

Висновки. На підставі проведених досліджень можна відзначити, що високою концентрацією хлорофілу "а" характеризуються листя дуба звичайного – 5,667 мг/г на контролі та дуба червоного – 4,572 мг/г у штучно створеному дубово-сосновому насадженні на порушеному ґрунті поблизу підземного видобутку сірки № 1. Високим вмістом хлорофілу "а" (6,238 мг/г) характеризується листя берези повислої, що розташована куртинами в межах підземного видобутку № 1. Незначні коливання вмісту хлорофілу "а" у хвої сосни виявлено на різних дослідних ділянках. Найвищий показник (2,358 мг/г) встановлено на контролі у сосновому деревостані за межами негативного впливу видобутку сірки та біля дамби (2,391 мг/г).

Аналіз співвідношення вмісту хлорофілу "а/б" у хвої сосни на контролі дає змогу зафіксувати величину показника в межах 3,1. Порівняння цього показника у хвої сосни на інших ділянках вказує, що поряд з освітленістю, зміна ґрунтових умов може мати певний вплив на його коливання.

Найнижчий вміст каротиноїдів у хвої сосни встановлено на контролі (0,590 мг/г), дещо зростає цей показник (0,623 мг/г) у хвої сосни на ділянці штучно створеного насадження біля підземного видобутку сірки № 1 і найвищого значення (1,063 мг/г) він сягає у хвої сосни на рекультивованій ділянці в межах підземного видобутку сірки № 1. За співвідношенням суми хлорофілу "а+б" до каротиноїдів у хвої сосни на різних дослідних ділянках, встановлено, що найвищим показником (5,3) цього співвідношення характеризується асиміляційний апарат сосни на контролі.

Література

1. Воробьев Д.В. Типы лесов европейской части СССР / Д.В. Воробьев. – К. : Изд-во АН УССР, 1963. – 450 с.
2. Гавриленко В.Ф. Большой практикум по физиологии растений. Фотосинтез. Дыхание : учеб. пособ. / В.Ф. Гавриленко, М.Е. Ладыгина, Л.М. Хандобина. – М. : Изд-во "Высш. шк.", 1975. – 392 с.
3. Генсірук С.А. Ліси Західного регіону України / С.А. Генсірук, М.С. Нижник, Л.І. Копій. – Львів : Вид-во "Атлас", 1998. – 408 с.
4. Заїка В.К. Природне заліснення та лісівничо-екологічні і морфо-фізіологічні особливості формування лісостанів на покинутих сільськогосподарських землях північно-західного Поділля / В.К. Заїка, Г.Т. Криницький, Р.С. Іваницький // Наукові праці Лісівничої академії наук України : зб. наук. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2013. – Вип. 11. – С. 41-50.
5. Макрушин М.М. Фізіологія рослин / М.М. Макрушин, Є.М. Макрушина, Н.В. Петерсон, М.М. Мельников. – Вінниця : Вид-во "Нова Книга", 2006. – 416 с.
6. Мерзляк М.Н. Пигменты, оптика листа и состояние растений / М.Н. Мерзляк // Соросовский образовательный журнал : сб. науч. тр. – 1998. – № 4. – С. 19-24.
7. Починок Х.Н. Методы биохимического анализа растений / Х.Н. Починок. – К. : Изд-во "Наук. думка", 1976. – 312 с.

Надійшла до редакції 08.12.2016 р.

Копій М.Л., Заїка В.К., Копій Л.І. Влияние сформированных почвосмесей на содержание пластидных пигментов в древесных породах на поврежденных почвах Яворовского серного карьера

Проведен анализ влияния поврежденных почв на рост и развитие разных древесных видов на территории Яворовского серного карьера. Определено содержание пластидных пигментов в листьях лиственных и хвойных древесных видов на секциях эксперимента. Установлено, что высокой концентрацией хлорофилла "а" характеризуются

листья дуба обыкновенного – 5,667 мг/г на контроле и дуба красного – 4,572 мг/г в искусственно созданном дубово-сосновом насаждении на поврежденной почве вблизи подземной добычи серы № 1. Высоким содержанием хлорофилла "а" (6,238 мг/г) отличаются листья березы повислой, расположенной куртинами в пределах подземной добычи № 1. Доказано, что низкое содержание каротиноидов характерно в хвое сосны на контроле (0,590 мг/г), несколько возрастает этот показатель (0,623 мг/г) в хвое сосны на участке искусственно созданного насаждения поблизости подземной добычи серы № 1 и высшего значения (1,063 мг/г) оно достигает в хвое сосны на рекультивированном участке в пределах подземной добычи серы № 1. Отмечено, что высшим (5,3) показателем соотношения суммы хлорофилла "а+б" относительно каротиноидов характеризуется хвоя сосны обыкновенной на контроле.

Ключевые слова: нарушенные почвы, пластидные пигменты, хлорофилл "а" и "б", каротиноиды, рекультивируемый участок.

Kopiy M.L., Zaika V.K., Kopiy L.I. The Formed Soils Impact on the Content of Tree Species Plastid Pigments within Yavoriv Sulphuric Quarry Disturbed Lands

The analysis of disturbed soils impact on the growth and development of different tree species within Yavoriv sulphuric quarry is conducted. The content of plastid pigments in the leaves of deciduous and in needle of coniferous tree species on experimental sections is defined. It is established that oak leaves are characterized by high concentrations chlorophyll "a" – 5.667 mg/g on the control section and red oak leaves – 4.572 mg/g on section of artificial oak and pine plantation of disturbed soils near the underground mining of sulphur № 1. The high content of chlorophyll "a" (6.238 mg/g) is noted in leaves of birch located by curtain within underground mining № 1. It is investigated that the lowest content of carotenoids typical in pine needles on the control section (0.590 mg/g), this index increased slightly (0.623 mg/g) in the pine needles at the section of man-made plantations near the underground mining of sulphur number 1 and the highest value (1.063 mg/g), it reaches in pine needles on the reclaimed area within the underground mining of sulphur № 1. It is noted that pine needles characterized by highest (5.3) index of correlation of the amount of chlorophyll "a + b" to carotenoids on the control section.

Keywords: disturbed soils, plastid pigments, chlorophyll "a" and "b", carotenoids, reclaimed area.

УДК 504:502.7

ТРАНСКОРДОННЕ ПЕРЕНЕСЕННЯ ЗАБРУДНЮВАЧІВ І ПРИРОДНА ЗАХИЩЕНІСТЬ АТМОСФЕРИ

В.Ю. Каспійцева¹, Є.Г. Кушнір², С.З. Поліщук³

Розглянуто особливості проблеми транскордонного забруднення повітря. У вирішенні цих питань доцільним є, відповідно до масштабів цієї території, сумісне використання строгих математичних моделей, що потребують трудомісткої чисельної реалізації та інженерних методик, що допускають аналітичні рішення. Запропоновано методичні підходи для оцінювання розміру потенційно можливих транскордонних потоків забруднювальних речовин в атмосфері на глобальному та регіональному рівнях з урахуванням природної захищеності атмосфери. Реалізацію методики виконано на прикладі Дніпропетровської обл.

Ключові слова: антропогенна дія, транскордонне перенесення, забруднення, захищеність атмосфери, підстильна поверхня.

¹ асист. В.Ю. Каспійцева – ДВНЗ "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", м. Дніпро;

² доц. Є.Г. Кушнір, канд. техн. наук – ДВНЗ "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", м. Дніпро;

³ проф. С.З. Поліщук, д-р техн. наук – ДВНЗ "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", м. Дніпро

Вступ. Забруднення навколишнього природного середовища – складна, багатогаспектна проблема. Дедалі більшої актуальності в наш час набувають питання аналізу та оцінювання захищеності навколишнього природного середовища від антропогенного впливу, що постійно посилюється.

Атмосфера є найрухомішим компонентом навколишнього середовища. Проблема транскордонного перенесення значного обсягу забруднювальних речовин антропогенного походження, яка виникла останнім часом, поставила завдання вирішення низки складних екологічних і технічних питань [1]. Забруднення повітряного басейну антропогенними домішками, що виділяються джерелами у промислово розвинених країнах (регіонах), почало вселяти побоювання не тільки в областях, розташованих у безпосередній близькості від джерел викидів, але і на віддалених територіях, що часто належать іншим країнам (регіонам).

Вперше проблема транскордонного перенесення виникла у зв'язку з поширенням на великі відстані радіоактивних викидів. На сьогодні основну увагу приділяють поширенню на великі відстані: діоксиду сірки і продуктів її перетворення, оксидів азоту і продуктів їх перетворень, важких металів (і особливо ртуті), пестицидів і радіоактивних речовин [1].

Підстильна поверхня є невід'ємною частиною ландшафту (природного або антропогенного зміненого) і перебуває у постійній взаємодії з атмосферою, значно впливає на формування її характеристик. Вона приймає на себе перший удар антропогенного потоку, який потрапляє з атмосфери. Подальші трансформації техногенних речовин (їх нагромадження, розкладання або вимивання) визначаються як фізико-хімічними властивостями підстильної поверхні, так і властивостями забруднювальних речовин [2].

З огляду на це, під час оцінювання рівня техногенного навантаження на територію разом з відомими методиками потрібно враховувати баланс транскордонного перенесення атмосферних забруднювачів і природну захищеність атмосфери. Деякі особливості цього складного та актуального завдання розглянуто у цьому дослідженні.

Мета дослідження – оцінювання транскордонного перенесення забруднень на регіональному рівні (на прикладі Дніпропетровської обл.).

Матеріали і методика дослідження. Перенесення забруднень на великі відстані складний, динамічний процес, що поширюється по довжині на тисячі кілометрів, а в часі – на кілька діб. Висота поширення домішок при цьому становить 1,5-2,0 км. Обсяг переносних забруднювальних речовин залежать від масштабів викидів, висот димарів, безлічі метеорологічних і атмосферно-хімічних чинників, а також від властивостей ландшафту, над яким здійснюється це перенесення.

У ситуації, що склалася, для оцінювання екологічного стану регіонів України, зумовленого транскордонними перенесеннями, передусім виникає проблема організації спеціальних систем спостережень, контролю та оцінювання стану природного середовища (моніторингу) як у місцях інтенсивної дії, так і в глобальному масштабі. Виникає також проблема визначення допустимих екологічних навантажень і відповідного обмеження (нормування) наявних антропогенних дій з урахуванням сукупності шкідливого впливу багатьох чинників, а також можливих екологічних, економічних і соціальних наслідків.

Розрахунок транскордонних потоків, що стосуються внесків регіонів або держав у проблему транскордонного перенесення, може бути реалізований різними методами [1, 3-8]. Однією з перших робіт цього напрямку, в якій алгоритм було доведено до розрахункової методики, є робота [6]. Вона ґрунтується на відомому аналітичному рішенні для точкового джерела, усередненому за висотою, і траєкторному аналізі порціями на стандартних інтервалах часу. Метод заснований на таких положеннях: межу держави представляють контуром, що складається із прямолінійних відрізків рівної довжини (150×150 км); положення домішки у просторі розглядають тільки в дискретні моменти часу, розділені стандартними інтервалами, що дорівнюють приблизно чотирьом добам; потік домішок обчислюють через елемент межі, що є вертикальним прямокутником нескінченної висоти, в основі якого лежить стандартний відрізок прийнятої довжини. За даними про джерела забруднення та метеорологічні характеристики проводять розрахунок поширення домішок в атмосфері, охолодження (сухого і вологого) з осіданнями на підстильну поверхню по порціях часу уздовж траєкторії свого переміщення.

Розрахунок поширення забруднень з різних джерел в атмосфері та осадженню їх на підстильну поверхню висвітлено у багатьох дослідженнях [1, 3-8]. Виконують розрахунок для поширення як від миттєвих точкових, так і безперервних джерел різної висоти на малих і великих відстанях домішок з різними швидкостями осадження на підстильну поверхню і поверхню зі складним рельєфом.

Розглядаючи проблеми забруднення атмосфери на регіональному рівні, кажучи про транскордонне перенесення, маємо зважати на перенесення забруднювальних речовин у межах конкретного регіону. Тут, на нашу думку, заслуговує уваги використання спрощених (інженерних) методик.

Оцінити величину потенційно можливих транскордонних потоків, що формуються в кожній області, можливо з використанням методу аналогій на підставі даних про викиди в атмосферу в даному регіоні та площі поверхонь з найбільшими сорбційними властивостями (лісові насадження та водні поверхні). При цьому використано результати досліджень щодо оцінювання захищеності атмосфери від забруднень, які проведено раніше [2]. Під час визначення узагальненого показника захищеності враховано такі базові показники: інтенсивність переміщення повітряних мас, допустиме нагромадження забруднювальних речовин в атмосферному повітрі, здатність розкладання в атмосфері шкідливих домішок, очищення атмосфери завдяки гравітаційному осадженню шкідливих речовин та вимиванню з опадами, наявність рослинного покриву.

Результати дослідження. Аналіз даних викидів забруднювальних речовин в атмосферне повітря за видами економічної діяльності для Дніпропетровської обл. показав, що найбільший внесок, за даними [9], в забруднення атмосфери регіону вносять металургійне виробництво і виробництво готових металевих виробів, а також виробництво і розподіл електроенергії (відповідно 53,53 і 20,96 % від загального об'єму викидів). Середньорічні викиди високих труб становлять близько 73 % від загального об'єму викидів стаціонарних джерел.

Для умов Дніпропетровської обл. за даними Гідрометеоцентру, середньорічна кількість днів з опадами становить 151, з туманами – 44, зі штилем – 53. Відповідно до цього максимальна кількість днів у році, в які транскордонне перенесення можливе, буде становити 117 днів (32,05 %).

Аналіз галузевої специфіки, характеристик джерел викидів, якісного і кількісного складу викидів і кліматичних умов (кількість днів з опадами, туманами, інверсіями, штилем) показав, що максимально можлива частка для транскордонного перенесення забруднювальних речовин з території Дніпропетровської обл. становить від загального об'єму викидів стаціонарних джерел: $73 \cdot 117 / 365 = 23,4\%$.

На підставі аналізу за відповідними характеристиками для сусідніх областей (Донецька, Запорізька, Кропивницька, Миколаївська, Полтавська, Харківська, Херсонська) оцінено внесок максимально можливого трансграничного потоку забруднень з їх територій на територію Дніпропетровської обл. Результати розрахунків (на прикладі 2013 р.) наведено в таблиці.

Табл. Максимально можливе забруднення атмосферного повітря Дніпропетровської обл. внаслідок транскордонного перенесення

Область	Валові викиди від стаціонарних джерел, тис. т	Частка від загального об'єму викидів, %	Небезпечний напрямок вітру
Донецька	1589,9	2,4	східний
Запорізька	231,2	11,4	північний, північно-східний
Кропивницька	44,3	1,12	північно-західний, західний
Миколаївська	11,4	1,4	північно-західний
Полтавська	60,4	2,72	південний, південно-східний
Харківська	142,9	4,55	південний, південно-західний
Херсонська	11,5	4,9	північний

Найбільша частка забруднень надходила від джерел, розташованих на території Донецької і Запорізької обл. Це зумовлено тим, що атмосфера саме цих областей забруднюється найінтенсивніше. Враховуючи кількість домішок, яка надходить на територію Дніпропетровської обл., об'єм викидів забруднювачів від її стаціонарних джерел, максимально можливий транскордонний потік за межі регіону становить 13,9 % від загального об'єму викидів.

Міграцію забруднювальних речовин з атмосфери у поверхневий покрив (грунт) визначено за рахунок гравітаційного осадження та вимивання з опадами. Відомо, що гравітаційне осадження найефективніше для твердих частинок. Практично всі тверді частинки повністю випадають на земну поверхню. Гравітаційне осадження газових забруднювальних речовин і аерозолів практично відсутнє. Згідно з початковими даними [9] і загальними кліматичними умовами степової зони України, до якої належить Дніпропетровська обл., з урахуванням внеску транскордонного перенесення та величини вимивання газових забруднювальних речовин з використанням моделі поширення пасивних домішок [10] було проведено розрахунок полів забруднень атмосферного повітря.

Результати розрахунку представлено у вигляді ізоліній забруднення на карті Дніпропетровської обл. на прикладі діоксиду азоту (рис.).

Основними джерелами забруднення за заданими інгредієнтами є підприємства, розташовані у Дніпровському і Криворізькому р-нах.

Згідно з отриманими даними у Дніпропетровському р-ні максимальна концентрація діоксиду азоту від основних джерел забруднення становить $0,34 \text{ мг/м}^3$. Область забруднення охопить Синельниковський р-н повністю (максимальна концентрація $0,12 \text{ мг/м}^3$), частково Петриківський ($0,16 \text{ мг/м}^3$), Новомосковський, Криничанський ($0,12 \text{ мг/м}^3$), Павлоградський ($0,1 \text{ мг/м}^3$), Солонянський, Магдалинівський, Юрвіський, Верхньодніпровський ($0,06 \text{ мг/м}^3$), Васильківський ($0,04 \text{ мг/м}^3$), П'ятихатський ($0,02 \text{ мг/м}^3$). Для Криворізького р-ну максимальна концентрація діоксиду азоту становила $0,22 \text{ мг/м}^3$. Забруднення поширюється на Широківський (максимальна концентрація $0,14 \text{ мг/м}^3$), П'ятихатський ($0,06 \text{ мг/м}^3$), Софіївський ($0,04 \text{ мг/м}^3$), Апостоловський ($0,02 \text{ мг/м}^3$) р-ни.

Аналіз результатів досліджень показав, що викиди діоксиду азоту досягають районів, розташованих навколо джерел забруднень, у концентраціях, які значно перевищують ГДК, що надасть, за літературними даними, відчутний токсичний ефект на зелені.



Рис. Розподіл викидів діоксиду азоту від основних джерел забруднення атмосфери (інтервал концентрацій між ізолініями – $0,10 \text{ мг/м}^3$)

Висновки:

1. У вирішенні завдань транскордонного перенесення забруднювальних речовин на регіональному рівні доцільним є використання інженерних методик, які допускають кількісні оцінки.

2. Оскільки різні регіони мають свої природно-кліматичні особливості, для підвищення точності прогнозу доцільно враховувати природну захищеність атмосферного повітря території.
3. Розрахунок, проведений для умов Дніпропетровської обл., показав, що частка для трансграничного перенесення забруднювальних речовин з території регіону становить 23,4 % від загального об'єму викидів стаціонарних джерел, а з урахуванням забруднень, що були привнесені зі сусідніх областей – 13,9 %.

Надійшла до редакції 27.12.2016 р.

Література

1. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния окружающей природной среды / Ю.А. Израэль. – М. : Изд-во "Гидрометеоздат", 1984. – 260 с.
2. Каспийцева В.Ю. Оценка защищенности территорий от атмосферных загрязнений при планировании и застройке / В.Ю. Каспийцева // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. – Сер.: Энергетика, экология, компьютерные технологии в строительстве. – Днепропетровск : Изд-во Приднепр. акад. стр-ва и архитектуры. – 2014. – Вып. 76. – С. 143-147.
3. Хорват Л. Кислотный дождь / Л. Хорват. – М. : Изд-во "Стройиздат", 1990. – 81 с.
4. Марчук Г.И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды / Г.И. Марчук. – М. : Изд-во "Наука", 1982. – 320 с.
5. Марчук Г.И. Некоторые применения методов оптимизации в проблеме окружающей среды / Г.И. Марчук, В.В. Пепенко // Вычислительные методы в прикладной математике. – Новосибирск : Изд-во "Наука", 1982. – С. 3-21.
6. Израэль Ю.А. Модель для оперативной оценки трансграничных потоков антропогенных примесей / Ю.А. Израэль, Ф.Я. Прессман, Ж.Э. Михайлова. – М. : Изд-во ДАН СССР. – 1980. – Т. 253, № 4. – С. 848-852.
7. Беляев Н.Н. Прогнозирование качества окружающей среды методом вычислительного эксперимента / Н.Н. Беляев, Е.Д. Коренной, В.К. Хрущ. – Днепропетровск : Изд-во "Наука и образование", 2000. – 208 с.
8. Полищук С.З. Методические аспекты оценки трансграничного переноса в атмосфере загрязняющих веществ / С.З. Полищук, В.Ю. Каспийцева, А.Н. Бугор, Е.Ю. Минко // Экология і природокористування : зб. наук. праць. – Дніпропетровськ. – 2007. – Вип. 10. – С. 154-163.
9. Национальна доповідь про стан навколишнього середовища в Україні у 2014 році / Міністерство екології та природних ресурсів України. Офіц. веб-сайт. [Електронний ресурс]. – Доступний з <http://www.menr.gov.ua/dopovid>.
10. Каспийцева В.Ю. Оценка рассеивания выбросов загрязняющих веществ в атмосфере промышленного региона / В.Ю. Каспийцева // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. – Днепропетровск. – 2011. – Вып. 62. – С. 189-193.

Надійшла до редакції 10.12.2016 р.

Каспийцева В.Ю., Кушнир Е.Г., Полищук С.З. Трансграничный перенос загрязнителей и природная защищенность атмосферы

Рассмотрены аспекты проблемы трансграничного загрязнения воздуха. При решении этих вопросов целесообразным является, исходя из масштабов рассматриваемой территории, совместное использование строгих математических моделей, требующих трудоемкой численной реализации и инженерных методик, допускающих аналитические решения. Предложены методические подходы для оценки величины потенциально возможных трансграничных потоков загрязняющих веществ в атмосфере на глобальном и региональном уровнях с учетом природной защищенности атмосферы. Реализация методики выполнена на примере Днепропетровской обл.

Ключевые слова: антропогенное воздействие, трансграничный перенос, загрязнение, защищенность атмосферы, подстилающая поверхность.

Kaspyytseva V.Yu., Kushnir Ye.G., Polischuk S.Z. Cross Border Transfer of Contaminants and Natural Protection of Atmosphere

The aspects of cross border transfer of contaminants of air are considered. Strict mathematical models are efficient to be applied at solving these problems according to the theory scales. These models require labour intensive numeral implementation and engineering methods assuming analytical decisions. Methodical approaches are offered for the estimation of the size of potentially possible cross border streams of contaminants in the atmosphere on global and regional levels taking into account natural protection of atmosphere. The implementation of the method is executed on the example of the Dnepropetrovsk area.

Keywords: anthropogenic influence, cross border transfer, contamination, protection of atmosphere, laying surface.

УДК 658.567

СПОСОБИ ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВОЇ ВИТРАТИ ВОДИ У ВОДНИХ ОБ'ЄКТАХ ПРИ РОЗРАХУНКУ ГРАНИЧНО ДОПУСТИМОГО СКИДУ ЗАБРУДНЮВАЛЬНИХ РЕЧОВИН ЗІ ЗВОРОТНИМИ ВОДАМИ

О.С. Ошуркевич-Панківська¹, Ю.І. Панківський²

Керуючись нормативною документацією з нормування впливу об'єктів господарювання на поверхневі водойми, проаналізовано методи визначення найменших розрахункових величин асиміляційної спроможності річок. Виконано розрахунки мінімальної витрати води 95 % забезпеченості у річці Бухта різними способами. Проаналізовано вплив отриманих результатів розрахунку на кратність розведення зворотних вод Хідновицького ЦВНГК Львівського відділення з видобутку нафти, газу та газового конденсату Філії ГПУ "Полтавагазвидобування" у с. Хідновичі Мостиського р-ну Львівської обл.

Ключові слова: розрахункова мінімальна витрата води 95 % забезпеченості, кратність розведення, гранично допустимий скид, зворотні води.

Вплив об'єктів господарської діяльності на стан поверхневих вод залежить від кількості та якості зворотних вод, а також від асиміляційної спроможності природного водного об'єкта, зумовленої якістю води у ньому, зокрема його водністю. Підрозділ "Вплив на водне середовище" у матеріалах оцінювання впливу об'єктів господарювання на навколишнє середовище (ОВНС) розробляють на основі результатів розрахунку гранично допустимого скиду (ГДС) забруднювальних речовин зі зворотними водами об'єкта у природний водний об'єкт – приймач зворотних вод [1].

Значення ГДС для усіх категорій користувачів визначають як добуток максимальної годинної витрати стічних вод q ($\text{м}^3/\text{год}$) на допустиму до скиду концентрацію забруднювальної речовини $C_{\text{доц}}$ ($\text{г}/\text{м}^3$). Для визначенні умов скиду стічних вод спочатку розраховують значення допустимої концентрації, що забезпечує нормативну якість води у контрольних створах [2]

$$C_{\text{доц}} = n \cdot (C_{\text{док}} e^{kt} - C_{\text{ф}}) + C_{\text{ф}}, \quad (1)$$

де: $C_{\text{док}}$ – гранично допустима концентрація забруднювальної речовини у воді водотоку, $\text{г}/\text{м}^3$; $C_{\text{ф}}$ – фонові концентрації забруднювальної речовини у водотоці до випуску зворотних вод, $\text{г}/\text{м}^3$; k – коефіцієнт неконсервативності, $1/\text{доба}$; t – час

¹ ст. викл. О.С. Ошуркевич-Панківська, канд. с.-г. наук – НЛТУ України, м. Львів;

² доц. Ю.І. Панківський, канд. ф.-м. наук – НЛТУ України, м. Львів