



УДК 502/504

DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-44

ПОТЕНЦІОМЕТРІЯ, КОНДУКТОМЕТРІЯ І РЕФРАКТОМЕТРІЯ ЯК МЕТОДИ ЕКСПРЕС-КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ҐРУНТІВ І ПОВЕРХНЕВИХ ВОД У ЗОНАХ ВІДПОЧИНКУ ЛЮДЕЙ

Борисов О. О., інженер <https://orcid.org/0000-0002-1053-2989>

Кофанова О. В., д. пед. н., к. хім. н.

<https://orcid.org/0000-0002-9851-6392>

*Національний технічний університет України "Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"*

e-mail: alexina555@gmail.com

Анотація – на прикладі зон відпочинку людей у місті Києві, що розташовані поблизу напружених автодоріг, проаналізовано закономірності зміни їх екологічного стану. Запропоновано й обґрунтовано для експрес-контролю екологічного навантаження з боку автотранспортних потоків застосовувати методи потенціометрії, кондуктометрії, а також оптичні методи дослідження (наприклад, рефрактометрію). Досліджено фізико-хімічні характеристики поверхневих вод і ґрунтових витяжок на міських територіях рекреаційного призначення, вивчено їх динаміку. Проведено ранжування досліджуваних рекреаційних територій за допомогою запропонованого інтегрального індексу техногенного навантаження, враховано діяльність людей на цих територіях. Окреслено пріоритетні напрямки зниження ризику порушення здоров'я людей через шкідливий вплив викидів автотранспортних засобів на територіях, призначених для відпочинку й оздоровлення.

Ключові слова: автотранспортні засоби, відпрацьовані гази, екологічний ризик, забруднення довкілля, водні об'єкти, ґрунтовий покрив, ґрунт.

Вступ. До сучасних проблем людства належать багато екологічних проблем, серед яких, зокрема, збереження і сталий розвиток усіх компонентів навколишнього природного середовища. Однак складна екологічна ситуація, що найчастіше спостерігається у великих містах і на урбанізованих територіях, призводить до порушень і деградації природних екосистем і, як наслідок, до підвищення ризику захворювань населення. У зв'язку з цим у 2018 р. Верховною Радою України прийнято законопроект "Основні засади (стратегія) державної екологічної політики України на період до 2030 року" [1], який має на меті створити умови для поліпшення стану навколишнього природного середовища для життя й здоров'я людей, а також з метою впровадження збалансованої системи природокористування.



Постановка проблеми. Автотранспорт відіграє надзвичайно важливу роль у соціально-економічному розвитку будь-якої розвинутої країни. Але інтенсивний розвиток транспортної галузі безпосередньо пов'язаний зі зростанням обсягів споживання енергетичних ресурсів (переважно нафтового походження) і викидами з відпрацьованими газами шкідливих речовин (ШР) у довкілля, що призводить до зростання антропогенного тиску на навколишнє природне середовище.

Шкідливі речовини – інгредієнти відпрацьованих газів автотранспортних засобів (АТЗ) мають різні механізми й умови утворення під час роботи двигуна. Зокрема, Карбон(II) оксид, сажа, альдегіди, незгорілі вуглеводні тощо є продуктами неповного окиснення палива і утворюються, в основному, у процесах, що відбуваються у передпламенний період і під час згоряння палива.

Інша група полютантів, зокрема оксиди Нітрогену, утворюються в камері згоряння двигуна в зонах з високою температурою внаслідок хімічної взаємодії азоту повітря і надлишкового кисню. Тому такі оксиди Нітрогену мають назву термічні, і на їх утворення та концентрацію не впливають ані якість пального, ані його хімічний склад. При окисненні моторного палива в камері згоряння двигуна утворюються також різноманітні поліциклічні ароматичні сполуки, серед яких найбільш характерним канцерогеном і мутагеном є бенз(а)пірен. Отже, питання підвищення рівня екологічної безпеки міських територій, забезпечення їх сталого розвитку завдяки мінімізації шкідливого впливу з боку автотранспорту перебувають у центрі уваги науковців і вимагають невідкладних рішень.

Аналіз останніх досліджень. З метою здійснення комплексної оцінки екологічного стану міських територій, розташованих поблизу автотранспортних магістралей, проведено аналіз літературних джерел та виявлено певні труднощі, пов'язані, по-перше, з вибором показників-індикаторів техногенного навантаження на досліджувані території, а, по-друге, з вибором методів аналізу систем, які б надавали можливість отримувати прецизійні дані щодо динаміки забруднень ґрунтів, поверхневих вод, атмосферного повітря тощо.

Для забезпечення екологічної безпеки населення міста необхідно також враховувати, що викиди ШР з відпрацьованими газами АТЗ відбуваються майже на рівні поверхні землі (~ 0,2–0,5 м), тому й зона максимального шкідливого впливу полютантів розташована на висоті ~ 2–3 м, що є співрозмірною з ростом дорослої людини. А максимального шкідливого екотоксикологічного впливу забруднюючих речовин слід очікувати на дітей, які знаходяться тривалий час на території, прилеглій до автодороги.



За даними Центральної геофізичної обсерваторії імені Бориса Срезневського, водні об'єкти і ґрунти України, в основному, забруднені сполуками Нітрогену, Фосфору, важких металів (ВМ), а також нафтопродуктами, фенолами, сульфатами, поверхнево-активними речовинами тощо [2]. Зокрема, авторами роботи [3] встановлено кореляційну залежність між вмістом нітратів у дощовій воді і вмістом в атмосферному повітрі міст Нітроген(IV) оксиду, який є одним з основних інгредієнтів відпрацьованих газів АТЗ. Саме викиди цього шкідливого газу (разом із викидами дрібнодисперсних частинок сажі) є основною екологічною загрозою з боку функціонуючих дизельних двигунів.

Автотранспортний комплекс (потокі працюючих АТЗ) викидає в атмосферне повітря як газоподібні, так і тверді ШР, не враховуючи розливи моторних палив, масел та інших рідких нафтопродуктів. Внаслідок цього в атмосфері міст утворюються стійкі аерозольні системи виду "тверді дрібнодисперсні частинки – газ", і при цьому відбуваються такі процеси:

- розсіювання шкідливих домішок унаслідок їх турбулентного перемішування із повітряними масами;
- механічне перенесення забруднювачів, вторинне забруднення, "сухе випадання" на придорожні території;
- хімічні й фізико-хімічні перетворення (у тому числі й хемосорбція, інші сорбційні процеси, а також гідроліз і хімічна взаємодія) речовин, що призводять до суттєвої трансформації первинних токсикантів;
- вимивання ШР з атмосфери з "вологим випаданням" забруднювачів на придорожні території.

Отже, пріоритетною умовою сталого розвитку суспільства й біосфери є необхідність зменшення негативного впливу автотранспортного комплексу на міські території та оточуюче людей середовище. Тому якісне оцінювання екологічного стану компонентів довкілля та ефективний контроль, особливо для техногенно навантажених міських територій, які є місцями відпочинку людей, є актуальним і невирішеним на сьогодні завданням. При цьому варто зазначити, що недосконалість системи екологічного моніторингу, що функціонує в нашій країні, не дозволяє робити точні прогнози та розробляти обґрунтовані рекомендації, спрямовані на забезпечення належного рівня екологічної безпеки зазначених територій.

Аналіз методологічних підходів [4–6] показав, що одним з найперспективніших для оцінювання рівня екологічної безпеки певних об'єктів чи компонентів довкілля є індикаторний підхід. Тому розробці систем індикаторів приділяють велику увагу як вітчизняні, так і закордонні вчені, а також такі міжнародні організації, як Комісія



ООН зі сталого розвитку, Міжнародний інститут сталого розвитку (IISD), Науковий комітет з проблем навколишнього середовища (SCOPE), Організація Економічного Співробітництва й Розвитку (OECD), екологічна організація UNEP (United Nations Environment Program) [5, 7, 8] тощо. Однак вивчення літературних джерел дало змогу дійти висновку, що існуючі підходи до оцінювання рівня екологічної безпеки територій, а також окремих компонентів довкілля, хоча й характеризуються великою кількістю різноманітних показників, однак жоден з них не може бути безпосередньо застосований для встановлення й прогнозування екологічної небезпеки територій, зумовленої техногенним навантаженням з боку автотранспортних потоків.

Особливої гостроти розв'язок зазначених завдань набуває для міських територій, які активно використовуються населенням для відпочинку й оздоровлення (парки, сквери, території поряд з водними об'єктами тощо). Ці місця не завжди є спеціально організованими для відпочинку, багато з них виникають стихійно (неорганізовано), але це не зменшує важливості проблеми забезпечення їх екологічної безпеки та зменшення ступеня ризику для здоров'я людей. Отже, вдосконалення системи екологічного моніторингу міських територій, особливо тих, що мають оздоровче (рекреаційне) призначення, є надзвичайно актуальним науково-практичним завданням, а результати досліджень щодо їх екологічного стану, якості ґрунтового покриву і поверхневих вод, атмосферного повітря тощо допоможуть обґрунтовано визначати причини їх деградації, робити прецизійні прогнози та оцінювати екологічні ризики для населення міста.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Метою дослідження є вдосконалення існуючої системи екологічного моніторингу міських зон відпочинку (в тому числі й стихійно утворених), на які чинять негативний вплив розташовані поряд напружені автодороги та автомагістралі.

Об'єктами дослідження обрано декілька зон відпочинку людей у м. Києві (табл. 1), поряд з якими, по-перше, розташовані автодороги, а, по-друге, які містять поряд певний водний об'єкт (озеро природного чи штучного походження, затоку Дніпра тощо), що збільшує їх привабливість серед населення міста.



Таблиця 1.

Характеристика об'єктів дослідження (на прикладі зон відпочинку людей поблизу водних об'єктів м. Києва)

№	Зона відпочинку людей	Дорога, поряд з об'єктом дослідження	Географічні координати: широта (north), довгота (east) [9]	Відомості про водний об'єкт
1	Територія відпочинку поряд з озером Райдужне.	вул. Райдужна	50,481896, 30,583619	Статус озера – ландшафтний заказник місцевого значення; довжина озера – 1400 м, середня ширина – 100 м.
2	Територія відпочинку поряд з озером Сонячне.	вул. Ревуцького	50,419594, 30,638759	Довжина озера – 660 м, середня ширина – 280 м.
3	Територія відпочинку поряд зі ставками № 15 (Святошинське озеро) і № 14.	Брест-Литовське шосе	50,459606, 30,330699 та 50,451035, 30,345422	Став № 15 має довжину 1700 м, ширину 515 м. Став № 14 має довжину 965 м, ширину 244 м.
4	Територія відпочинку поряд з озером Тельбін.	Дарницьке шосе	50,424553, 30,608433	Довжина озера – 670 м, середня ширина – 450 м.
5	Територія відпочинку поряд з озером Жандарка.	проспект Петра Григоренка	50,413002, 30,619792	Довжина озера – 760 м, середня ширина – 100 м; біля озера заплановано побудувати парк площею 5,9 га.
6	Територія відпочинку поряд з озерами Лебедине і Вирлиця.	проспект Миколи Бажана	50,402236, 30,645075 та 50,397120, 30,660498	Довжина озера Вирлиця – 1320 м; середня ширина – 900 м. Довжина озера Лебедине – 480 м; середня ширина – 250 м; біля озера планується побудувати фітнес-парк.
7	Територія відпочинку поряд з озером у парку імені Генерала Ватутіна.	проспект Генерала Ватутіна	50,496920, 30,598855	Довжина озера – 950 м; середня ширина – 50 м.
8	Території відпочинку на узбережжі Дніпра.		50,419914, 30,578886	Водний об'єкт – річка Дніпро
9	Зони відпочину на Русанівській набережній.		50,436928, 30,591758	Водний об'єкт – річка Дніпро
10	Територія відпочинку у парку "Нивки".	проспект Перемоги	50,460643, 30,409797	Водні об'єкти озера в парку "Нивки"



Основна частина. На сьогодні для контролю якості поверхневих вод і ґрунтів застосовують, як правило, мікробіологічний аналіз, а також фізико-хімічні методи визначення органолептичних, токсикологічних та інших показників [10]. Проте реагентні методи, які найчастіше застосовуються для аналізу вмісту ШР у компонентах навколишнього середовища, як правило, є трудомісткими, дорогими і потребують великих витрат часу на проведення аналізу. Вони не надають швидких прецизійних даних щодо якості досліджуваних об'єктів і прогнозування комплексного впливу токсикантів. Окрім того, такі дослідження є статичними, а між відбором проби і її аналізом у лабораторії проходить досить тривалий час.

Оскільки в системі екологічного моніторингу контролювати весь спектр забруднювачів є досить складною задачею, то для оцінювання екологічної безпеки досліджуваних міських територій рекреаційного призначення, а також для дослідження динаміки зміни показників якості ґрунтового покриву і поверхневих вод нами обрано такі індикаторні показники, як електропровідність, кислотність рН та оптичні властивості природних розчинів (тільки для аналізу проб води). Зазначені характеристики обрано через те, що, по-перше, вони досить точно характеризують комплексний вплив багатьох чинників, а, по-друге, легко піддаються вимірюванню, в тому числі й за допомогою портативних приладів.

Отже, для дослідження якості ґрунтового покриву і поверхневих вод застосовували комплекс фізико-хімічних методів – методи експрес-контролю якості середовища, серед яких методи потенціометрії, кондуктометрії та рефрактометрії. При виконанні повної програми екологічного моніторингу зазначених територій додавали також методи денсиметрії (вимірювання густини за піктометричним методом), віскозиметрії (вимірювання кінетичної в'язкості віскозиметром Оствальда) та сталагмометрії (вимірювання поверхневого натягу за допомогою сталагмометра). Для водних об'єктів досліджувались також органолептичні показники проб – запах, забарвленість, каламутність тощо.

Здійснювались також польові дослідження орографії місцевості та натурні спостереження за характеристиками автотранспортних потоків, що рухаються автодорогами поряд з досліджуваними територіями відпочинку людей. Далі за допомогою математичного моделювання з використанням диференціального рівняння турбулентної дифузії [11, 12] у програмному середовищі MathCad здійснювали обчислювальний експеримент для визначення рівня забруднення атмосферного повітря і прилеглих до автодоріг територій такими інгредієнтами відпрацьованих газів, як оксиди Карбону й



Нітрогену, дрібнодисперсний пил за різних метеорологічних і погодних умов.

Лабораторно-аналітичний метод (якісний і кількісний аналізи) використовували для визначення вмісту певних хімічних елементів та іонів у водних ґрунтових витяжках і пробах води. Особливу увагу приділяли вмісту у досліджуваних ґрунтах і пробах води сполук важких металів, а також вмісту хлорид- Cl^- і сульфат-іонів SO_4^{2-} . Детальніше методики відбору проб ґрунту і води, а також приготування водних ґрунтових витяжок описано в роботі [13]; методики проведення лабораторних досліджень – у роботах [13, 14]. Проби поверхневих вод відбирались з глибини 5–10 см від поверхні.

Одним з найважливіших показників, що зумовлює характер хімічних і біологічних процесів, які відбуваються у ґрунті чи водному середовищі, є показник кислотності рН. Залежно від його значення можуть змінюватися швидкість перебігу і навіть напрямки хімічних і фізико-хімічних перетворень речовин, зростати чи зменшуватися їх токсичність і корозійна активність середовища.

Кислотність водних розчинів визначається концентрацією іонів Гідрогену H^+ в одному літрі (1 дм^3) розчину; для аналізу кислотно-основних властивостей водних розчинів використовують показник рН, який є від'ємним десятковим логарифмом концентрації іонів Гідрогену:

$$\text{pH} = - \lg C(\text{H}^+). \quad (1)$$

де $C(\text{H}^+)$ – молярна концентрація іонів Гідрогену, моль/ дм^3 .

За значенням рН водні розчини поділяють на:

- сильнокислі ($\text{pH} < 3$);
- кислі ($\text{pH} = 3-5$);
- слабкокислі ($\text{pH} = 5-6,5$);
- нейтральні ($\text{pH} = 6,5-7,5$);
- слабколужні ($\text{pH} = 7,5-8,5$);
- лужні ($\text{pH} = 8,5-9,5$) та
- сильнолужні ($\text{pH} > 9$).

Як правило, більшість природних вод мають нейтральну або слабо кислу реакцію. Це спричинено тим, що такі природні речовини, як Карбон(IV) оксид, оксиди Нітрогену і Сульфуру тощо розчиняються у воді з утворенням розчинів слабких і сильних кислот. При цьому рН води може суттєво відрізнятися для різних об'єктів і в різних місцевостях, причому, як у бік кислого, так і у бік лужного середовища. Отже, саме співвідношення сполук кислого і основного характеру в досліджуваних об'єктах формує значення показника рН,

тому за його динамікою зміни можна оцінити зміни в екологічному стані об'єкта та зробити висновки щодо його екологічної безпеки.

Потенціометричний метод визначення рН водних середовищ базується на вимірюванні електрорушійної сили електрохімічної комірки, яка складається з двох електродів – скляного (індикаторного) електрода і електрода порівняння (зазвичай, хлорсрібного) та досліджуваного розчину електроліту. Вимірювання проводили лабораторними іонірами, шкала яких подана в одиницях рН. Перед використанням прилади калібрували за допомогою буферних розчинів з відомими значеннями рН. Оскільки результат вимірювання залежить від температури проби, то цей вплив, як правило, компенсувався спеціальним пристроєм, вмонтованим у прилад. Час виконання одного вимірювання становить ~3–4 хв.

У роботі проведено потенціометричний аналіз водних ґрунтових витяжок і проб води на досліджуваних територіях – зонах відпочинку людей у теплу та холодну пори року. Результати вимірювання кислотності ґрунтових витяжок на прикладі зони відпочинку людей поряд з озером Райдужне (див. табл. 1) подано на рис. 1. Додатково вивчали зміну кислотності та вмісту хлорид-іонів Cl^- (кисотно-сольове забруднення) у пробах снігу і дощу за методикою, поданою у роботі [13].

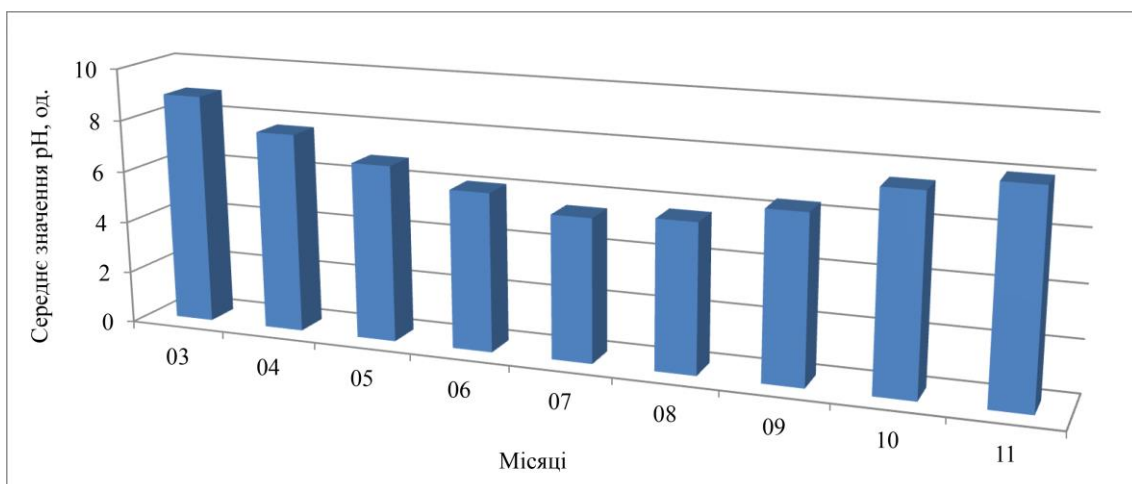


Рис. 1 Динаміка рН водних ґрунтових витяжок (усереднені значення) на території зони відпочинку людей поряд з озером Райдужне.

Як свідчать дані рис. 1, у теплу пору року (влітку) рН досліджуваних проб ґрунту є дещо нижчими, ніж у холодну пору року (ранньою весною). Отже, в теплу пору року кислотність ґрунтових розчинів підвищується. Як було показано в роботі [13], це може бути зумовлено тим, що взимку комунальні служби досить активно використовують сольові протиожеледні засоби, які з талими

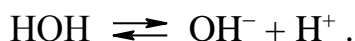
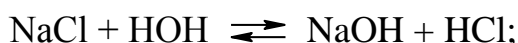


водами потрапляють до ґрунту, а також здійснюють так звану роторну перевалку забрудненого снігу.

Аналіз значень рН ґрунтових витяжок на досліджуваних територіях – зонах відпочинку людей показав також, що найнижчі значення кислотності спостерігаються на відстані до 15 м від центру дороги. При цьому різниця між значеннями рН водного об'єкта і витяжок з ґрунту (на відстані 5 м від дороги) складає 0,5–1,7 одиниць рН. Однак такі зміни кислотності не можна вважати закономірними, оскільки на формування рН ґрунту і води значно (але по-різному) впливають зелені насадження. Зокрема, наявність "зеленого екрану" (наприклад, трав'яного покриву, кущів, дерев тощо) може сильно змінювати показник рН, навіть при однаковому транспортному навантаженні на території.

Через можливість перебігу у водних середовищах різноманітних гідролітичних процесів солі, що потрапляють до ґрунту або водного об'єкта і містять або катіон слабкої основи, або аніон слабкої кислоти (або обидва іони слабких електролітів), здатні змінювати рН середовища в бік кислого чи лужного, відповідно, або через процеси нейтралізації – наближати його до нейтрального середовища (рН \rightarrow 7).

Наприклад, солі, утворені сильною кислотою і сильною основою, взагалі не підлягають гідролізу, а тому не змінюють рН середовища:



Якщо сіль утворена слабкою основою і сильною кислотою (наприклад, NH_4Cl , CuSO_4 , $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ тощо), то рН такого розчину через гідролітичні процеси зміщується в бік кислого середовища (рН < 7), оскільки гідроліз солі відбуватиметься "за катіоном", і при цьому утвориться надлишок катіонів Гідрогену H^+ :



I ступінь: $\text{Cu}^{2+} + \text{HOH} \rightleftharpoons \text{CuOH}^+ + \text{H}^+$, рН < 7 (кисле середовище);

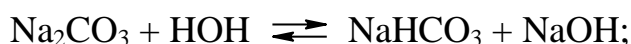
Як правило, за звичайних умов гідроліз солей відбувається тільки за першим ступенем, але за певних умов можливим є й другий ступінь, а саме:



II ступінь: $\text{CuOH}^+ + \text{HOH} \rightleftharpoons \text{Cu(OH)}_2 + \text{H}^+$, $\text{pH} < 7$.

Якщо сіль утворена сильною основою та слабкою кислотою, то її гідроліз відбуватиметься "за аніоном", а внаслідок гідролітичних процесів утвориться надлишок гідроксил-іонів OH^- . Реакція середовища при цьому зміститься у лужний бік, тобто $\text{pH} > 7$:

I ступінь: $\text{CO}_3^{2-} + \overset{+}{\text{H}}\overset{-}{\text{O}}\text{H} \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{OH}^-$, $\text{pH} > 7$ (лужне середовище). Тоді у молекулярному вигляді рівняння має вигляд:



II ступінь: $\text{HCO}_3^- + \overset{+}{\text{H}}\overset{-}{\text{O}}\text{H} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3 + \text{OH}^-$, $\text{pH} > 7$.

У молекулярному вигляді: $\text{NaHCO}_3 + \text{HOH} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3 + \text{NaOH}$.

Солі, утворені слабкою основою і слабкою кислотою, гідролізують майже повністю, а реакція середовища при цьому буде визначатися співвідношенням констант дисоціації слабких кислоти й основи та прямуватиме до 7. Отже, середовище, скоріше за все, буде або нейтральним, або слабо кислим чи слабо лужним.

Таким чином, метод потенціометрії, хоча і є дуже чутливим до потрапляння певних забруднювачів до компонентів навколишнього середовища, не може надавати повну інформацію щодо змін в екологічному стані, наприклад, ґрунтів чи водних об'єктів. На нашу думку, потенціометричні вимірювання обов'язково потрібно комбінувати з кондуктометричними дослідженнями, а також з вимірюваннями оптичної густини та показника заломлення досліджуваних розчинів (оптичні методи дослідження).

Питома електропровідність водних розчинів є показником-індикатором вмісту (потрапляння) органічних і неорганічних електролітів. Вимірювання за методом прямої кондуктометрії здійснювали за допомогою моста змінного струму в спеціальній електролітичній комірці з платиновими електродами. При аналізі опір розчину вимірювали за температури $20,00 \pm 0,05$ °C з використанням водяного термостату.

Питому електропровідність досліджуваних розчинів розраховували за формулою:

$$\chi = k f 10^{-6} / R, \quad (2)$$

де χ – питома електропровідність розчину, $\text{См} \cdot \text{см}^{-1}$;
 k – стала електролітичної комірки;

f – температурна поправка (довідкові дані, застосовується для температур, що відрізняються від 20 °С;
 R – опір, Ом.

Результати вимірювань оброблювали статистично на рівні значущості $\alpha=0,05$. Сталу комірки визначали за табличними значеннями питомої електропровідності стандартних розчинів Калій хлориду KCl при температурі, що відповідає температурі досліджуваного водного об'єкта (озеро Райдужне) у різні пори року подано на рис. 2. За результатами наших вимірювань питома електропровідність складала в середньому 705–1380 мкСм/см.

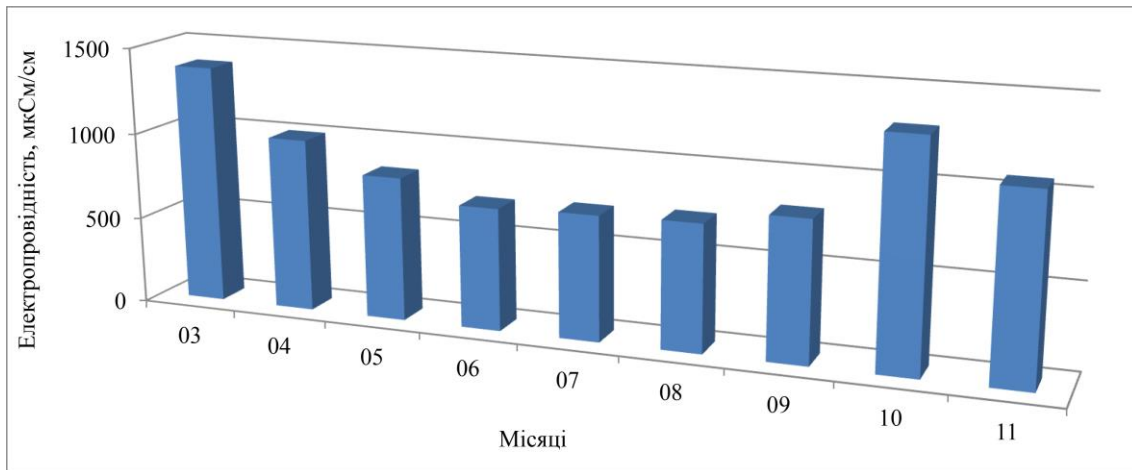


Рис. 2 Динаміка питомої електропровідності (усереднені значення) проб води (озеро Райдужне) у різні пори року.

Електропровідність χ слугує індикаторною характеристикою загального солевмісту у водному розчині [15], а, отже, її зміни дають змогу робити висновки щодо потрапляння, накопичення або, навпаки, зменшення концентрації розчинених у воді електролітів. Отже, у дослідженні за динамікою питомої електропровідності водних ґрунтових витяжок і проб води пропонується дослідити зміни в екологічному стані зон відпочинку людей (рис. 2) і на основі цього отримати оперативну інформацію стосовно потрапляння до компонентів навколишнього середовища забруднювачів-електролітів для прийняття відповідних заходів (наприклад, провести детальний хімічний аналіз, визначити конкретний забруднювач, джерело його потрапляння тощо).

У той самий час завдяки процесам коагуляції та/або осадження, а також через вторинні хімічні перетворення речовин-забруднювачів показник питомої електропровідності проб води може суттєво знизитися, що надасть інформацію нібито про зниження концентрації



розчинних форм електролітів у водному середовищі та, відповідно, про зменшення шкідливості води. Однак утворені внаслідок таких процесів осади, зкоагульовані речовини будуть осаджуватися й накопичуватися, наприклад, у донних відкладеннях або на рослинності, що також несе певну загрозу для гідробіонтів.

Як видно з даних, наведених на рис. 2, на початок літа вплив забруднювачів-електролітів є мінімальним, тоді як після танення снігу (березень–квітень) та восени досліджуваній водний об'єкт є сильно забрудненим. Окрім того, результати вимірювань (розрахунку) електропровідності за квітень значно нижчі, ніж за березень, що можна пояснити забрудненим солями стоком талих вод через застосування взимку протижеледних засобів.

Показники питомої електропровідності у жовтні майже в 2 рази перевищують ті самі показники у червні. Це можна пояснити й погодними умовами (тумани, температурні інверсії тощо), зміною метеорологічних умов (напрямок вітру та швидкість вітру), а також активним відпочинком людей упродовж весняних і літніх місяців. У листопаді електропровідність проб води суттєво зменшується, вірогідно, через часті дощі (відбувається розведення води водойми) і похолодання, що, в свою чергу, зменшує кількість відпочиваючих на природі.

Отже, як можна побачити з рис. 2, при потраплянні електролітів-забруднювачів до ґрунтів, ґрунтових чи поверхневих вод за допомогою кондуктометричного методу можна швидко встановити випадки раптового забруднення та розробити заходи зі зменшення ризику для здоров'я населення. Це є надзвичайно важливим при потраплянні до компонентів навколишнього середовища сполук ВМ і особливо – їх розчинних форм. Отже, після встановлення факту забруднення певного компонента середовища сполуками-електролітами рекомендується застосувати аналітичні методи ідентифікації забруднювачів, а також визначення вмісту окремих хімічних елементів, що надасть можливість, по-перше, встановити джерело (джерела) забруднення, по-друге, локалізувати забруднений осередок, а, по-третє, попередити виникнення надзвичайної ситуації і підвищення ризику для здоров'я людей.

З метою встановлення рівнів шкідливого впливу автотранспортних потоків на досліджувані зони відпочинку людей (табл. 1), запропоновано інтегральний показник техногенного навантаження (ІПН), який характеризує вплив викидів АТЗ на екологічну безпеку компонентів міського навколишнього середовища. Відповідно до авторської методики, ІПН розраховується на основі попередньо визначених показників геохімічного забруднення повітряного середовища, ґрунтів і водойм.



Показники геохімічного забруднення ґрунтів і водойм визначаються за допомогою описаних вище методів експрес-контролю (зокрема, методів потенціометрії, кондуктометрії та оптичних методів дослідження), а рівні геохімічного забруднення атмосферного повітря (і придорожніх територій) визначаються шляхом проведення натурних спостережень за автотранспортними потоками, що рухаються автодорогами поблизу досліджуваних зон відпочинку, та за допомогою моделювання полів дисперсії забруднювачів – основних інгредієнтів відпрацьованих газів АТЗ на основі диференційного рівняння турбулентної дифузії. Детально сутність методики описано у роботі [16].

Таким чином, за допомогою побудованих полів дисперсії ШР у повітряному просторі визначається кратність перевищення максимальних разових гранично допустимих концентрацій ($ГДК_{м.р.}$) кожного з досліджуваних забруднювачів і за цими показниками робиться висновок щодо рівня екологічної небезпеки певної території. У загальному вигляді визначення ІПН передбачає оцінювання кожного з компонентів середовища (атмосферного повітря, ґрунтового покриву та наявності водойми) за градаціями від 1 до 4-х балів, де 1 бал – екологічно безпечний рівень забруднення, а 4 бали – екологічно неприйнятний рівень.

У такому випадку інтегральний показник техногенного навантаження набуватиме значень $3 \leq ІПН \leq 12$. Проте в залежності від виду діяльності людей у зоні відпочинку, наявного обсягу даних тощо ІПН може визначатися і без урахування, наприклад, геохімічного забруднення водойми (у разі її відсутності або якщо відпочинок людей не передбачає її вплив). Тоді показник ІПН набуватиме значень $2 \leq ІПН \leq 8$.

Зважаючи на те, що у межах проведеного дослідження забруднення водойм безпосередньо не ураховувалось, інтегральний показник техногенного навантаження на досліджувані зони відпочинку з боку автотранспорту розраховували за формулою:

$$ІПН = k_A \cdot x_A + k_S \cdot x_S, \quad (3)$$

де k_A і k_S – вагові коефіцієнти для показників геохімічного забруднення повітряного середовища і ґрунтів (зазвичай приймаються такими, що дорівнюють одиниці, але за необхідності можуть бути скореговані врахуванням діяльності людей, відпочиваючих на забрудненій території);

x_A і x_S – значення показників геохімічного забруднення повітряного середовища і ґрунтів, відповідно, бали.

Отже, за даними ІПН проведено ранжирування досліджених зон відпочинку (див. табл. 1); результати ранжирування подано на рис. 3. Як видно з рисунку, найбільшому техногенному навантаженню піддаються зони відпочинку поряд з озерами № 15 і № 14, Лебедине і Вирлиця, а також територія поряд з озером у парку імені Генерала Ватутіна. Ці території за комплексним впливом на ґрунтовий покрив і атмосферне повітря є потенційно екологічно небезпечними з точки зору перебування на них відпочиваючих. Особливо це стосується дітей, які грають на забрудненій території, і дорослих, які відпочивають у кафе (ресторанах), розташованих у безпосередній близькості до дороги.

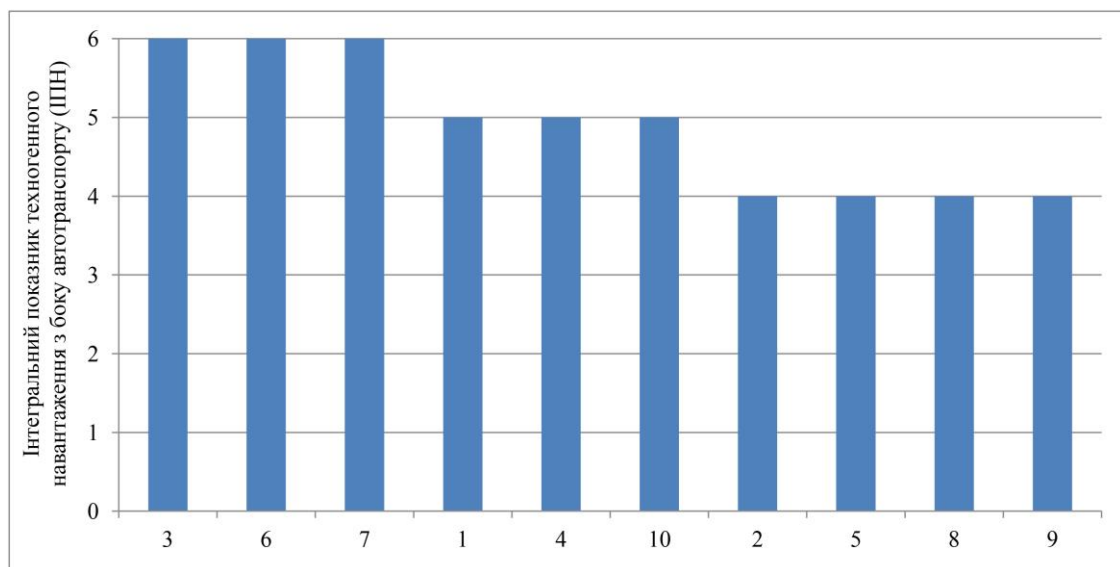


Рис. 3 Ранжирування досліджуваних зон відпочинку людей (табл. 1) за інтегральним показником техногенного навантаження ІПН з боку автотранспорту (без урахування забруднення розташованих поряд водойм)

Із використанням програмного продукту Gnuplot та на основі обробки результатів математичного моделювання у середовищі MathCad побудовано залежності інтегрального показника техногенного навантаження від двох параметрів – викидів ШР двигунами АТЗ та безпечної відстані від дороги (відстань, на якій уже не спостерігається перевищення ГДК_{м.р.} жодного із проаналізованих забруднювачів).

Таким чином, аналіз візуалізованих залежностей надав змогу спрогнозувати взаємний вплив інтенсивності руху автотранспортних потоків та відстані від дороги на геохімічне забруднення міської придорожньої території. Встановлено, що найвищі значення ІПН відповідають областям максимальних обсягів викидів ШР, які розповсюджуються за певних погодних і метеорологічних умов на

великі відстані від дороги, що характерно видно на прикладі, наведеному на рис. 4.

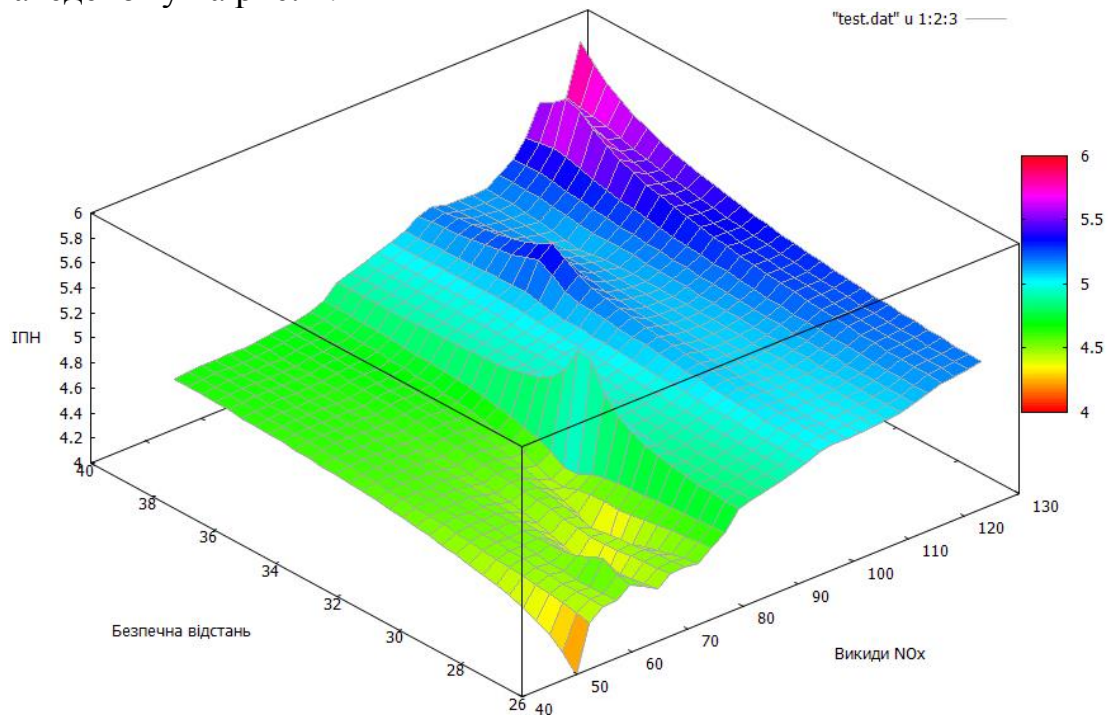


Рис. 4. Залежність інтегрального показника техногенного навантаження ІПН від двох параметрів – викидів оксидів Нітрогену NO_x (у перерахунку на NO_2) та безпечної відстані від дороги.

Висновки. 1. Негативний вплив забрудненого середовища (води, ґрунту, атмосферного повітря тощо) безпосередньо відбивається на порушеннях у стані здоров'я людей, життєдіяльності тварин і рослин, деградації компонентів навколишнього середовища і екосистем. У зв'язку з цим запропоновано використання методів потенціометрії, кондуктометрії та оптичних методів дослідження як методів експрес-контролю якості та екологічного стану територій оздоровчого призначення (організованих або стихійних).

2. Побудовано поля дисперсії повітряного середовища та встановлено рівень забруднення території поряд з автодорогами, з якими межують зони відпочинку людей. Проведено моніторинг стану поверхневих вод і ґрунтового покриву за методами потенціометрії, кондуктометрії тощо, що дало можливість встановити періоди різкої зміни забруднення досліджуваних об'єктів та надати рекомендації з розробки відповідних заходів.

3. Виявлено джерела та проведено оцінку екологічної небезпеки від автотранспортних забруднень зон відпочинку людей за допомогою інтегрального показника техногенного навантаження; на основі цього здійснено ранжирування досліджуваних зон відпочинку м. Києва. Встановлено закономірності та динаміку показників якості



навколишнього природного середовища, зокрема, показника рН та питомої електропровідності водних і ґрунтових розчинів.

4. Встановлено, що зелені насадження чинять значний вплив на досліджувані показники якості компонентів довкілля, захищаючи території від автотранспортного забруднення, сприяючи осадженню і локальному концентруванню забруднювачів. Однак для людей, які регулярно й активно відпочивають у таких небезпечних в екологічному сенсі зонах, відпочинок може виявитися небезпечним для їх здоров'я. І особливо це стосується селітебних районів, де мешканці міста разом з дітьми щоденно відвідують і тривалий час знаходяться на таких забруднених територіях, призначених для оздоровлення.

Список використаних джерел

1. Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року від 25.02.2019, № 2594-VIII// Відомості Верховної ради України. 2018. №44. Ст. 360.

2. *Центральна геофізична обсерваторія імені Бориса Срезневського*: вебсайт. URL: <http://cgo-sreznevskiy.kiev.ua> (дата звернення: 19.02.2019).

3. Seung-Myung Park, Beom-Keun Seo, Gangwoong Lee, Sung-Hyun Kahng and Yu Woon Jang. Chemical Composition of Water Soluble Inorganic Species in Precipitation at Shihwa Basin, Korea / *Atmosphere*. 2015. № 6. P. 732–750.

4. Крайнюков О. М. Науково-методичні основи нормування антропогенного забруднення аквальної ландшафтів: монографія / за редакцією А. В. Гриценка, А. М. Крайнюкової. Харків: Екограф, 2013. 260 с.

5. Green Growth Indicators 2014. Paris: OECD Publishing. 2016. 154 p.

6. Indikatoren für die ökonomische Bedeutung von Wasser und Gewässern. Dessau-Roßlau. 2018. P. 323. вебсайт. URL: <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen> (дата звернення: 25.09.19).

7. Данилов-Данильян В. И., Лосев К. С. Экологический визов и устойчивое развитие. М.: Традиция, 2014. 416 с.

8. Огородникова А. А., Щеглов В. В., Вейдеман Е. Л. Модель "воздействие-состояние-отклик" в решении задач экологического мониторинга загрязнения прибрежной экосистемы / *Известия ТИИРО*. 2004. №137. С. 321–336.

9. Google Maps: вебсайт. URL: <https://www.google.com.ua/maps> (дата звернення: 21.02.2019).



10. Фещенко В. П. Рациональное использование та відновлення водних ресурсів: монографія / за заг.ред. В. П. Фещенко. Житомир: Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2016. 250 с.
11. Берлянд М. Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 448 с.
12. Холоднов В. А., Решетиловский В. П., Лебедева М. Ю., Боровинская Е. С. Системный анализ и принятие решений. Компьютерное моделирование и оптимизация объектов химической технологии в Mathcad и Excel: учеб. пособ. СПб:СПбГТИ (ТУ), 2007. 425 с.
13. Борисов О. О. Геоекологічна оцінка ризику кислотно-сольового забруднення приміагістральних ділянок педосфери (на прикладі міста Києва) / О. О. Борисов // *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2016. № 4(96). С. 41–48.
14. Борисов О. О., Кофанова О. В. Комплексний аналіз геохімічного стану придорожніх територій великого міста // *Вісник Нац. техніч. ун-ту "ХПІ"*. Сер. : Нові рішення в сучасних технологіях. – X : НТУ "ХПІ". 2017. № 32 (1254). С. 91–97. DOI:10.20998/2413-4295.2017.32.15.
15. Hem J D. Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water. 2-nd ed. Geological Survey Water Supply Paper 1473, United States Government Printing Office. Washington, 1970. 363 p.
15. Кофанова Е. В., Борисов А. А., Евтеева Л. И. Рассеивание вредных веществ в придорожном воздушном пространстве вблизи водных объектов г. Киева // *Горная механика и машиностроение*. 2018. № 2. С. 31–38.

ПОТЕНЦИОМЕТРИЯ, КОНДУКТОМЕТРИЯ И РЕФРАКТОМЕТРИЯ КАК МЕТОДЫ ЭКСПРЕСС-КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПОЧВ И ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД В ЗОНАХ ОТДЫХА ЛЮДЕЙ

Борисов А. А., Кофанова Е. В.

Аннотация – на примере зон отдыха людей в городе Киеве, расположенных вблизи автодорог, проанализированы закономерности изменения их экологического состояния. Предложено и обосновано для экспресс-контроля экологической нагрузки со стороны автотранспортных потоков применять методы потенциометрии, кондуктометрии, а также оптические методы исследования (например, рефрактометрию). Исследованы физико-химические характеристики поверхностных вод и грунтовых вытяжек на городских территориях рекреационного предназначения, изучено их динамику. Проведено ранжирование исследуемых рекреационных территорий с помощью предложенного интегрального индекса техногенной нагрузки, учтена деятельность людей на этих территориях. Определены приоритетные направления снижения риска нарушения здоровья людей в связи с вредным воздействием выбросов автотранспортных средств на территориях, предназначенных для отдыха и оздоровления людей.



Ключевые слова: автотранспортные средства, отработавшие газы, экологический риск, загрязнение окружающей среды, водные объекты, почвенный покров, грунт.

POTENTIOMETRY, CONDUCTOMETRY AND REFRACTOMETRY AS METHODS FOR EXPRESS CONTROL OF SOILS AND SURFACE WATERS QUALITY ON THE RECREATIONAL TERRITORIES

O. Borysov, O. Kofanova

Summary

The regularities of the change of the ecological state of the urban territories were analyzed on the example of Kyiv city recreational areas, which are located near highly loaded motorways. It was proposed and substantiated to use potentiometry, conductometry and optical methods (for example, refractometry) for express control of environmental loading levels caused by motor traffic flows. Physicochemical characteristics of surface waters and soil water extracts from urban recreational territories, as well as the dynamics of the characteristics were investigated. Ranking of the studied recreational territories using the proposed integral index of the technogenic load was conducted taking into account the activities of people on these territories. The priority directions for reducing the risk of human health damage due to the harmful effects of vehicle emissions in recreational areas were outlined. Dispersion fields for the air environment of the roadside areas near recreational territories were modeled and the level of pollution of the territories was established. Surface waters and soil cover were monitored by potentiometry, conductometry etc., which made it possible to establish periods of dramatic change in pollution levels and provide recommendations for the development of appropriate measures. It has been established that green spaces have a significant impact on the investigated indicators of the quality of the environment components. Green spaces protect territories from vehicle pollution; facilitate the deposition and local concentration of harmful substances. However, for people who regularly and actively rest in such environmentally hazardous areas, recreation can be quite dangerous. This is especially relevant for the residential areas where families visit recreational areas on a daily basis and stay on such polluted territories for a long period of time.

Keywords: vehicles, exhaust gases, environmental risk, environmental pollution, waters, soil cover, soil.