

## АНАЛІЗ КИСЛОТНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ АТМОСФЕРНИХ ОПАДІВ МІСТА ЧЕРНІВЦІ З ПОЗИЦІЙ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

Герещун Г.М.<sup>1</sup>, Хлистул Н.Я.<sup>1</sup>, Масікевич Ю.Г.<sup>2</sup>, Масікевич А.Ю.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Чернівецький факультет  
Національного технічного університету  
«Харківський політехнічний інститут»  
вул. Головна, 203-А, 58018, м. Чернівці  
geretsun@ukr.net;

<sup>2</sup>ВДНЗ України «Буковинський державний медичний університет»  
Театральна площа, 2, 58002, м. Чернівці, Україна  
ecolawkhpi@meta.ua

У статті наведено аналіз даних моніторингу атмосферних опадів. З'ясовано, що атмосферні опади в межах активного впливу автотранспортних комплексів утворюють екологічно небезпечні модифікації, які переносять на підстилаючу поверхню придорожньої зони весь комплекс забруднень. *Ключові слова:* моніторинг опадів, хімічний склад, урбанізована територія, екологічна небезпека.

**Анализ кислотных свойств атмосферных осадков города Черновцы с позиций экологической безопасности.** Герещун Г.М., Хлистул Н.Я., Масікевич Ю.Г., Масікевич А.Ю. В статье приведен анализ данных мониторинга атмосферных осадков. Выяснено, что атмосферные осадки в пределах активного воздействия автотранспортных комплексов образуют экологически опасные модификации и переносят на подстилающую поверхность придорожной зоны весь комплекс загрязнений. *Ключевые слова:* мониторинг осадков, химический состав, урбанизированная территория, экологическая опасность.

**Analysis of the acidic properties of precipitation of the city of Chernivtsi from the standpoint of environmental safety.** Heretsun H., Khlystun N., Masikevych Yu., Masikevych A. The article provides an analysis of precipitation monitoring data. It has been found that atmospheric precipitation, within the limits of the active influence of the motor transport complexes, form ecologically dangerous modifications and transfer the entire complex of pollution to the underlying surface of the roadside zone. *Key words:* monitoring of precipitation, chemical composition, urbanized territory, environmental hazard.

**Постановка проблеми.** Атмосферні опади посідають особливе місце в гідросфері Землі. Випадання води у вигляді дощів є найбільш важливим механізмом, завдяки якому основна кількість живих організмів отримує вологу. Однак інтенсифікація діяльності людини призвела до збільшення емісії в атмосферу газів і аерозолів антропогенного походження. Вимиваючись із атмосфери, забруднюючі речовини призводять до виникнення техногенно-трансформованих опадів. А тому атмосферні опади самі по собі починають відігравати роль чинника екологічної небезпеки.

**Актуальність дослідження.** Забруднення компонентів довкілля небезпечними хімічними речовинами є суттєвим чинником формування екологічної небезпеки. Контроль за екологічною безпекою опадів відіграє важливу роль для безпеки всіх живих організмів. Дослідження факторів екологічної небезпеки, зумовлених впливом атмосферних опадів, виявлення можливих екологічних криз в урбоєкосистемах має велике значення у розробленні першочергових заходів екологічної стабілізації урбанізованих територій.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Напрямок дослідження безпосередньо пов'язаний із визначальною необхідністю підвищення екологічної безпеки життєдіяльності. Робота відповідає «Державній цільовій програмі проведення моніторингу навколишнього природного середовища на період 2008–2012 рр.», затвердженій постановою КМУ від 5 грудня 2007 року № 1376 та Регіональним комплексним програмам з охорони навколишнього природного середовища «Екологія».

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Упродовж останніх років інтенсифікувались дослідження з проблем екологічної безпеки. Екологічна безпека в рамках держави розглядається як складова національної безпеки [1]. Проблема оцінки екологічного ризику як методу ідентифікації зон підвищеної небезпеки присвячено чимало наукових робіт провідних фахівців, у яких розглядаються різні підходи до його визначення [2–8]. У роботах [4; 7] здійснено обґрунтоване уточнення термінів щодо поняття екологічного ризику на основі причинно-наслід-

кових зв'язків. У дослідженнях [2; 4–6] представлено методологію комплексної оцінки екологічного ризику компонентів довкілля та запропоновано алгоритм оцінки безпеки екологічної системи з врахуванням ризику. Підходи до оцінки екологічного ризику погіршення стану водних екосистем запропоновано авторами досліджень [2; 4].

Також приділяється значна увага дослідженням хімічного складу опадів та умовам його формування. Наприклад, у роботі [9] зазначається, що дощова вода може нагромаджувати домішки одним із двох шляхів: шляхом «вимивання в хмарі» або завдяки процесам нижче хмар, які називаються «вимиванням опадами». Під час «вимивання опадами» відбувається накопичення в дощовій воді домішок, якими забруднений приземний шар атмосфери. У дослідженнях [8; 10] показано, що хімічний склад атмосферних опадів у містах значною мірою визначається динамікою повітряних потоків і кількістю викидів речовин-забруднювачів. Ба більше: атмосферні опади є надійним індикатором забруднення повітря в населених пунктах.

**Виділення не вирішених частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Аналіз наявних наукових досліджень дає змогу констатувати таке: за достатньої вивченості особливостей проявів екологічної небезпеки, наявності науково обґрунтованого підходу до вирішення проблем екологічної небезпеки, сформованої джерелами викидів забруднюючих речовин, роль атмосферних опадів як фактора формування екологічної небезпеки урбанізованих територій вивчена недостатньо.

**Новизна роботи** полягає у встановленні особливостей атмосферних опадів як об'єкта оцінки екологічної небезпеки.

**Методологічне або загальнонаукове значення** полягає в обґрунтуванні ролі атмосферних опадів як фактора формування екологічної небезпеки урбанізованих територій.

**Виклад основного матеріалу.** Сукупність природних та антропогенних факторів призводить до трансформації хімічного складу опадів, які стають джерелом небезпеки для функціонування природних екосистем. Найвідомішим проявом цього процесу є випадання кислотних дощів. У зв'язку з цим контроль за безпечністю атмосферних опадів є нагальною потребою сьогодення. Однак постійно контролювати весь спектр хімічних речовин, які присутні в дощовій воді, складно. Тому для оцінки екологічної безпеки атмосферних опадів необхідно обрати показник, який легко піддається контролю і характеризує комплексний вплив багатьох факторів. Таким показником, на наш погляд, може слугувати рН дощового розчину.

Співвідношення кислотних і основних сполук в опадах формує значення певного показника рН, за динамікою зміни якого можна орієнтовно оцінювати зміну екологічної безпечності опадів. Як свідчать

дані рис. 1, у теплий період року значення рН атмосферних опадів міста Чернівці є нижчими, ніж у холодний (за винятком 2008 року), тобто в теплий період зростає кислотність атмосферних опадів. Перепади є невеликими з максимальними значеннями різниці 0,62 одиниці. Стабільне пониження рН атмосферних опадів призводить до значень показника рН на рівні кислотних опадів, що завідомо робить їх екологічно небезпечними.

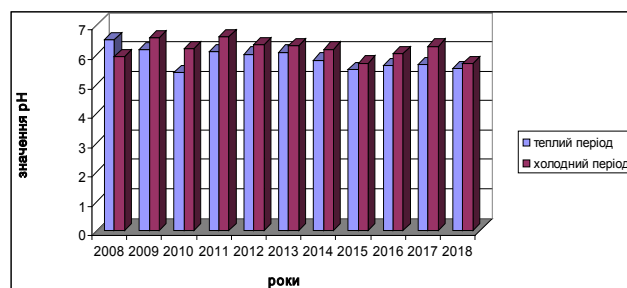


Рис. 1. Динаміка рН атмосферних опадів м. Чернівці за теплий і холодний періоди

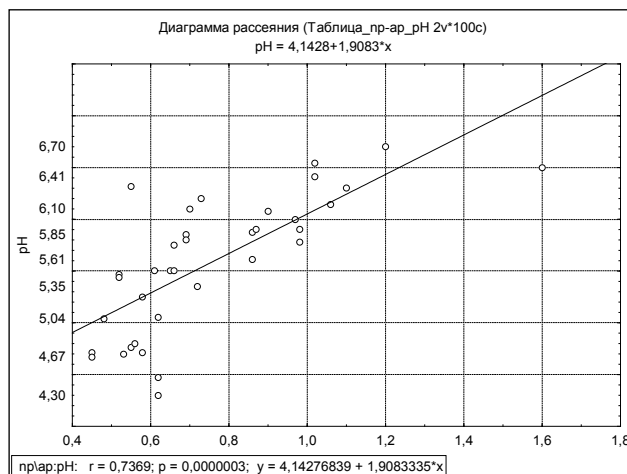


Рис. 2. Функціональна залежність NP/AP – рН для атмосферних опадів м. Чернівці

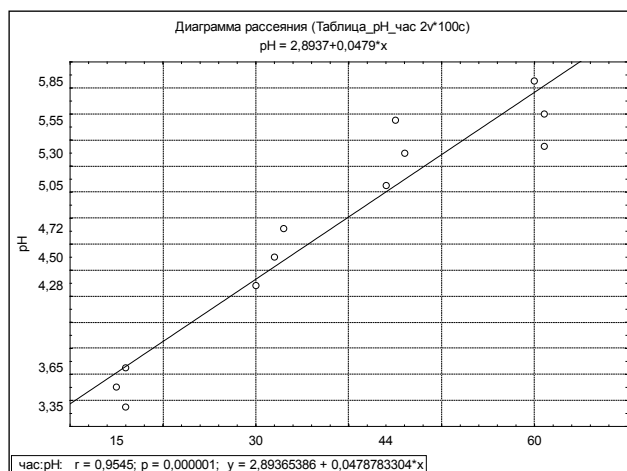


Рис. 3. Залежність величини рН від часу випадання опадів

Характеристику кислотно-основних властивостей опадів за допомогою значення рН легко і зручно проводити для орієнтовної оцінки екологічної небезпеки. Однак для більш детального розуміння виникнення небезпечних опадів треба враховувати внесок у кислотно-основний баланс окремих компонентів. Для оцінки співвідношення основних кислотоформуєчих і нейтралізаційних характеристик атмосферних опадів використовується відношення потенціалу нейтралізації (NP) до потенціалу закислення (AP).

Для міста Чернівці між відношенням NP/AP і рН встановлений позитивний лінійний кореляційний зв'язок із досить високим ступенем кореляційної спорідненості (рис. 2). Отримана графічна залежність демонструє комплексність показника рН, оскільки у відношення NP/AP входять основні кислототвірні аніони та їх основні нейтралізатори. Тому, знаючи рН атмосферних опадів, можна дати інтегральну характеристику якості території, не визначаючи повного хімічного складу опадів. Така закономірність може бути використана для прогнозу екологічної ситуації міського середовища, спричиненого як забрудненням атмосферного повітря, так і впливом на міські екосистеми екологічно-небезпечних опадів.

Для аналізу зміни показника рН у процесі випадання опадів було проведено вимірювання цього показника за різні часові періоди дощу.

За досліджуваній часовий проміжок (рис. 3) спостерігається підвищення показника рН опадів у 1,6 раз. Найбільш небезпечними для підстилаючої поверхні є перші порції опадів, рН яких коливається від 3,5 до 4,5. З часом кислотні компоненти вимиваються з атмосфери і рН опадів виходить за межі кислотних, піднімаючись до значення 5,6.

Кислоти, що поступають з опадами, негативно впливають на властивості ґрунту. Протони, попадаючи в ґрунт, заміщають катіони, які сорбційно пов'язані з колоїдними частинками ґрунту і внаслідок цього ці частинки мігрують у глибокі шари, будучи при цьому вже недоступними для коренів рослин. Окрім того, такі ґрунти починають володіти певним ступенем фітотоксичності.

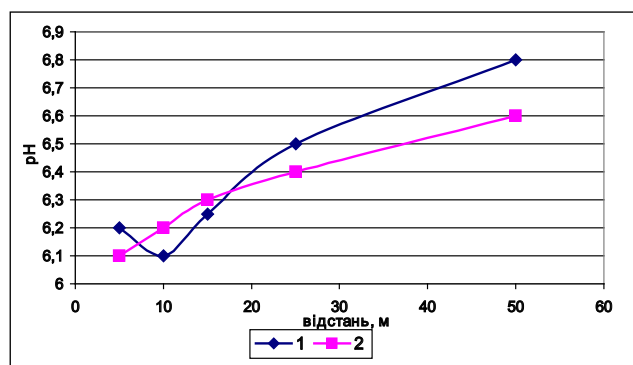


Рис. 4. Залежність рН ґрунтів від відстані до дороги:  
1 – з наявністю екрану зелених насаджень;  
2 – без екрану зелених насаджень

Проведений аналіз значення рН ґрунтів на придорожніх територіях (рис. 4) показує, що найнижчі значення рН ґрунту спостерігаються на відстані 5–15 метрів від дорожнього полотна з поступовим збільшенням рН аж до виходу на фонове значення, що є характерним для цього типу міських ґрунтів.

Різниця між значеннями рН на відстані 5 і 50 метрів становить 0,5–0,6 одиниць рН. Велику роль у формуванні рН ґрунту придорожньої території відіграють також зелені насадження. Наявність екрану зелених насаджень (кущів і дерев) приводить до підвищення показника рН загалом на 0,2 одиниці за однакового транспортного навантаження вулиці. Також наявність зелених насаджень дала змогу вже на відстані 32 метрів від лінії дороги досягнути того ж значення рН, що без зелених насаджень досягалось на відстані 50 м, тобто оформлення вулиці зеленими насадженнями сприятливо впливає на стан ґрунтового покриву навіть за високого транспортного навантаження вулиці.

Наслідком впливу атмосферних опадів на навколишні екосистеми є також надходження певних обсягів компонентів на певну територію. Розрахунок кількості надходження хімічних компонентів здійснюється за середньорічними або середньосезонними модулями.

Аналіз модулів надходження хімічних компонентів (рис. 5) показує, що найбільше з атмосферними опадами на територію міста Чернівці випадає сульфатів (3,12 т/км<sup>2</sup>) і гідрокарбонатів (3,14 т/км<sup>2</sup>). Найменшими є кількості випадання магнію (0,245 т/км<sup>2</sup>), амонію (0,3 т/км<sup>2</sup>) та хлоридів (0,28 т/км<sup>2</sup>). Співвідношення значної кількості надходження кислотних сполук і меншої кількості нейтралізуючих катіонів створює загрозу підкислення поверхонь внаслідок дії опадів. Нейтралізаційні здатності як ґрунту, так і поверхневих водних джерел мають певну буферну ємність стосовно закислення. Однак постійне надходження кислотних сполук із часом буде створювати загрозу підкислення ґрунту і водних джерел.

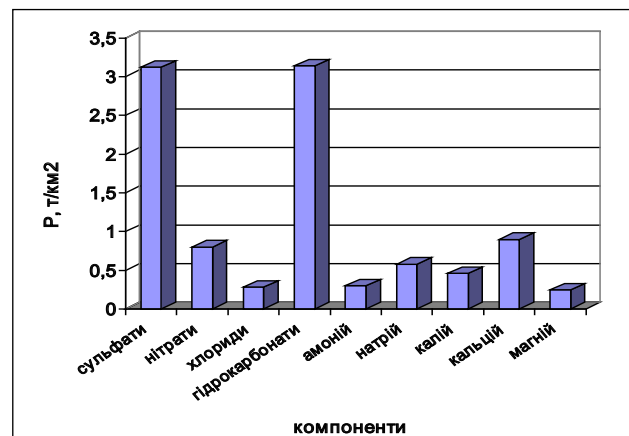


Рис. 5. Модулі надходження хімічних сполук з атмосферними опадами на територію м. Чернівці

Для ефективного прогнозування можливих екологічних загроз і прийняття управлінських рішень із покращення стану навколишнього середовища, необхідно провести якісну та кількісну оцінку рівня небезпеки. Враховуючи особливості атмосферних опадів і результати проведених досліджень, пропонується для орієнтовної оцінки можливих проявів небезпек, зумовлених атмосферними опадами, використовувати значення показника рН.

Формування величини показника рН атмосферних опадів відбувається внаслідок впливу цілого ряду природних і антропогенних чинників, тому його величина характеризує комплексний вплив багатьох факторів. За зміною показника рН легко відслідковувати зміну концентрації водневих іонів, не виконуючи складних підрахунків.

Діапазон значень рН для розподілу опадів за рівнями і ступенями екологічної небезпеки визначається шляхом аналізу безпеки прісних природних вод із різними значеннями кислотності, оскільки дощові води є частиною запасів прісної води на Землі. Для створення шкали оцінки можливих небезпек за значенням показника рН базувались на відомому значенні нейтрального середовища абсолютно чистої води та граничного показника рН опадів, нижче якого вони вважаються кислотними.

Проаналізувавши атмосферні опади міста Чернівці, відповідно до шкали рівнів екологічної небезпеки опадів за показником рН можна зазначити, що за середньорічними значеннями рН опади належать до допустимого рівня екологічної небезпеки. Водночас фіксується перехід від ступеня екологічної небезпеки «безпечний» (1998–2007 рр.) до ступеня «слабо небезпечний» із 2008 року.

**Головні висновки.** Для часової динаміки вмісту хімічних компонентів характерними є суттєві відмінності у складі опадів у холодний і теплий

періоди року. У теплий період року за великої кількості опадів вміст забруднюючих речовин є низьким. У холодний період року порівняно малі кількості опадів супроводжувались значно вищими за теплий період сумарними концентраціями речовин.

Атмосферні опади міста Чернівці показують тенденцію до стійкого закислення, що супроводжується зростанням вмісту деяких кислотоформуєчих аніонів, характеризуючись при цьому низькою нейтралізаційною здатністю.

Показано, що значення рН атмосферних опадів може служити критерієм оцінки екологічної безпеки міської території, яка піддається впливу техногенно-змінених атмосферних опадів.

Показано, що впродовж тривалості опадів 60 хв відбувається підвищення показника рН у 1,6 раз. Найбільш небезпечними для підстилаючої поверхні є перші порції опадів, рН яких коливається від 3,5 до 4,5. З часом кислотні компоненти вимиваються з атмосфери і рН опадів виходить за межі кислотних, піднімаючись до значення 5,6. Однак навіть при цьому в придорожній території кислотні характеристики опадів є екологічно небезпечними.

Проведений аналіз значення рН ґрунтів на придорожніх територіях показав, що найнижчі значення рН ґрунту спостерігаються на відстані 5–15 метрів від дорожнього полотна, з поступовим збільшенням рН аж до виходу на фонове значення, що є характерним для цього типу міських ґрунтів. Різниця між значеннями рН на відстані 5 і 50 метрів становить 0,5–0,6 одиниць рН.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Запропоновані методологічні підходи дадуть можливість наближено оцінювати екологічні небезпеки, що можуть виникати внаслідок впливу атмосферних опадів.

### Література

1. Шмандій В.М., Шмандій О.В. Екологічна безпека – одна з основних складових національної безпеки держави. *Екологічна безпека*. 2008. №1. С. 9–15.
2. Афанасьев С.А., Гродзинский М.Д. Методика оценки экологических рисков, возникающих при воздействии источников загрязнения на водные объекты. Киев, 2004. 59 с.
3. Добровольський В.В. Алгоритм визначення безпеки екологічної системи з врахуванням ризиків. *Наукові праці ДГУ ім. Петра Могили. Серія: «Екологія»*. 2008. Т. 87. Вип.74. С. 11–15.
4. Жукинський В.Н. Экологический риск и экологический ущерб качеству поверхностных вод: актуальность, терминология, количественная оценка. *Водные ресурсы*. 2003. Т. 30. № 2. С. 213–321.
5. Звягінцева Г.В. Методика з оцінки екологічних ризиків при забрудненні навколишнього природного середовища. *Вісник Донецького національного університету. Серія А: «Природничі науки»*. 2009. Вип. 2. С. 307–316.
6. Масенко О.Г., Поддашкін О.В., Рибалова О.В. Ієрархічний підхід до оцінювання екологічного ризику погіршення стану екосистем поверхневих вод України. *Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки: зб. наук. пр.* 2010. Вип. XXXII. С. 75–90.
7. Орел Д.С., Мальований М.С. До концепції екологічного ризику в Україні. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»: зб. наук. пр. Серія: «Хімія, технологія речовин та їх застосування»*. 2008. № 609. С. 285–289.
8. Рибалова О.В., Белан С.В., Варивода С.О. Визначення рівня екологічної небезпеки в регіонах України на основі оцінки екологічного ризику. *Збірка наукових праць*. 2010. Вип. 12. С. 132–142.
9. Юнге Х. Химический состав и радиоактивность атмосферы / Пер. с англ. В.Н. Петрова, А.Я. Прессмана. Москва: «Мир», 1965. 424 с.
10. Тарасова Т.Ф., Чаловская О.В. Оценка воздействия кислотных дождей на элементы экосистемы промышленного города. *Вестник Оренбургского государственного университета. Естественные и технические науки*. 2005. Вип. 10. С. 80–84.