the State University "Zhytomyr Polytechnic", 103, St. Chudnivska, Zhytomyr, Ukraine, 10005

ORCID: 0000-0002-3166-5588

Ruslana VALERKO

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Ecology and Environmental Protection Processes of the State University "Zhytomyr Polytechnic", 103, St. Chudnivska, Zhytomyr, Ukraine, 10005

ORCID: 0000-0003-4716-0100

Vasyl ROZGHON

Master's degree holder, State University "Zhytomyr Polytechnic", 103, St. Chudnivska, Zhytomyr, Ukraine, 10005

ORCID: 0009-0005-0688-6695

Viktoriia MALINOVSKA

Master's degree holder, Polissya National University, 7 Staryi Boulevard, Zhytomyr, Zhytomyr Region, Ukraine, 10008

ORCID: 0009-0000-1209-230X

To cite this article: Herasymchuk, L., Valerko, R., Rozghon, V., Malinovska, V. (2023). Tendentsii vykydiv dioksydu vuhletsu yak chynnyka klimatychnykh zmin v atmosferne povitria Zhytomyrskoi oblasti vid statsionarnykh dzherel ta prohnozuvannia yikh obsiahiv [Trends of carbon dioxide emissions as a factor of climate change into the atmospheric air of the Zhytomyr region from stationary sources and forecasting their volumes]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 3, 49–58, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-3-7>

TRENDS OF CARBON DIOXIDE EMISSIONS AS A FACTOR OF CLIMATE CHANGE INTO THE ATMOSPHERIC AIR OF THE ZHYTOMYR REGION FROM STATIONARY SOURCES AND FORECASTING THEIR VOLUMES

The purpose of the study is to highlight and assess the volume of carbon dioxide emissions, as a factor of climate change, into the atmospheric air of the Zhytomyr region from stationary sources for the period 2005–2021, as well as to forecast their volume.

Methodology. The materials of the State Statistics Service in the Zhytomyr region became the information base of the research. We evaluated the dynamics of carbon dioxide emissions from stationary sources for the period 2005–2021 in Zhytomyr Oblast as a whole and in its administrative-territorial units; ranked the regression models of emission volumes according to the values of the reliability of the approximation and the value of the total error; carried out a forecast of carbon dioxide emissions from stationary sources.

The scientific novelty consists in highlighting the regional trends of emissions of carbon dioxide into the atmospheric air of the Zhytomyr region from stationary sources and forecasting their volumes.

Conclusions. Starting from 2005, 11,628.7 thousand tons of carbon dioxide entered the atmospheric air of the Zhytomyr region, and its limit values corresponded to 2005 (236.4 thousand tons) and 2009 (876.2 thousand tons). The volumes of carbon dioxide emissions in 2016–2021 exceeded the level of 2015, and their corresponding values ranged from 111% (2016) to 130% (2018), and in 2021 – 114.9%. An uneven distribution of carbon dioxide emissions from stationary sources of pollution within the administrative territorial units of Zhytomyr region was noted: the minimum values - 0.1 thousand tons - took place in Berdychivskiyi (2012), Yemilchynskiyi (2012–2014), Luhynskiyi (2014), Malinskyyi (2016) and Chernyakhivskiyi (2010–2012 and 2014) districts and the city of Novograd-Volynskiyi (2014) – 21.6 thousand tons, maximum – 92.9 thousand tons - in the Berdychiv district (2014) and in the city of Zhytomyr (2010) – 359.1 thousand tons. The share of districts in the total volume of carbon dioxide emissions in the region was 33.2%, cities – 66.8% (in

2021, the contribution of newly created districts was 15.2% (Berdychivskiy), 48% (Zhytomyrskiy), 20% (Korostenskiy), 16.8% (Novograd-Volynskiy). During the period 2010-2020, the regional average carbon dioxide emissions exceeded 1.3 to 11.2 times in all cities, with the exception of Novograd-Volynskiy (2014 and 2017) and 1,7 – 3 times in the Novograd-Volyn district (with the exception of 2010). According to the forecast, in the following periods, the volumes of carbon dioxide emissions from stationary sources into the atmospheric air of the Zhytomyr region will decrease and will amount to 574.7 thousand tons in 2023, 522.5 thousand tons in 2024, and 493.9 thousand tons in 2025.

Key words: carbon dioxide, climate change, administrative-territorial units, multiplicity of excess, contribution to the regional level, polynomial model of the 2nd degree, forecasting, tendency to decrease.

Актуальність проблеми. Глобальне потепління – одна із головних загроз, як довкілля, так і здоров'ю населення, глобальній продовольчій безпеці, економічному розвитку, а основною його причиною є збільшення викидів вуглекислого газу (що є основним фактором парникового ефекту) через глобальний попит на енергію та викопне паливо. Багато дослідників протягом тривалого часу вивчали шкідливий вплив парникових газів на навколишнє середовище. Загальний висновок цих досліджень полягає в тому, що CO₂ сприяє глобальному потеплінню.

Сьогодні екологічні проблеми, такі як нездатність контролювати зростання викидів вуглекислого газу, зміна клімату та глобальне потепління, стоять на порядку денному політиків і різних організацій. У Паризькій угоді, підписаній у 2016 році, наголошується на необхідності декарбонізації та важливості скорочення CO₂ для сталого розвитку. Оскільки екологічна політика може мати довгостроковий вплив на змінні, що містять одиничні корені, важливо розуміти стохастичні властивості викидів CO₂.

Боротьба з посиленням «парникового ефекту», в тому числі скорочення викидів діоксиду вуглецю, перехід на шлях низьковуглецевого розвитку відповідно до європейського екологічного законодавства та національних інтересів – це те завдання, яке сьогодні стоїть перед нашою державою, адже однією з вимог, що висуваються в Угоді про асоціацію від 27.06.2014 р., є встановлення процедур моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів від енергетичних установок. Енергетичною стратегією до 2050 р. передбачено досягнення Україною вуглецевої нейтральності енергетичного сектору до 2050 р.

Наявність достовірних регіональних даних щодо обсягів викидів діоксиду вуглецю є важливим фактором для оцінки та моделювання їх майбутньої динаміки, а також зумовлених ними кліматичних змін відповідного масштабу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Багато дослідників протягом тривалого періоду

часу вивчали викиди діоксиду вуглецю, а саме їх джерела і поглиначі (Choomkong, Sirikunpitak, Darnsawasdi & Yordkayhun, 2017), постійність (Pata & Aydin, 2023), часові ряди викидів для глобальних атмосферних досліджень (EDGAR) з 1970 по 2021 рік (Crippa та ін., 2022), економіко-статистичне моделювання (Горошкова, Хлобистов & Трофимчук, 2019), тимчасове скорочення під час COVID-19 (Quére та ін., 2020; Huang, Saydaliev, Iqbal & Irfan, 2022).

Науковцями досліджувалися і взаємозв'язки викидів CO₂ із споживанням енергії, економічним зростанням, щільністю населення, зовнішньою торгівлею, урбанізацією, людським капіталом, достатком (Dietz & Rosa, 1997; Hossain, 2012; Liu, Kumail, Ali & Sadiq, 2019; García-Sanz-Calcedo, 2019; Zou & Zhang, 2020; Eyuboglu & Uzar, 2020; Uzair, Gong, Ubaid, Asmi & Muhammad, 2020; Anwar, Younis & Ullah, 2020; Mukhlis, 2020; Huang, Saydaliev, Iqbal & Irfan, 2022). Географія вивчення викидів діоксиду вуглецю теж вражає та охоплює всі куточки світу: Тайланд (Choomkong, Sirikunpitak, Darnsawasdi & Yordkayhun, 2017), країни БРИКС (Ghouali, Belmokaddem, Sahraoui & Guellil, 2015) і Великої сімки (США, Великобританія, Японія, Канада, Німеччина, Франція та Італія) (Pata & Aydin, 2023), міські райони США (Fragkias, Lobo, Strumsky & Seto, 2013), 30 провінцій Китаю (Zou & Zhang, 2020), Пакистан (Liu, Kumail, Ali & Sadiq, 2019), Туреччина (Eyuboglu & Uzar, 2020), Китай (Shan та ін., 2018), Індія, Пакистан та Бангладеш (Uzair, Gong, Ubaid, Asmi & Muhammad, 2020), Японія (Hossain, 2012), Індонезія (Mukhlis, 2020), країни Далекої Східної Азії (Anwar, Younis & Ullah, 2020), України (Горошкова, Хлобистов & Трофимчук, 2019).

Науковцями визначено, що з часом зростання споживання енергії призводить до збільшення викидів вуглекислого газу, в результаті чого навколишнє середовище буде більше забрудненим (Hossain, 2012), зростання населення та економічний розвиток посилять викиди

парникових газів (Dietz & Rosa, 1997). Uzair, Gong, Ubaid, Asmi & Muhammad (2020) підтверджено гіпотезу екологічної кривої Кузнеця про U-подібний зв'язок між CO₂ і економічним розвитком, встановлено наявність короткострокових причинно-наслідкових зв'язків з економічним розвитком, щільністю населення та споживанням викопного палива з CO₂; CO₂ має негативний вплив на економічний розвиток, тоді як вплив викопного палива, загального експорту на економічний розвиток у довгостроковій перспективі позитивний; у короткостроковій перспективі CO₂, споживання викопного палива спричиняють економічний розвиток; викиди CO₂ негативно впливають на щільність населення, тоді як економічний розвиток позитивно впливає на щільність населення в довгостроковій перспективі. Результати Zou & Zhang (2020) показують, що економічне зростання може значно зменшити викиди вуглекислого газу, хоча рівень економічного зростання став позитивною рушійною силою викидів вуглекислого газу, проте скорочення викидів істотно не вплине на економічне зростання. Euyuboglu & Uzar (2020) серед причин викидів називають туризм, економічне зростання та споживання енергії. Крім того, викиди, економічне зростання та споживання енергії є причинами розвитку туризму в довгостроковій перспективі (адже туристи звертають увагу на екологічну безпечність країни, якою вони подорожують). Згідно з результатами дослідження Huang, Saydaliev, Iqbal & Irfan (2022) монетарні інструменти зростання посилюють несприятливий вплив викидів, а через посилення монетарної політики – шкідливий вплив викидів був знижений (двонаправлена причинність між грошово-кредитною політикою та рівнями викидів).

Проте питання висвітлення обсягів викидів діоксиду вуглецю на регіональному рівні, зокрема й на території Житомирської області, не знайшло свого відображення в аналізованих літературних джерелах.

Мета дослідження – висвітлення та оцінка обсягів викидів діоксиду вуглецю, як чинника кліматичних змін, в атмосферне повітря Житомирської області від стаціонарних джерел за період 2005 – 2021 рр., а також прогнозування їх обсягів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Починаючи з 2005 р. до атмосферного повітря Житомирської області надійшло 11628,7 тис. т

діоксиду вуглецю. Мінімальні кількості викидів – 236,4 тис. т – спостерігалися у 2005 р., максимальні – 876,2 тис. т – у 2009 р. Нарощення обсягів викидів діоксиду вуглецю характерне саме для періоду 2005 – 2009 рр. (у 3,7 рази), а також 2015 – 2018 рр. (у 1,3 рази). Відмічається зменшення обсягів викидів у 1,2 рази у період з 2009 р. по 2011 р., у 1,4 рази – з 2012 р. по 2015 р. та у 1,1 рази починаючи з 2018 р. (рис. 1). Відмітимо, що обсяги викидів діоксиду вуглецю у 2016 – 2021 рр. перевищували рівень 2015 р., а їх відповідні значенням становили від 111% (2016 р.) до 130% (2018 р.), а у 2021 р. – 114,9% рівня 2015 р.

Викиди діоксиду вуглецю є одним з головних чинників змін клімату (Herasymchuk & Valerko, 2020; Пацева, Алпатова, Рибак, Циганенко-Дзюбенко & Медвідь О., 2022). Так, попередніми нашими дослідженнями визначено, що на території м. Житомир за період 2000 – 2022 рр. років температура повітря збільшилася на 1,9°C порівняно з кліматичною нормою (за період 2000 – 2010 років підвищення температури повітря склало 1,7°C (Herasymchuk & Valerko, 2020), а за 2011 – 2020 років – 3,5°C), а відхилення від кліматичної норми (6,9°C) становило від 0,9 (2004 р.) до 3,5 (2020 р.)°C. За період 2004–2014 рр. середньорічна температура по місту Коростень підвищилася з 7,6 до 9,0°C (Валерко, 2015), м. Звягель за період 2000 – 2017 рр. – на 1,5 °C відносно норми (Герасимчук, Валерко & Мартенюк, 2018).

Обсяги викидів діоксиду вуглецю від стаціонарних джерел забруднення не рівномірно розподілялися в межах адміністративно-територіальних одиниць Житомирської області (рис. 2, 3). Мінімальні обсяги викидів діоксиду вуглецю за період спостережень – 0,1 тис. т – мали місце у Бердичівському (2012 р.), Ємільчинському (2012 – 2014 рр.), Лугинському (2014р.),Малинському(2016р.)таЧерняхівському (2010–2012 рр. та 2014р.) районах, максимальні – 92,9 тис. т – Бердичівському районі (2014 р.) (рис. 3). Що стосується міст, то мінімальні обсяги викидів були характерні для м. Новоград-Волинський у 2014 р., максимальні – 359,1 тис. т – для м. Житомир у 2010 р. (рис. 2).

В цілому за період 2010 – 2020 рр. частка районів у загальних обсягах викидів діоксиду вуглецю по області складала 33,2%, міст – 66,8%. В розрізі років частка районів у загальних обсягах викидів

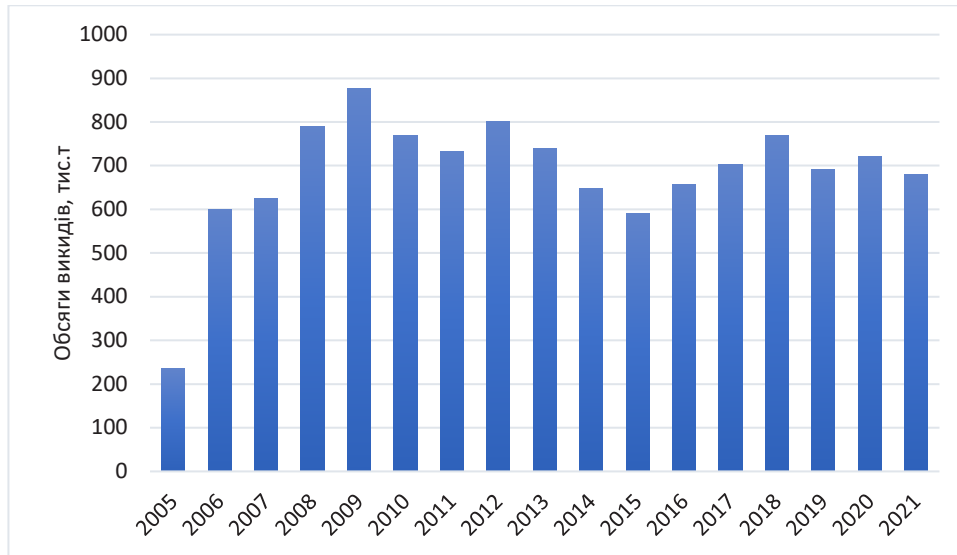


Рис. 1. Обсяги викидів діоксиду вуглецю в атмосферне повітря Житомирської області від стаціонарних джерел, 2010–2021 рр.

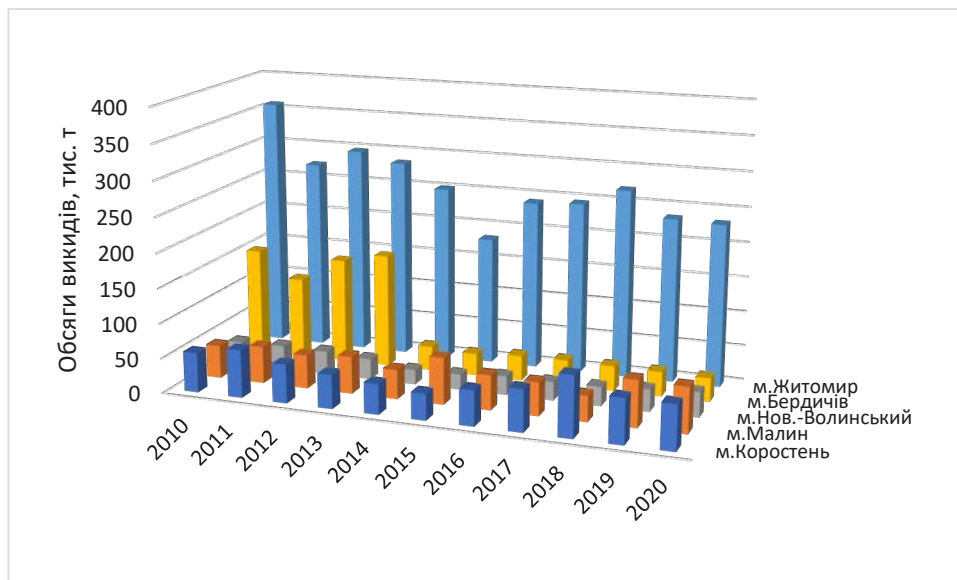


Рис. 2. Обсяги викидів діоксиду вуглецю в розрізі міст Житомирської області, 2010 – 2020 рр.

діоксиду вуглецю по області варіювала від 15,3% (2010 р.) до 41,9% (2015 р.), міст – від 58,1% (2015 р.) до 84,7% (2010 р.). У 2020 р. райони привносили 39,8% обсягів діоксиду вуглецю по загальних по області, міста – 60,2% (рис. 4).

В розрізі окремих років від 35,7% (2019 р.) до 60,7% (2013 р.) адміністративно-територіальних одиниць області привносили менше 1% до загальних обсягів викидів діоксиду вуглецю по області, від 7,1% (2013 р. і 2016 р.) до 25% (2018 р. і 2020 р.) АТО – 1,01 – 2% до загальних обсягів викидів по області, від 3,6% (2012 р.

і 2014 р.) до 17,9% (2019 р.) АТО – 2,01 – 3% до загальних обсягів викидів по області, від 3,6% до 10,7% АТО – 3,01 – 4%, 4,01 – 5%, 6,01 – 7%, 7,01 – 8%, 9,01 – 10% і більше 10,1% до загальних обсягів викидів по області.

У 2021 р. до атмосферного повітря новоствореного Бердичівського району надійшло 103551 т викидів діоксиду вуглецю, Житомирського – 325708 т, Коростенського – 135915 т, Новоград-Волинського – 114042 т, що становило 15,2%, 48%, 20% і 16,8% обласного рівня відповідно (рис. 5).

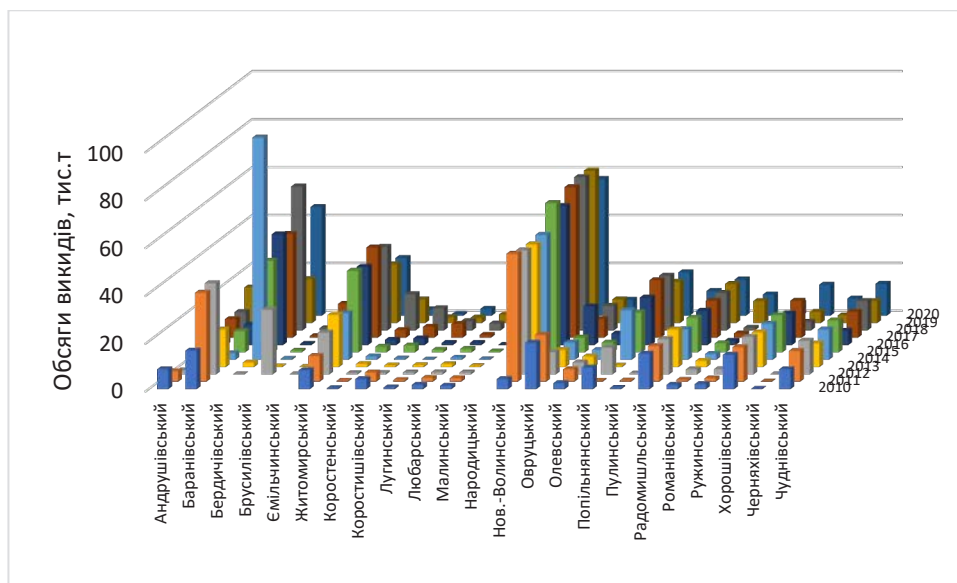


Рис. 3. Обсяги викидів діоксиду вуглецю в розрізі районів Житомирської області, 2010 – 2020 рр.

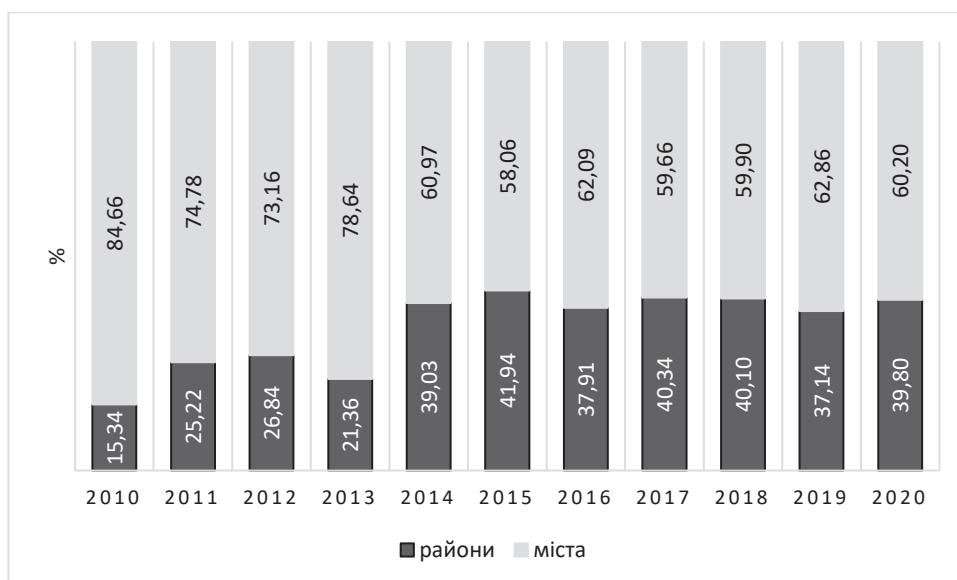


Рис. 4. Внесок міста та районів до загальних обсягів викидів діоксиду вуглецю по області, 2010–2020 рр.

Важливим для оцінки динаміки обсягів викидів діоксиду вуглецю є й перевищення середнього по області рівня останніх. Визначено, що за період 2010 – 2020 рр. перевищення середнього по області рівня викидів діоксиду вуглецю від 1,3 до 11,2 разів мали місце у всіх містах (м. Житомир – від 8,7 до 11,2 разів, м. Бердичів – від 1,3 до 5,5 разів, м. Коростень – від 1,7 до 3,1 разів, м. Малин – від 1,3 до 3,2 разів, м. Новоград-Волинський – від 0,9 до 1,4 рази), за виключенням м. Новоград-Волинський (2014 р. і 2017 р.)

та у 1,7 – 3 рази у Новоград-Волинському районі (за виключенням 2010 р.). Також перевищення середнього по області рівня викидів діоксиду вуглецю спостерігалося у Баранівському – у 1,3 рази (2011 р., 2012 р.), Бердичівському – у 1,7 – 3,7 рази (2014–2018 рр. і 2020 р.) та Житомирському районах – у 1,2 – 1,6 разів (2015 – 2018 рр.).

Наступним етапом досліджень стало побудова точкових діаграм з 6-ма видами апроксимаційної залежності (лінійна, поліноміальна

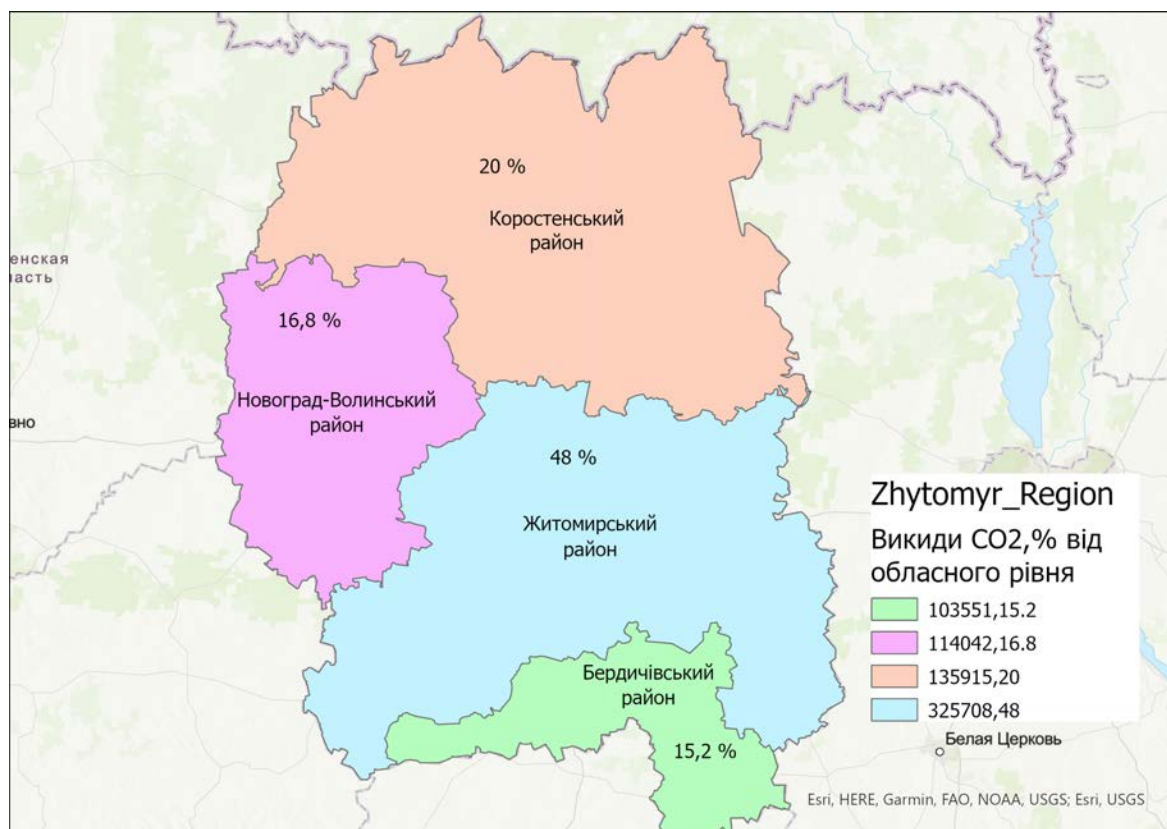


Рис. 5. Обсяги викидів діоксиду вуглецю та внесок районів до загальних обсягів по Житомирській області, 2021 р.

Таблиця 1

Результат ранжування регресійних моделей за значенням R^2

Вид апроксимації	Рівняння регресійної моделі	Значення R^2	Ранг	Значення похибки	Ранг	Сума рангів
Лінійна	$y = 7,8863x + 613,06$	0,0832	6	13,19	3	9
Поліноміальна 2-го ступеня	$y = -3,1637x^2 + 64,833x + 432,73$	0,3375	3	12,13	1	4
Поліноміальна 3-го ступеня	$y = 0,9046x^3 - 27,589x^2 + 245,76x + 123,35$	0,7118	1	387,75	6	7
Експонентна	$y = 553,86e^{0,0201x}$	0,1257	5	14,92	4	9
Степенева	$y = 431,35x^{0,2187}$	0,3689	2	15,71	5	7
Логарифмічна	$y = 93,916\ln(x) + 498,94$	0,2929	4	13,08	2	6

2-го та 3-го ступеня, експонентна, логарифмічна та степенева) з величинами достовірності (R^2), перевірка достовірності проведених розрахунків за побудованими моделями, розрахунок загальної похибки та ранжування побудованих моделей (табл. 1).

Перший ранг отримала поліноміальна модель 3-го ступеню з рівнянням $y = 0,9046x^3 - 27,589x^2 + 245,76x + 123,35$, оскільки її значення R^2 виявилось максимальним серед всіх інших і становило 0,7118; та поліноміальна модель 2-го ступеню з рівнянням $y = -3,1637x^2 + 64,833x + 432,73$, оскільки має найменшу похибку – 12,13.

Для остаточного результату щодо доцільності використання однієї з побудованих моделей для прогнозування на основі даних щодо рангів за значенням R^2 та загальної похибки проведене зведене ранжування, за результатами якого по дві моделі (поліноміальна 2-го ступеня і степенева та лінійна і експонентна) отримали однакові суми рангів – 7 та 9 відповідно, логарифмічна модель отримала 6 ранг, найменша сума рангів – 4 – у поліноміальній моделі 2-го ступеня, тому для прогнозування будемо використовувати саме її. Отриманий графік прогнозу обсягів викидів діоксиду вуглецю представлено на рис. 6.

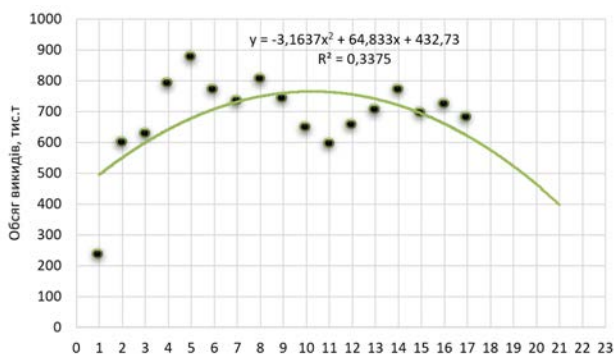


Рис. 6. Прогноз обсягів викидів діоксиду вуглецю на чотири періоди вперед

За здійсненим прогнозом у наступні періоди обсяги викидів діоксиду вуглецю від стаціонарних джерел в атмосферне повітря Житомирської області будуть зменшуватися і становитимуть 574,7 тис. т у 2023 р., 522,5 тис. т у 2024 р. та 493,9 тис. т у 2025 р.

Проте, варто відмітити, що досліджувалися лише викиди від стаціонарних джерел забруднення, не враховуючи пересувних та обсягів викидів, зумовлених військовими діями російської федерації.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Починаючи з 2005 р. до атмосферного повітря Житомирської області надійшло 11628,7 тис. т діоксиду вуглецю, а його граничні значення відповідали 2005 р. (236,4 тис. т) та 2009 р. (876,2 тис. т). Обсяги викидів діоксиду вуглецю у 2016 – 2021 рр. перевищували рівень 2015 р., а їх відповідні значенням становили від 111% (2016 р.) до

130% (2018 р.), а у 2021 р. – 114,9%. Відмічено нерівномірний розподіл обсягів викидів діоксиду вуглецю від стаціонарних джерел забруднення в межах адміністративно-територіальних одиниць Житомирської області: мінімальні значення – 0,1 тис. т – мали місце у Бердичівському (2012 р.), Ємільчинському (2012 – 2014 рр.), Лугинському (2014 р.), Малинському (2016 р.) та Черняхівському (2010 – 2012 рр. та 2014 р.) районах та м. Новоград-Волинський (2014 р.) – 21,6 тис. т, максимальні – 92,9 тис. т – Бердичівському районі (2014 р.) та у м. Житомир (2010 р.) – 359,1 тис. т. Частка районів у загальних обсягах викидів діоксиду вуглецю по області складала 33,2%, міст – 66,8% (у 2021 р. внесок новостворених районів склав 15,2% (Бердичівський), 48% (Житомирський), 20% (Коростенський), 16,8% (Новоград-Волинський)). За період 2010 – 2020 рр. перевищення середнього по області рівня викидів діоксиду вуглецю від 1,3 до 11,2 разів мали місце у всіх містах, за виключенням м. Новоград-Волинський (2014 р. і 2017 р.) та у 1,7 – 3 рази у Новоград-Волинському районі (за виключенням 2010 р.). За здійсненим прогнозом у наступні періоди обсяги викидів діоксиду вуглецю від стаціонарних джерел в атмосферне повітря Житомирської області будуть зменшуватися і становитимуть 574,7 тис. т у 2023 р., 522,5 тис. т у 2024 р. та 493,9 тис. т у 2025 р.

У перспективі подальших досліджень – оцінка обсягів викидів діоксиду вуглецю від пересувних джерел забруднення та зумовлених військовим вторгненням рф.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Anwar A., Younis M., Ullah I. Impact of Urbanization and Economic Growth on CO₂ Emission: A Case of Far East Asian Countries. *Int J Environ Res Public Health*. 2020. 17(7):2531. DOI: 10.3390/ijerph17072531.
2. Choomkong A., Sirikunpitak S., Darnsawasdi R., Yordkayhun S. A study of CO₂ Emission Sources and Sinks in Thailand. *Energy Procedia*. 2017. 138. P. 452–457. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.10.198.
3. Crippa M., Guizzardi D., Banja M., Solazzo E., Muntean M., Schaaf E., Pagani F., Monforti-Ferrario F., Olivier J., Quadrelli R., Risquez Martin A., Taghavi-Moharamli P., Grassi G., Rossi S., Jacome F. O. D., Branco A., San-Miguel-Ayanz J., Vignati E. CO₂ emissions of all world countries. Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2022. DOI: 10.2760/730164.
4. Dietz T., Rosa E.A. Effects of population and affluence on CO₂ emissions. *PNAS*. 1997. 94 (1). P. 175–179. DOI: 10.1073/pnas.94.1.175.
5. Eyuboglu K., Uzar U. The impact of tourism on CO₂ emission in Turkey. *Current Issues in Tourism*. 2020. 23(13). P. 1631-1645. DOI: 10.1080/13683500.2019.1636006.
6. Fragkias M., Lobo J., Strumsky D., Seto K.C. Does Size Matter? Scaling of CO₂ Emissions and U.S. Urban Areas. *PLoS ONE*. 2013. 8(6): e64727. DOI: 10.1371/journal.pone.0064727.
7. García-Sanz-Calcedo J. Study of CO₂ emissions from energy consumption in Spanish hospitals. *Vibroengineering PROCEDIA*. 2019. 26. P. 46–51. DOI: 10.21595/vp.2019.20965.

8. Ghouali Y.Z., Belmokaddem M., Sahraoui M.A., Guellil M.S. Factors Affecting CO₂ Emissions in the BRICS Countries: A Panel Data Analysis. *Procedia Economics and Finance*. 2015. 26. P. 114–125. DOI: 10.1016/S2212-5671(15)00890-4.
9. Herasymchuk L.O., Valerko R.A. Coverage of climate change trends in Zhytomyr over a 19-year period. *Scientific developments of Ukraine and EU in the area of natural science* : Collective monograph. Riga : Baltija Publishing, 2020. P. 85–101. DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-588-73-0/1.6>.
10. Hossain S. An Econometric Analysis for CO₂ Emissions, Energy Consumption, Economic Growth, Foreign Trade and Urbanization of Japan. *Low Carbon Economy*. 2012. 3(3A). P. 92–105. DOI: 10.4236/lce.2012.323013.
11. Huang W., Saydaliev H.B., Iqbal W., Irfan M. Measuring the Impact of Economic Policies on CO₂ Emissions: Ways To Achieve Green Economic Recovery In the Post-COVID-19 Era. *Climate Change Economics*. 2022. 13(03), 2240010. DOI: 10.1142/S2010007822400103.
12. Liu Y., Kumail T., Ali W., Sadiq F. The dynamic relationship between CO₂ emission, international tourism and energy consumption in Pakistan: a cointegration approach. *Tourism Review*. 2019. 74(4). P. 761–779. DOI: 10.1108/TR-01-2019-0006.
13. Mukhlis M. The Causality between Human Capital, Energy Consumption, CO₂ Emissions, and Economic Growth: Empirical Evidence from Indonesia. *International Journal of Energy Economics and Policy*. 2020. 9(2). P. 98–104. DOI: 10.2139/ssrn.3626060.
14. Pata U.K., Aydin M. Persistence of CO₂ emissions in G7 countries: a different outlook from wavelet-based linear and nonlinear unit root tests. *Environ Sci Pollut Res*. 2023. 30. P. 15267–15281. DOI: 10.1007/s11356-022-23284-2.
15. Quéré C.L., Jackson R.B., Jones M.W., Smith A.J.P., Abernethy S., Andrew R.M., De-Gol A.J., Willis D.R., Shan Y., Canadell J.G., Friedlingstein P., Creutzig F., Peters G.P. Temporary reduction in daily global CO₂ emissions during the COVID-19 forced confinement. *Nature Climate Change*. 2020. 10. P. 647–653. DOI: 10.1038/s41558-020-0797-x.
16. Shan Y., Guan D., Zheng H., Ou J., Li Y., Meng J., Mi Z., Liu Z. & Zhanget Q. China CO₂ emission accounts 1997–2015. *Sci Data*. 2018. 5, 170201. DOI: 10.1038/sdata.2017.201.
17. Uzair M.A., Gong Z., Ubaid M.A., Asmi F., Muhammad R. CO₂ emission, economic development, fossil fuel consumption and population density in India, Pakistan and Bangladesh: A panel investigation. *Finance and Economics*. 2020. 27(1). P. 18–31. DOI: 10.1002/ijfe.2134.
18. Zou S., Zhang T. CO₂ Emissions, Energy Consumption, and Economic Growth Nexus: Evidence from 30 Provinces in China. *Mathematical Problems in Engineering*. 2020, 8842770. DOI: 10.1155/2020/8842770.
19. Валерко Р.А. Екологічна оцінка змін клімату на території м. Коростень Житомирської області. *Вісник ЖНАЕУ*. 2015. № 2(50), т. 1. С. 46–54. URL: <http://ir.znau.edu.ua/handle/123456789/3334> (дата звернення 14.10.2023).
20. Герасимчук Л.О., Валерко Р.А., Мартенюк Г.М. Тенденції зміни клімату на території м. Новоград-Волинський Житомирської області. *Наукові горизонти*. 2018. 2(65). С. 42–50. URL: <http://ir.znau.edu.ua/handle/123456789/9497> (дата звернення 14.10.2023).
21. Горошко Л.А., Хлобистов Є.В., Трофимчук, В.О. Економіко-статистичне моделювання детермінант динаміки забруднення довкілля України. *Економіка і організація управління*. 2019. 2(34). С. 46–55. DOI: 10.31558/2307-2318.2019.2.5.
22. Пацева І., Алпатова О., Рибак О., Циганенко-Дзюбенко І., Медвідь О. Озеленення даху як захід по адаптації зміни клімату на прикладі м. Житомир. *Проблеми хімії та сталого розвитку*. 2022. 3. С. 67–74. DOI: 10.32782/pcsd-2022-3-9.

REFERENCES:

1. Anwar, A., Younis, M., & Ullah, I. (2020). Impact of Urbanization and Economic Growth on CO₂ Emission: A Case of Far East Asian Countries. *Int J Environ Res Public Health*, 17(7):2531. DOI: 10.3390/ijerph17072531.
2. Choomkong, A., Sirikunpitak, S., Darnsawasdi, R., & Yordkayhun, S. (2017). A study of CO₂ Emission Sources and Sinks in Thailand. *Energy Procedia*, 138, 452–457. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.10.198.
3. Crippa, M., Guizzardi, D., Banja, M., Solazzo, E., Muntean, M., Schaaf, E. et al. (2022). CO₂ emissions of all world countries. Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2022. DOI: 10.2760/730164.
4. Dietz, T., & Rosa, E.A. (1997). Effects of population and affluence on CO₂ emissions. *PNAS*, 94 (1), 175–179. DOI: 10.1073/pnas.94.1.175.
5. Eyuboglu, K., & Uzar, U. (2020). The impact of tourism on CO₂ emission in Turkey. *Current Issues in Tourism*, 23(13), 1631–1645. DOI: 10.1080/13683500.2019.1636006.
6. Fragkias, M., Lobo, J., Strumsky, D., & Seto, K.C. (2013). Does Size Matter? Scaling of CO₂ Emissions and U.S. Urban Areas. *PLoS ONE*, 8(6): e64727. DOI: 10.1371/journal.pone.0064727.
7. García-Sanz-Calcedo, J. (2019). Study of CO₂ emissions from energy consumption in Spanish hospitals. *Vibroengineering PROCEDIA*, 26, 46–51. DOI: 10.21595/vp.2019.20965.

8. Ghouali, Y.Z., Belmokaddem, M., Sahraoui, M.A., & Guellil, M.S. (2015). Factors Affecting CO₂ Emissions in the BRICS Countries: A Panel Data Analysis. *Procedia Economics and Finance*, 26, 114–125. DOI: 10.1016/S2212-5671(15)00890-4.
9. Herasymchuk, L.O. & Valerko, R.A. (2020). Coverage of climate change trends in Zhytomyr over a 19-year period. *Scientific developments of Ukraine and EU in the area of natural science* : Collective monograph. Riga : Baltija Publishing. 85-101. DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-588-73-0/1.6>.
10. Hossain, S. (2012). An Econometric Analysis for CO₂ Emissions, Energy Consumption, Economic Growth, Foreign Trade and Urbanization of Japan. *Low Carbon Economy*, 3(3A), 92–105. DOI: 0.4236/lce.2012.323013.
11. Huang, W., Saydaliev, H.B., Iqbal, W., & Irfan, M. (2022). Measuring the Impact of Economic Policies on CO₂ Emissions: Ways To Achieve Green Economic Recovery In the Post-COVID-19 Era. *Climate Change Economics*, 13(03), 2240010. DOI: 10.1142/S2010007822400103.
12. Liu, Y., Kumail, T., Ali, W., & Sadiq, F. (2019). The dynamic relationship between CO₂ emission, international tourism and energy consumption in Pakistan: a cointegration approach. *Tourism Review*, 74(4), 761–779. DOI: 10.1108/TR-01-2019-0006.
13. Mukhlis, M. (2020). The Causality between Human Capital, Energy Consumption, CO₂ Emissions, and Economic Growth: Empirical Evidence from Indonesia. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 9(2), 98-104. DOI: 10.2139/ssrn.3626060.
14. Pata, U.K., & Aydin, M. (2023). Persistence of CO₂ emissions in G7 countries: a different outlook from wavelet-based linear and nonlinear unit root tests. *Environ Sci Pollut Res*, 30, 15267–15281. DOI: /10.1007/s11356-022-23284-2.
15. Quéré, C.L., Jackson, R.B., Jones, M.W., Smith, A.J.P., Abernethy, S., Andrew, R.M. et al. (2020). Temporary reduction in daily global CO₂ emissions during the COVID-19 forced confinement. *Nature Climate Change*, 10, 647-653. DOI: 10.1038/s41558-020-0797-x.
16. Shan, Y., Guan, D., Zheng, H., Ou, J., Li, Y., Meng, J. et al. (2018). China CO₂ emission accounts 1997–2015. *Sci Data*, 5, 170201. DOI: 10.1038/sdata.2017.201.
17. Uzair, M.A., Gong, Z., Ubaid, M.A., Asmi, F., & Muhammad, R. (2020). CO₂ emission, economic development, fossil fuel consumption and population density in India, Pakistan and Bangladesh: A panel investigation. *Finance and Economics*, 27(1), 18–31. DOI: 10.1002/ijfe.2134.
18. Zou, S., & Zhang, T. (2020). CO₂ Emissions, Energy Consumption, and Economic Growth Nexus: Evidence from 30 Provinces in China. *Mathematical Problems in Engineering*, 2020, 8842770. DOI: 10.1155/2020/8842770.
19. Valerko, R.A. (2015). Ekolohichna otsinka zmin klimatu na terytorii m. Korosten Zhytomyrskoi oblasti [The ecological assessment of climate changes on the territory of the city of Korosten of Zhytomyr region]. *Visnyk Zhytomyrskoho natsionalnoho ahroeklohichnoho universytetu - Bulletin of the Zhytomyr National Agroecological University*, 2(50), 46–54. Retrieved from <http://ir.znau.edu.ua/handle/123456789/3334> [in Ukrainian].
20. Herasymchuk, L.O., Valerko, R.A. & Marteniuk, H.M. (2018). Tendentsii zminy klimatu na terytorii m. Novohrad-Volynskiy Zhytomyrskoi oblasti [Climate change tendencies on the territory of the city of Novohrad-Volynskiy in Zhytomyr region]. *Naukovi horyzonty - Scientific Horizons*, 2(65), 42–50. Retrieved from <http://ir.znau.edu.ua/handle/123456789/9497> [in Ukrainian].
21. Horoshkova, L.A., Khlobystov, Ye.V., & Trofymchuk, V.O. (2019). Ekonomiko-statystychni modeliuvannia determinant dynamiky zabrudnennia dokillia Ukrainy [Economic-statistical modeling of determinant of dynamics of pollution in an environment of Ukraine]. *Ekonomika i orhanizatsiia upravlinnia – Economics and Organization of Management*, 2(34), 46–55. DOI: 10.31558/2307-2318.2019.2.5 [in Ukrainian].
22. Patseva I., Alpatova O., Rybak O., Tsyhanenko-Dziubenko I., & Medvid O. (2022). Ozelenennia dakhu yak zakhid po adaptatsii zminy klimatu na prykladi m. Zhytomyr . Problemy khimii ta staloho rozvytku [Rooftop gardening as an adaption measure of the climate changes a case study of Zhytomyr]. *Problemy khimii ta staloho rozvytku - Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 3, 67–74. DOI: 10.32782/pcsd-2022-3-9.