

the Sumy region, Ukraine. *Environmental & Socio-economic Studies*. 2022. Vol. 10 (3), P. 12–21. DOI: <https://doi.org/10.2478/environ-2022-0013>

27. Дані з повідільної бази даних лісівничо-таксаційних показників лісових ділянок ДП «Краснопільський лісгосп» (електронний файл). ВО «Укрдержліспроєкт», 2022.

28. State of Europe's Forests 2015. Forest Europe. URL: https://foresteurope.org/wp-content/uploads/2022/02/soef_21_12_2015.pdf

УДК 502:504.3.054:504.064

DOI <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2023.129.43>

ОСОБЛИВОСТІ КОМПЛЕКСНОГО УЗАГАЛЬНЕНОГО ОЦІНЮВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ ЯКОСТІ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

Ямборак Р.С. – к.геогр.н., доцент,

доцент кафедри хімії,

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»

Крачан Т.М. – к.х.н.,

в.о. завідувача кафедри хімії,

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»

Аналізуючи проблеми з моніторингом якості повітря в нашій державі, авторами запропоновано гнучку методуку архітектоніки узагальненого оцінювання. Повітря має постійну складову й міграційну компоненту, яка в кінцевому результаті може негативно впливати на загальний стан біосфери та здоров'я населення. В Україні функціональність державного моніторингу оцінювання атмосферного повітря достатньо обмежена, доступної інформації для широкого кола громадськості на даний момент часу практично не існує. Переважно в пунктах відбору проб повітря відсутній поділ завислих частинок на фракції залежно від розміру на PM_{10} і $PM_{2,5}$, що може мати відображення в результатах досліджень. Крім того, українська система моніторингу якості повітря тривалий час не оновлювалася відповідно до діючих європейських критеріїв. Тому існуюча сьогодні організація та методологія спостережень не відповідає стандартам ЄС. У законодавстві України в частині фіксації нормативів якості повітря недостатньо врегульованим залишається характеристика вмісту твердих частинок пилу (PM – Particulate Matter), розділених на фракції в залежності від розмірів (PM_{10} ; $PM_{2,5}$; PM_{10}). А наявність саме таких забруднювачів в повітрі негативно впливає на здоров'я людини. Відповідно, на основі обробки даних відкритих джерел онлайн доступу, візуалізовано результати моніторингу проекту Еко Сіті. Нами адаптовано індекс якості повітря AQI , як комунікаційного та дослідницького параметру, для характеристики поточного стану забруднення повітря за погодинними часовими параметрами. Розраховано середньодобові показники якості атмосферного повітря залежно від вмісту завислих частинок PM_{10} і $PM_{2,5}$. З метою числового узагальнення, проведено ранжування показників якості повітря із застосуванням методу раціоналізації. Запропоновано використання інтегрального методу узагальненого оцінювання екологічного стану атмосферного повітря до конкретно визначених умов обраної географічної системи. Розроблено алгоритм проведення процедури комплексного оцінювання атмосферного повітря під впливом динамічних процесів твердих частинок відповідної території.

Ключові слова: біосфера, громадський моніторинг, індекс якості повітря, екологічна якість, інтегральне оцінювання, динаміка депонування забруднюючих частинок, раціоналізація структури атмосферних параметрів.

Yamborak R.S., Krachan T.M. Specifics of complex general assessment of the environmental quality of atmospheric air

According to analysis of the atmospheric air quality problems and their monitoring in our country, the authors propose a flexible methodology for the generalization of air quality assessment. The air is characterized by a component, which can negatively affect the general state of the biosphere and the health of the population. Functioning of the state monitoring of atmospheric air assessment is quite limited in Ukraine, there is practically no available information for a wide range of the public at this point in time. Mostly, at air sampling points, there is no separation of suspended particles into fractions depending on the size of PM10 and PM2.5, which may be reflected in the research results. The air quality monitoring system has not been updated in accordance with the European criteria for a long time. Therefore, the existing organization and methodology of observations does not correlate EU standards.

The characteristics of the content of solid dust particles (PM – Particulate Matter) which divided into fractions depending on size (PM1; PM, 5; PM10) remains insufficiently regulated in the legislation of Ukraine in terms of fixing air quality standards. The existence of these pollutants in the air negatively affects human health. One of the current projects implemented by public organizations in Ukraine is the Eko City project, the main purpose of which is to inform the public about the state of atmospheric air quality in the location of the site user. We have adapted the study of air quality index AQI as a communication and research parameter to characterize the current state of air pollution in hourly time parameters. Average daily indicators of atmospheric air quality were calculated depending on the content of PM10 and PM2.5 suspended particles. The integral method of assessment of the ecological state of atmospheric air depending on the defined conditions of the selected geographical system was proposed. The algorithm for assessment of atmospheric air under the influence of dynamic processes of solid particles of the relevant territory has been developed.

Key words: *biosphere, public monitoring, air quality index, ecological quality, integral assessment, dynamics of deposition of polluting particles, rationalization of the structure of atmospheric parameters.*

Постановка проблеми. Серед найголовніших екологічних проблем сталого розвитку біосфери чільне місце посідають: міграційна компонента кліматичних параметрів, хімічна складова утилізаційних процесів, динамічні процеси втрати біорізноманіття, істотне зменшення та часткове вимирання багатьох видів популяцій, закислення Світового Океану, руйнування озонового шару, урбанізаційні процеси як міських так і сільських територій, стрімкий розвиток генної інженерії. Відповідної руйнації зазнає атмосфера, оскільки вона є надзвичайно мобільною.

Актуальність дослідження. Відомо, що забруднення атмосферного повітря негативно впливає на здоров'я населення, зокрема деграційних процесів зазнають дихальні та серцево-судинні системи, зростає ризик загострення хронічних хвороб. Україна має найбільшу кількість смертей пов'язаних із забрудненням атмосферного повітря, на кожні 100 000 людей. Своєю чергою, за даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), 92% населення світу дихає забрудненим повітрям. Наявні методи оцінювання якості атмосфери надають можливість кількісно оцінити лише окремі параметри забруднюючих речовин в часовому просторі. Саме тому, лише комплексне узагальнення про якість повітря дає можливість отримати повну оцінку її екологічного стану в динаміці.

Постановка завдання. Метою досліджень є підвищення ефективності інтегрального багатокритеріального оцінювання екологічного стану досліджуваного об'єкту.

Задачами досліджень є виконання комплексного автоматизованого оцінювання атмосфери з обґрунтуванням числової моделі оцінки та адекватності пропонованого алгоритму рівням антропогенної трансформації.

Об'єктом досліджень є динаміка екологічної якості атмосферного повітря досліджуваного середовища із використанням статистичних даних громадської мережі моніторингу якості повітря Eko City.

Предметом досліджень є параметри твердих частинок (PM – Particulate Matter), розділених на фракції в залежності від розмірів (PM1; PM5; PM10).

Основні результати досліджень отримані на підставі екологічних спостережень із застосуванням системного аналізу динаміки твердих забруднюючих часточок атмосфери. Аналітичні дослідження виконані методами числового математичного моделювання із використанням відповідних програмних продуктів.

Науковою новизною є застосування методики комплексного багатопараметричного оцінювання динаміки екологічного стану атмосфери досліджуваного сільського поселення в опалювальний період.

Практичним значенням проведеного дослідження є розробка алгоритму процедури комплексного оцінювання атмосферного повітря під впливом динамічних процесів твердих частинок (PM – Particulate Matter) відповідної території.

Виклад основного матеріалу дослідження. Згідно даних [1] Україна зобов'язалась впровадити положення Директиви 2008/50/ЄС [2] щодо контролю та оцінки якості атмосферного повітря, імплементація яких, зокрема, передбачає встановлення верхньої та нижньої межі оцінки, а також мети щодо зменшення впливу твердих частинок. На підставі [2], зокрема, оцінюється якість повітря за такими показниками, як тверді частинки пилу. Директива також встановлює основні граничні значення для захисту здоров'я населення: для PM10 середньорічне – 40 мкг/м³, 24-годинне граничне значення – 50 мкг/м³, не може перевищуватися більш ніж 35 разів протягом календарного року; для PM 2,5 цільове значення та граничне значення для етапу 1 – середньорічне – 25 мкг/м³; для PM 2,5 граничне значення для етапу 2 – середньорічне – 20 мкг/м³ [2]. Ці показники є важливою складовою моніторингу європейського індексу якості повітря. Тверді частинки – дрібний пил, розділений на фракції в залежності від розмірів. Частинки розміром до 10 мкм (PM10) мають розміри до 10 мкм і осідають в носі та гортані. Частинки розміром приблизно 2,5 мкм (PM2,5) потрапляють в легені при вдиху. Частинки розміром менші за 1 мкм (PM1) потрапляють на альвеоли і потім у кровоносну систему. Найнебезпечнішими частинками є частинки розмірами до 10 мкм, що можуть проникати глибоко в легені. Встановлено взаємозв'язок між збільшенням концентрації таких частинок у людському організмі і зростанням смертності населення. При використанні традиційних печей для обігріву та приготування їжі це є основним фактором ризику гострих респіраторних захворювань, хвороб легень. Тому, до стаціонарних джерел забруднення відносять не лише підприємства, генератори, електростанції, газозварювальне обладнання, але й, також, традиційні печі для обігріву, приготування їжі із використанням різного виду деревини для процесу горіння. Впровадження положень [2] надають змогу отримання інформації широкому колу громадськості за допомогою легкодоступних методів. З метою неперервності спостережень у просторі, територія країн-членів ЄС поділена на зони та агломерації відповідно до вимог чинного законодавства, оскільки покрити всю територію пунктами відбору проб нераціонально. Оцінювання здійснюється на підставі відбору проб фіксованого вимірювання (найбільш точне), індикаторних вимірювань та моделювання. Індикаторне вимірювання і моделювання передбачають отримання опосередкованих результатів. Однак, перевагою є їхня відносна дешевизна та можливість отримання результатів по всій території, а не у фіксованих пунктах відбору проб. Для цього встановлено нижній і верхній порогові оцінки. Для шістьох країн Східного партнерства, за фінансової підтримки Європейського Союзу, в Україні реалізується проект ENI SEIS II East. Програмою даного проекту передбачено проведення заходів у галузі моніторингу

повітря з наданням відповідного програмного забезпечення RAVEN. Паралельно із даним проектом, середземноморськими країнами втілено проект ENI SEIS II South. Основною метою даних проєктів є втілення принципів і практики Спільної екологічної інформаційної системи про навколишнє середовище (SEIS) [3, 4, 5]. На підставі виконання вимог Постанови від 14 серпня 2019 року № 827 «Деякі питання здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря» проведено оцінювання наявної мережі постів спостережень у відповідності до встановлених вимог якості.

В контексті посилення зусиль України щодо реалізації екологічної складової Угоди про асоціацію з Європейським Союзом, на розгляд Верховної Ради з питань екологічно політики та природокористування внесено законопроект № 7327 «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо державної системи моніторингу довкілля, інформації про стан довкілля (екологічної інформації) та інформаційного забезпечення управління у сфері довкілля». Реформа системи моніторингу довкілля забезпечить: доступ українців 24/7 до актуальної та достовірної інформації про стан повітря, води, лісу, радіаційний фон у будь-якому районі, населеному пункті чи вцілому по Україні на єдиній екологічній платформі «Екосистема»; діджиталізацію, розвиток цифрових і супутникових технологій, втілення ідей IT-індустрії у сфері моніторингу довкілля; узагальнення та систематизацію інформації про стан компонентів довкілля; взаємодію системи моніторингу довкілля України з аналогічними системами інших країн (перше читання) [6].

В свою чергу на сайті Міністерства екології та природних ресурсів України виведено перелік програмних продуктів в галузі охорони атмосферного повітря. Дані продукти призначені для розрахунків якості атмосфери, а не для процесів моніторингу довкілля. Альтернативним рішенням державному моніторингу є створення громадської мережі моніторингу якості повітря.

У сфері громадського екологічного моніторингу в Україні створено окремі IT-продукти, які в режимі реального часу інформують населення про якість атмосферного повітря. Одним із таких проєктів, що реалізується громадськими організаціями, є проєкт EcoInfo [7]. Проєкт є технічно і візуально привабливим, але при цьому відсутня методологія вимірювання якості повітря. Пропонований проєкт використовує трьохрівневу систему оцінювання: критично, помірно, дуже чисто (без опису меж вказаних рівнів) та практичної відсутності хронологічної шкали. Так, українську мережу громадського моніторингу якості повітря Eko City координує чеська громадська організація Arnika, z.s., яка розвиває проєкт «Чисте повітря для України». Реалізується даний проєкт в нашій державі з 2018 року сумісно із громадськими організаціями за фінансової підтримки Transition Promotion Program Міністерства закордонних справ Чеської Республіки та National Endowment for Democracy (USA) [8]. Оскільки система державного моніторингу створюється в Україні повільно і не в змозі надавати населенню миттєві значення про якість повітря, джерелом інформації про забруднення повітря є громадський моніторинг. Останнім часом в нашій державі встановлено близько 1000 громадських організацій (до кінця 2020 року громадяни встановили станції по всій країні, більшість яких контролюють PM_{2,5} та PM₁₀), які в режимі online відслідковують стан атмосфери 24/7. За інформацією кураторів Eko City, можливо здійснювати вимірювання за 19 параметрами забруднюючих речовин і попереджати населення про шкідливу концентрацію. Саме на вимірюванні концентрацій твердих частинок, озону, діоксиду нітрогену, діоксиду сульфуру та сполук вуглецю базується встановлення числового значення індексу якості повітря (AQI).

AQI – air quality index – індекс якості повітря, ця абревіатура використовується практично в усіх країнах для інформування громадськості про рівень забруднення повітря. При перевищенні індексу якості повітря величини 100, населення отримує попередження про можливий вплив на здоров'я. Індекс якості повітря AQI зазвичай формується за рівнями, кожен рівень має свій опис і характеристику, колірний код і стандартизоване інформаційне повідомлення про вплив на здоров'я населення:

– від 100 до 150 (жовтий) – якість повітря прийнятна; однак для деяких людей, надзвичайно чутливих до забруднення повітря може існувати помірний вплив на здоров'я. Активні діти та дорослі, а також люди з респіраторними захворюваннями повинні обмежити тривалі навантаження на вулиці;

– 151–200 (помаранчевий) – якість повітря нездорова для чутливих груп населення, які можуть відчувати наслідки для здоров'я. Населення, швидше за все, не постраждає. Активні діти та дорослі, а також люди з респіраторними захворюваннями повинні обмежити тривалі навантаження на вулиці;

– 201–250 (червоний) – кожна людина може почати відчувати наслідки для здоров'я; а члени чутливих груп можуть відчувати більш серйозні наслідки для здоров'я, а люди з респіраторними захворюваннями, такими як астма, повинні уникати тривалих навантажень на відкритому повітрі; всім іншим, особливо дітям, слід обмежити тривалі навантаження;

– 251–300 (фіолетовий) – дуже нездорова якість повітря, необхідно попередження про стан надзвичайної ситуації для здоров'я. Все населення, швидше за все, постраждає. Активні діти та дорослі, а також люди з респіраторними захворюваннями, такими як астма, повинні уникати будь-яких навантажень на вулиці; всім іншим, особливо дітям, слід обмежувати навантаження на відкритому повітрі [9].

Прилади є простими в налаштуванні, необхідно лише доступ WIFI, джерела живлення USB. Масштаб AQI базується на останніх стандартах Управління з охорони довкілля США. Всі вимірювання базуються на погодинних показниках. Отже, станції Еко Сіті є важливим джерелом цінної інформації про миттєвий стан атмосфери для широкого кола населення, відносно бюджетні, що дозволяє їх застосовувати у значно більшій кількості, ніж стаціонарні пости спостереження, і, відповідно, це є додатковим джерелом інформації із покриттям великої території.

Вагомим чинником впливу на екологічну якість атмосферного середовища є господарська діяльність людини. Наслідком такої діяльності є незворотні зміни повітряної оболонки з наступним порушенням зв'язків між компонентами досліджуваної системи, які формують, насамперед різноманітні хімічні речовини в різних агрегатних станах. Це стосується як кількісної характеристики (об'єму або маси забруднюючих речовин) так і процесів їх міграції, оскільки атмосферна компонента біосфери є надзвичайно мобільною.

Результати досліджень. При виконанні наших досліджень, користуючись даними забруднюючих речовин в часовому просторі, виділено найбільш характерні забруднювачі досліджуваного об'єкту із врахуванням фактору депонування. Показниками таких забруднювачів є вміст твердих частинок (PM – Particulate Matter – PM₁; PM_{2,5}; PM₁₀). Досліджуючи поведінку зазначених показників було відмічено тенденцію їхнього зростання в залежності від пори року із встановленням фактору депонування. Із встановленим фактором депонування за досліджуваний період, визначено кількісний депонуючий показник (в%) в осінньо-зимовий час та виконано порівняльну характеристику із іншими об'єктами спостережень [10]. На підставі середніх статистичних даних виокремлених забруднювачів за сезонним періодом у часовому просторі встановлено динаміку процесів міграції забруднюючих речовин

досліджуваного середовища. Враховуючи мобільність атмосферного простору, виділено антропогенний вид міграції забруднюючих речовин [11]. Встановлено, що антропогенна міграція забруднювачів насамперед зумовлена сільськогосподарською діяльністю людини і використанням деревного палива для приготування їжі та обігріву осель у холодну пору року. Причому, нерозчинні завислі частинки ультрадисперсних розмірів можуть тривалий час перебувати в атмосферному просторі та суттєво впливати на здоров'я людей. В подальшому, з метою числового узагальнення, проведено раціоналізацію показників забруднювачів досліджуваного середовища. Раціоналізацію показників екологічної якості проведено в декілька етапів. Перший етап – порівняльний. Числові значення забруднювачів атмосфери порівняно із відповідними значеннями індексу якості повітря AQI. Метод дієвий, оскільки досліджується невелика група показників за малий період спостережень. Користуючись співвідношенням C_i/AQI_i , виокремлено групу завислих твердих частинок PM₁; PM_{2,5}; PM₁₀ [7, 8, 9]. Другий етап характеризується обчисленням балів кратності (K_i), оціночного балу (B_i) та кількості випадків перевищення AQI_i окремих забруднювачів в часовому періоді. Третій етап характеризувався визначенням числового масиву бази даних за виконання умови, що частка проявлення лімітуючих рівнів забрудненості атмосферного повітря (AQI_i) перевищує 50%. За результатами проведених досліджень, отримано масив даних для подальшого інтегрального оцінювання екологічної якості досліджуваного об'єкту (табл. 1).

Згідно проведеного процесу раціоналізації нами визначено оптимальний числовий масив екологічних параметрів за відповідний період спостереження. Таким чином, окреслено доцільну кількість показників з подальшим їх перетворенням в інтенсивну форму комплексного оцінювання екологічної якості атмосфери вказаної території. Об'єктивність інтегрального оцінювання є основним визначальним фактором для створення моделі оцінювання якості повітря, оскільки маючи таку розрізнену кількість показників, стає неможливим зробити цілісне оцінювання, за умов постійної динаміки параметрів в часі [12]. Тому, з точки зору узагальнення параметрів використано системний підхід із використанням таких понять як властивості та співвідношення в досліджуваній системі. Це дозволяє характеризувати систему як групу об'єктів, об'єднуючи цим самим їх в новий об'єкт. При цьому кожна система повинна складатись із підсистем, частини якої утворюють єдине ціле. Між частинами підсистем повинен існувати взаємозв'язок, який задовільно описується математичними методами. І, насамкінець, сама досліджувана система є системою вищого порядку. Відповідно розробка науково обґрунтованої системи оцінювання якості атмосфери визначає необхідність математичного моделювання динаміки параметрів екологічної якості. Відповідно розроблено блок-схему поетапного інтегрального оцінювання. Насамперед, проведено визначення мети і модельних завдань із наступним розв'язком модельних завдань функції прогнозування бажаної якості досліджуваного середовища. Наступним кроком складено вхідну первинну модельну схему в часовому просторі. Точність такої моделі базується на врахуванні фізико-хімічних процесів, що відбуваються в навколишньому середовищі. Після цього виконано подальшу схематизацію розрахункових значень елементів моделі. Відповідно до теорії подібності обрано параметри моделі із встановленням кінцевих граничних умов. При цьому застосовано схему: екологічні параметри ↔ їхня математична модель (система математичних рівнянь) ↔ фізико-математична модель.

Висновки. Проведено обґрунтування достовірності запропонованої схематизації з кінцевою побудовою базової моделі із врахуванням зовнішніх чинників впливу на досліджувану модельну систему.

Таблиця 1
Динаміка екологічних параметрів в часовому просторі за період спостереження (2020–2021 – опалювальний сезон)

Місяць року	11	11	11	11	12	12	12	12	01	01	01	01	02	02	02	02	03	03
PM _{2,5} (середньо-добове)	9,1	14,2	20,3	17,8	16,8	18,7	8,3	22,4	29,1	21,6	8,7	26,1	20,5	16,8	10,3	17,1	6,0	0,5
PM ₁₀ (середньо-добове)	9,8	15,0	21,2	18,9	17,3	19,4	9,6	23,1	30,3	22,5	8,7	27,6	21,0	17,0	11,0	18,6	6,2	0,5
AQI (середньо-добове)	38	55	68	62	60	64	35	72	86	70	36	80	68	60	43	61	25	2

Відповідно в подальших дослідженнях розраховується єдиний параметр оптимізації, який слугує комплексним інтегральним показником еколого-критеріального оцінювання атмосферного стану в цілому. Таким чином, отримуємо загальний алгоритм комплексного критеріального оцінювання параметрів екологічної якості повітря з наступною функцією прогнозування.

Оскільки біосфера зазнає незворотних деградаційних процесів, проблема оцінювання екологічної якості її складових частин набуває важливого значення. Саме тому запропоновано інтегральне багатокритеріальне оцінювання екологічної якості атмосфери, при розробці якого встановлено динаміку депонування забруднюючих частинок в часовому просторі, проведено раціоналізацію структури атмосферних параметрів і в кінцевому результаті розроблено методику відповідного інтегрального багатопараметричного оцінювання екологічної якості атмосферного повітря.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Деякі питання здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря : постанова від 14 серпня 2019 р. № 827 / Кабінет міністрів України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/827-2019-%D0%BF#Text> (дата звернення: 15.01.23).
2. Про якість атмосферного повітря та чистіше повітря для Європи : Директива 2008/50/ЄС Європейського парламенту та Ради від 21 травня 2008 року / Верховна Рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_950#Text (дата звернення: 15.01.23).
3. Внедрение принципов и методов совместной системы экологической информации (SEIS) в странах «восточного партнерства». Проект ENI SEIS II в регионе «Восточного партнерства» (2016–2020). Флаер, ЕАОС. 2016 р.
4. Про основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року: Закон України від 28 лютого 2019 року № 2697-VIII / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Text> (дата звернення: 15.01.23).
5. Разработка совместной системы экологической информации со странами восточного партнерства. Информационный центр программы европейского соседства. Флаер, ЕАОС. 2015 р.
6. Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо державної системи моніторингу довкілля, інформації про стан довкілля (екологічної інформації) та інформаційного забезпечення управління у сфері довкілля : проект / Кабінет міністрів України. URL: <https://itd.rada.gov.ua/billInfo/Bills/pubFile/1284124> (дата звернення: 15.01.23).
7. Стан повітря в точці. *Ecoinfo*. URL: https://ecoinfo.pro/site/any_points (дата звернення: 01.10.21–30.01.23).
8. Все про повітря. Програма «Чисте повітря для України». URL: <https://cleanair.org.ua/> (дата звернення: 15.11.22).
9. Что такое AQI и почему его значение очень важно для экологического будущего страны. *Автокоприлад*. URL: <http://eco.aep.kiev.ua/> (дата звернення: 15.11.22).
10. Карта моніторингу якості повітря *Eco City*. URL: <https://eco-city.org.ua/?zoom=5&lat=50.748246&lng=24.181703&station=345&random=8443391> (дата звернення: 01.10.21–30.01.23).
11. Вихованський В.М. Середні величини і показники варіації. Львів : Вища школа, 1974. 325 с.
12. Климчик О.М., Шелудченко Б.А. Формалізація методу багатопараметричної еколого-критеріальної оцінки. *Статистичний моніторинг екологічного стану регіону, галузі* : матеріали науково-практичного семінару. Житомир, 1997. С. 42–47.