

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О.М. БЕКЕТОВА**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ,  
САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ І КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ  
з навчальної дисципліни**

# **«ГЕОХІМІЯ ДОВКІЛЛЯ»**

*(для студентів денної і заочної форм навчання спеціальності  
183 – Технології захисту навколишнього середовища)*

**Харків – ХНУМГ ім. О. М. Бекетова – 2017**

Методичні вказівки до практичних занять, самостійної роботи і контрольної роботи з навчальної дисципліни «Геохімія довкілля» (для студентів денної і заочної форм навчання спеціальності 183 – Технології захисту навколишнього середовища) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. О. М. Дрозд, Д. В. Дядін. – Харків : ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2017. – 20 с.

Укладачі канд. с.-г. наук О. М. Дрозд,  
Д. В. Дядін

Рецензент Ф. В. Стольберг, доктор технічних наук, професор Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

*Рекомендовано кафедрою міських та регіональних екосистем, протокол № 1 від 31.08.2015 р.*

## ЗМІСТ

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1 Міграція хімічних елементів у довкіллі .....</b>                               | <b>4</b>  |
| <b>1.1 Розрахунки показників водної міграції хімічних елементів .....</b>           | <b>4</b>  |
| <b>1.2 Розрахунок показників атмосферної міграції елементів .....</b>               | <b>4</b>  |
| <b>1.3 Розрахунки показників біогеохімічної міграції.....</b>                       | <b>6</b>  |
| <b>1.4 Розрахунки радіологічних величин .....</b>                                   | <b>8</b>  |
| <b>1.5 Показники радіаційної безпеки будівельних матеріалів.....</b>                | <b>9</b>  |
| <b>2 Геохімічні методи відновлення порушених компонентів довкілля .....</b>         | <b>11</b> |
| <b>2.1 Оцінка рівня забруднення ґрунтового покриву міських територій.....</b>       | <b>11</b> |
| <b>2.2 Оцінка рівня забруднення ґрунтів сільськогосподарського призначення.....</b> | <b>12</b> |
| <b>2.3 Оцінка рівня забруднення донних відкладів .....</b>                          | <b>13</b> |
| <b>2.4 Опрацювання результатів спектрального аналізу геохімічних проб .....</b>     | <b>14</b> |
| <b>Самостійна робота студентів .....</b>  | <b>15</b> |
| <b>Контрольна робота для студентів заочної форми навчання .....</b>                 | <b>16</b> |
| <b>Список рекомендованих джерел .....</b>   | <b>17</b> |
| <b>Додаток.....</b>   | <b>17</b> |

# ІМІГРАЦІЯ ХІМІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ У ДОВКІЛЛІ

## 1.1 Розрахунки показників водної міграції хімічних елементів

Показником здатності хімічних елементів до міграції у природних водах у розчиненому вигляді, тобто переходу із земної кори до водних потоків, є коефіцієнт водної міграції. Він обчислюється як відношення вмісту елементу в сухому залишку проби води до кларку цього елементу – середній концентрації у земній корі (див. табл. А1 у додатку):

$$K_B = \frac{C_{\text{сух.залиш.}}^e}{C_{\text{кларк}}^e} \quad (1)$$

де  $C_{\text{сух. залиш.}}^e$  – вміст елементу в сухому залишку, %  
 $C_{\text{кларк}}^e$  – кларк елементу, % за масою

Вміст елементу в сухому залишку проби можна визначити за формулою:

$$C_{\text{сух.залиш.}}^e = \frac{C_{\text{вод.}}^e}{M} \cdot 100 \% \quad (2)$$

де  $C_{\text{вод.}}^e$  – вміст елементу в воді, мг/л  
 $M$  – мінералізація води, мг/л

Коефіцієнти водної міграції, обчислені для кожного іоноутворюючого елементу в пробі природних вод, ранжують за зменшенням (складають ряди водної міграції) і визначають категорію рухомості кожного хімічного елементу:

| $K_B$                       | Категорія    |
|-----------------------------|--------------|
| $n \cdot 10 - n \cdot 10^2$ | дуже рухомі  |
| $n \cdot 10^0$              | легко рухомі |
| $n \cdot 10^{-1}$           | рухомі       |
| $\leq n \cdot 10^{-2}$      | слабо рухомі |

Показником винесення хімічних елементів з поверхневим стоком є середньорічний модуль стоку з певної території.

*Модуль стоку* – кількість води (або речовини), яка стікає з поверхневим стоком з одиниці площі території за одиницю часу. Залежно від ландшафтної зони на території України ця величина варіює від 0,5 (степ) до 3 – 4 л/сек·км<sup>2</sup> (змішані ліси). Для розрахунків середнє значення модулю стоку в лісостеповій зоні України можна прийняти 1,5 л/сек·км<sup>2</sup>.

## 1.2 Розрахунок показників атмосферної міграції елементів

### *Показники міграції твердофазних компонентів*

Основним показником міграції елементів з атмосфери до ґрунтового покриву виступає пилове навантаження, яке визначається кількістю твердофазних випадінь з атмосфери на одиницю площі за одиницю часу (модуль атмосферного надходження речовини).

$$P = \frac{Q}{S \cdot t} \quad \begin{array}{l} \text{кг/км}^2 \cdot \text{добу,} \\ \text{т/км}^2 \cdot \text{рік} \end{array} \quad (3)$$

Для розрахунку орієнтовного пилового навантаження від викидів підприємства використовують залежність:

$$P_i = \frac{Q_i \cdot \alpha \cdot K}{\pi \cdot R^2}, \quad \text{кг/км}^2 \cdot \text{добу} \quad (4)$$

$Q_i$  – річний викид  $i$ -го компонента, т/рік;

$R$  – радіус впливу підприємства, км;

$\alpha$  – коефіцієнт, що характеризує осадження викиду в зоні впливу підприємства. Значення коефіцієнта  $\alpha$  приймають такі:

для пилу  $\alpha = 0,4$ ;

для Fe, Mn, Cr та їхніх сполук  $\alpha = 0,33$ ;

для Pb, Zn, Ca, Sr тощо  $\alpha = 0,22$ .

$K$  – коефіцієнт пропорційності, дорівнює 2,76.

Для оцінки пилового навантаження часто використовують снігову геохімічну зйомку, під час якої відбирають пробу снігу й аналізують склад води. Розрахувати пилове навантаження на сніговий покрив, наприклад на території міста, можна виходячи з таких даних: термін встановлення постійного снігового покриву, розміри площі відбору проби, об'єм води після танення проби, вміст у воді завислих часток або розчинених компонентів.

#### **Приклад розрахунку:**

У лісопарковій зоні міста відібрано пробу снігу з ділянки  $0,5 \times 0,5$  м на 30-ту добу після встановлення снігового покриву. Після танення проби отримано 5 л води, у якій визначено вміст завислих речовин –  $30,0$  мг/дм<sup>3</sup> та свинцю –  $0,05$  мг/дм<sup>3</sup>. Необхідно визначити величину пилового навантаження та питомого навантаження свинцем на цій території.

У відібраній пробі снігу міститься  $0,05 \cdot 5 = 0,25$  мг свинцю і  $30,0 \cdot 5 = 30$  мг завислих частинок (пилу). Ця кількість речовини випала за 30 діб на ділянку площею  $0,5 \cdot 0,5 = 0,25$  м<sup>2</sup>. Виходячи з формули (3), розрахуємо величини атмосферного навантаження:

$$P_{\text{Pb}} = \frac{Q}{S \cdot t} = \frac{0,25 \text{ мг}}{0,25 \text{ м}^2 \cdot 30 \text{ діб}} = 0,033 \frac{\text{мг}}{\text{м}^2 \cdot \text{добу}} = 0,033 \frac{\text{кг}}{\text{км}^2 \cdot \text{добу}}$$

$$P_{\text{пил}} = \frac{Q}{S \cdot t} = \frac{30 \text{ мг}}{0,25 \text{ м}^2 \cdot 30 \text{ діб}} = 8,0 \frac{\text{мг}}{\text{м}^2 \cdot \text{добу}} = 8,0 \frac{\text{кг}}{\text{км}^2 \cdot \text{добу}}$$

#### **Показники міграції сірки й азоту**

Окремо розглядають процеси атмосферної міграції сірки й азоту в складі сполук NO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> тощо. Для оцінки впливу на рослинний покрив приймають величину критичного навантаження сіркою й азотом, яка становить для S –  $2$  т/км<sup>2</sup>·рік, для N –  $1$  т/км<sup>2</sup>·рік.

Розрахунок орієнтовного навантаження на ґрунтово-рослинний покрив сіркою й азотом, що створюється на певній території, проводять за формулою:

$$P_{N,S} = C_{N,S} \cdot V_t \cdot K, \quad \text{кг/км}^2 \cdot \text{добу} \quad (5)$$

де  $P_{N,S}$  – питоме навантаження сіркою або азотом,  $\text{кг/км}^2 \cdot \text{добу}$ ;

$C_{N,S}$  – сумарна концентрація сірки або азоту ( $\text{мг/м}^3$ ) у приземному шарі атмосферного повітря, розрахована виходячи із масової частки цих елементів у сполуках;

$V_t$  – швидкість випадіння, приймають  $0,125 \text{ см/с}$ ;

$K$  – коефіцієнт пропорційності, дорівнює  $864$ .

Отримані значення навантаження співвідносять із критичними, величини яких були наведені вище. Сумарне навантаження сіркою й азотом в умовних одиницях дорівнює сумі відповідних коефіцієнтів.

### 1.3 Розрахунки показників біогеохімічної міграції

Характеристикою хімічного складу живої речовини є склад її мінеральної частини – золи, що обумовлюється вибірковістю поглинання та накопичування хімічних елементів. Концентрації хімічних елементів у золі зазвичай виражають у  $\text{мг/кг}$  або  $\%$ .

Для якісної та кількісної оцінки переходу (транслокації) хімічних елементів до рослин використовують такі показники.

Показник біологічного поглинання  $A_i$  :

$$A_i = \frac{C_{\text{у золі рослини}}^i}{C_{\text{кларк}}^i} \quad (6)$$

$A_i$  – це співвідношення концентрації певного хімічного елементу у золі рослини до його кларку в земній корі (табл. Д1 додатку).

За величиною показника біологічного поглинання виділяють ряди біологічного поглинання хімічних елементів (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Ряди біологічного поглинання хімічних елементів

| Категорія  | Величина $A_i$                      | Хімічні елементи   |
|--|-------------------------------------|--|
| Елементи енергійного біологічного накопичення          | $n \cdot 10^1 - n \cdot 10^2$       | P, S, Cl, Br, I  |
| Елементи сильного біологічного накопичення             | $n \cdot 10^0$                      | Ca, Na, K, Mg, Sr, Zn, B, Se   |
| Елементи середнього біологічного захвату               | $n \cdot 10^{-1}$                   | Mn, F, Ba, Ni, Cu, Ga, Co, Pb, Sn, As, Mo, Hg, Ag, Ra                      |
| Елементи слабкого і дуже слабкого біологічного захвату | $n \cdot 10^{-2} - n \cdot 10^{-3}$ | Si, Al, Fe, Ti, Zr, Rb, V, Cr, Li, Y, Nb, Th, Sc, Be, Cs, Ta, U, W, Sb, Cd |

Сума визначених показників біологічного поглинання для різних видів рослин складає їхню біогеохімічну активність:  $BXA = \sum A_i$ . Деякі рослини характеризуються певною здатністю до накопичення, іноді вибіркового, певних хімічних елементів.

Поглинання хімічних елементів рослинами на певній ділянці можна охарактеризувати за допомогою ґрунтово-рослинного коефіцієнту ГРК:

$$\text{ГРК} = \frac{C_{\text{у золі рослини}}^i}{C_{\text{у ґрунті (субстраті)}}^i} \quad (7)$$

Цей коефіцієнт відрізняється від  $A_i$  своєю локальністю – він характеризує накопичення елемента на певній ділянці. Також можна оцінити й перехід елементів до рослин із води (для водних рослин) або з повітря, розраховавши таким же способом водно-рослинний коефіцієнт (ВРК) та газово-рослинний коефіцієнт (ГаРК).

Під час виконання практичних робіт та контрольної роботи обчислені коефіцієнти біологічного поглинання та ґрунтово-рослинні коефіцієнти доцільно зводити до єдиної таблиці, що полегшить інтерпретування отриманих даних на предмет визначення закономірностей накопичення тих чи інших елементів, тими чи іншими видами рослин.

Для порівняння здатності рослини накопичувати хімічні елементи своїми різними органами (листя, плодами, коренями тощо) розраховують коефіцієнт відносного накопичення в органах рослин, який є співвідношенням концентрацій у різних органах, наприклад:

$$K = \frac{C_{\text{у листях}}^i}{C_{\text{у плодах}}^i} \quad (8)$$

Для перерахунку вмісту елемента в сухій речовині рослини використовують показник зольності, який є співвідношенням маси золи, що утворилася при спалюванні проби рослини до маси вихідної сухої речовини:

$$Z = \frac{m_{\text{золи}}}{m_{\text{сух. речов.}}} \cdot 100\% \quad (9)$$

Зольність зазвичай виражають у відсотках.

Щоб визначити вміст хімічних елементів у сухій речовині, спочатку розраховують масу сухої речовини, яка відповідає 1 кг золи, тобто яку кількість сухої речовини необхідно спалити, щоб отримати 1 кг золи:

$$Z = \frac{1 \text{ кг золи}}{m_{\text{сух. речов.}}} \cdot 100\% \Rightarrow m_{\text{сух. речов.}} = \frac{100 \cdot 1}{Z} [\text{кг}]$$

Далі, знаючи вміст хімічних елементів у визначеній масі сухої речовини, за пропорцією перераховують вміст в 1 кг сухої речовини.

Наприклад, необхідно визначити вміст цинку в сухій речовині рослини, якщо за результатами спектрального аналізу його концентрація у золі становить 60 мг/кг, а зольність, яку визначали у ході підготовки проби до аналізу, складає 7,5 %. По-перше, необхідно встановити, якій кількості сухої речовини відповідає 1 кг золи при даній зольності:  $100 \cdot 1 / 7,5 = 13,3$  кг. Наступним етапом є розрахунок кількості цинку в 1 кг сухої речовини, якщо у 13,3 кг мі-

ститься 60 мг цинку, що є простою пропорцією:  $1 \cdot 60 / 13,3 = 4,5$  мг. Отже, концентрація цинку в сухій речовині рослини – 4,5 мг/кг або  $0,45 \cdot 10^{-3} \%$ .

### 1.4 Розрахунки радіологічних величин

Основними величинами, що використовують у радіоекології (радіаційній медицині, біології) є активність матеріалів (гірських порід, ґрунтів, води, будівельних матеріалів, відходів, харчових продуктів), яка кількісно відображає ступінь радіоактивності речовини, та доза, яка характеризує вплив джерела іонізуючого випромінювання на середовище. Ці величини та їхні похідні виражаються в одиницях системи СІ та позасистемних одиницях, які наведені у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Фізичні величини, що використовують у радіології

| Фізична величина                             | Одиниця, її назва та позначення (міжнародне, українське) |                                 | Співвідношення між одиницями                      |  |
|--|--|---------------------------------|---|--|
|  | Позасистемна   | СІ                              | Позасистемної і СІ                                | СІ і позасистемної                             |
| Активність нуклідна в радіоактивному джерелі | Кюрі (Ci, Ки)  | Бекерель (Bq, Бк)               | $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$     | $1 \text{ Бк} = 2,7 \cdot 10^{-11} \text{ Ки}$ |
| Експозиційна доза                            | Рентген (R, Р)   | Кулон на кілограм (C/kg, Кл/кг) | $1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$  | $1 \text{ Кл/кг} = 3876 \text{ Р}$             |
| Потужність експозиційної дози                | Рентген за секунду (R/s, Р/с)                            | Ампер на кілограм (A/kg, А/кг)  | $1 \text{ Р/с} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ А/кг}$ | $1 \text{ А/кг} = 3876 \text{ Р/с}$            |
| Поглинена доза                               | Рад (rad, рад)   | Грей (Gy, Гр)                   | $1 \text{ рад} = 0,01 \text{ Гр}$                 | $1 \text{ Гр} = 100 \text{ рад}$               |
| Інтенсивність поглиненої дози                | Рад за секунду (rad/s, рад/с)                            | Грей за секунду (Gy/s, Гр/с)    | $1 \text{ рад/с} = 0,01 \text{ Гр/с}$             | $1 \text{ Гр/с} = 100 \text{ рад/с}$           |
| Еквівалентна доза                            | Бер (rem, бер)   | Зіверт (Sv, Зв)                 | $1 \text{ бер} = 0,01 \text{ Зв}$                 | $1 \text{ Зв} = 100 \text{ бер}$               |
| Інтенсивність еквівалентної дози             | Бер за секунду (rem/s, бер/с)                            | Зіверт за секунду (Sv/s, Зв/с)  | $1 \text{ бер/с} = 0,01 \text{ Зв/с}$             | $1 \text{ Зв/с} = 100 \text{ бер/с}$           |

#### Приклади розрахунків радіологічних величин

##### Приклад 1

Потужність поглиненої дози в центрі впливу радіотерапевтичного джерела складає 58 рад/хв. У двох точках опроміненого тіла поглинена доза складає: в точці № 1 – 51%; в точці № 2 – 39% від дози у центрі впливу. Тривалість опромінення складає 5 хвилин 24 секунди. Визначити поглинену дозу в точках № 1 і 2 та виразити її в системі СІ.

*Рішення:* представимо час впливу джерела як 5,4 хвилини, використаємо співвідношення  $1 \text{ рад} = 0,01 \text{ Гр}$  та розрахуємо значення поглиненої дози у центрі впливу ( $D_{\text{ц}}$ ), в точках № 1 ( $D_1$ ) и №2 ( $D_2$ ):

$$D_{\text{ц}} = 58 \times 5,4 = 313,2 \text{ рад} = 3,132 \text{ Гр};$$

$$D_1 = 313,2 \times 0,51 = 159,73 \text{ рад} = 1,597 \text{ Гр};$$

$$D_2 = 313,2 \times 0,39 = 122,15 \text{ рад} = 1,222 \text{ Гр}.$$



### *Приклад 2*

На робочому місці рівень зовнішньої проникної радіації складає 50 мбер/год. Визначити, яку дозу отримає працівник за один робочий день за умови тривалості зміни чотири години. Виразити величину у системі СІ.

*Рішення:*

$$2550 \text{ мбер/год} \times 4 = 200 \text{ мбер}$$

Згідно співвідношенню системних та позасистемних одиниць (табл. 2.1):

$$200 \text{ мбер} \times 0,01 = 2 \text{ мЗв.}$$

Таким чином, індивідуальна доза персоналу за одну 4-х годинну робочу зміну за даних умов складатиме 2 мЗв.

### *Приклад 3*

Унаслідок радіаційної аварії 1 854 700 осіб, що мешкають на прилеглий до радіаційного об'єкту території, отримали підвищену дозу опромінення. Для 2,7 тис. осіб індивідуальна ефективна еквівалентна доза склала від 22 до 66 мЗв, для 136 тис. осіб – от 4,4 до 22 мЗв и для 1 716 тис. осіб – от 1 до 4,4 мЗв. Розрахувати колективну ефективну еквівалентну дозу опромінення, отриману населенням, що мешкає на даній території.

*Рішення:*

$$D_{\text{кол}} = [ 2\,700 \times (22 + 66)/2 + 136\,000 \times (4,4 + 22)/2 + \\ + 1\,716\,000 \times (1 + 4,4)/2 ] / 1000 = 6\,547,2 \text{ люд} \cdot \text{Зв.}$$

## **1.5 Показники радіаційної безпеки будівельних матеріалів**

Під час будівництва регламентуються такі радіаційні параметри:

- ефективна сумарна питома активність природних радіонуклідів (Бк/кг) радію-226, торію-232, калію-40 у сировині й будівельних матеріалах;
- потужність поглиненої дози в повітрі приміщень, яка вимірюється в мкГр/год (при цьому коефіцієнт переходу приймається рівним 1 мкР/год = 0,0088 мкГр/год);
- середньорічна еквівалентна рівноважна об'ємна активність радону-222, яка вимірюється в Бк/м<sup>3</sup>.

Будівельні об'єкти розділяють на чотири групи залежно від допустимих рівнів перелічених вище радіаційних параметрів. Допустимий рівень, у свою чергу, визначається часом (тривалістю) перебування на ньому людей.

До першої групи відносять об'єкти житло-цивільного, промислового та іншого видів призначення, де передбачається тривале перебування людей. До другої групи відносять аналогічні об'єкти, введені в експлуатацію до 1992 року (часу введення нормативів на радіаційні властивості будівельних матеріалів і об'єктів). Третя група включає об'єкти промислового призначення, де виключене тривале перебування людей, і дорожнього будівництва, ро-

зташовані в межах територій населених пунктів. Четверта група об'єднує ізолювані об'єкти промислового, господарського і дорожнього призначення, експлуатація яких практично не пов'язана з перебуванням людей (дамби, підземні споруди), основи доріг, перекриті зверху шаром іншого матеріалу.

Допустимі рівні регламентованих параметрів наведені в .3.

Таблиця 1.3 – Допустимі рівні радіаційних параметрів при будівництві

| Регламентовані радіаційні параметри  | Допустимі рівні для груп будівельних об'єктів |                |                 |                  |
|--|---|----------------|-----------------|------------------|
|  | 1   | 2              | 3               | 4                |
| Потужність поглиненої дози в приміщенні, мкГр/год (мкР/год)                        | ≤ 0,26<br>(30)                                | ≤ 0,44<br>(50) | не нормується   | не нормується    |
| Середньорічна еквівалентна рівноважна об'ємна активність Rn-222, Бк/м <sup>3</sup> | ≤ 50  | ≤ 50           | не нормується   | не нормується    |
| Ефективна питома активність (A <sub>еф</sub> ) ПРН у будівельних матеріалах, Бк/кг | ≤ 370<br>1 клас                               | не нормується  | ≤ 740<br>2 клас | ≤ 1350<br>3 клас |

Сумарна ефективна питома активність будівельних матеріалів і сировини для їхнього виробництва визначається питомим вмістом у них природних радіонуклідів (ПРН) – радію-226, торію-232, калію-40.

Розрахунок цього показника проводять за формулою:

$$A_{\text{еф}} = C_{\text{Ra}} + 1,31C_{\text{Th}} + 0,085C_{\text{K}}, \quad (10)$$

де  $C_{\text{Ra}}$ ,  $C_{\text{Th}}$ ,  $C_{\text{K}}$  – концентрація відповідно радію-226, торію-232, калію-40 у будівельних матеріалах, Бк/кг.

Залежно від величини  $A_{\text{еф}}$  будівельні матеріали розділяють на 3 класи (3). Матеріали 1-го класу радіаційної якості характеризуються  $A_{\text{еф}} \leq 370$  Бк/кг і можуть бути використані при будівництві об'єктів усіх груп без обмеження. Матеріали 2-го класу з  $A_{\text{еф}} \leq 740$  Бк/кг можуть бути використані для будівництва промислових і дорожніх об'єктів третьої групи. Будівельні матеріали 3-го класу з  $A_{\text{еф}} \leq 1350$  Бк/кг можуть бути використані при будівництві об'єктів четвертої групи. Для використання будівельних матеріалів з  $A_{\text{еф}} > 1350$  Бк/кг (наприклад, за наявності в них видатних декоративних властивостей) необхідне одержання спеціального дозволу.

## 2 ГЕОХІМІЧНІ МЕТОДИ ВІДНОВЛЕННЯ ПОРУШЕНИХ КОМПОНЕНТІВ ДОВКІЛЛЯ

### 2.1 Оцінка рівня забруднення ґрунтового покриву міських територій

Оцінка стану ґрунтів міських територій здійснюється шляхом порівняння концентрацій токсичних елементів у ґрунтах з фоновими значеннями, наприклад регіональним фоном. У таблиці А2 і А3, наведених у додатку, показані фонові концентрації хімічних елементів у ґрунтах різних регіонів України, а також у ґрунтах Харківської області за результатами досліджень спеціалістів Харківського науково-дослідного інституту ґрунтознавства ім. Соколовського.

Кількісною мірою перевищення концентрації у точці опробування над фоном є коефіцієнт концентрації  $K_c$ .

$$K_c = \frac{C_{\text{ґрунт}}^e}{C_{\text{фон}}^e} \quad (11)$$

Оцінка рівня забруднення ґрунтів проводиться на основі відбору коефіцієнтів концентрації, що перевищують 1, тобто по точках з концентрацією вище фону (аномальною). Після відбору таких точок розраховують сумарний показник забруднення  $Z_c$ , який є сумою коефіцієнтів концентрації в аномальних точках:

$$Z_c = \sum_1^m K_c - (m - 1) \quad (12)$$

де  $K_c$  – коефіцієнти концентрації, що перевищують 1;

$m$  – кількість коефіцієнтів, що перевищують 1.

Показник  $Z_c$  є інтегральною характеристикою перевищення фонових концентрацій хімічних елементів у ґрунтах на певній ділянці дослідження. Тому, для достовірного визначення рівня забруднення ґрунтів необхідно визначити якомога більше елементів у пробі ґрунту. Зазвичай, відбувається визначення концентрацій певних груп (асоціацій) хімічних елементів-забрудників.

За величиною розрахованого сумарного показника забруднення визначають категорію забруднення ґрунтів, кожній з яких відповідає певний рівень небезпеки для населення (1).

Таблиця 2.1 – Шкала небезпеки забруднення ґрунтів населених пунктів

| Категорія забруднення ґрунтів | Величина ( $Z_c$ ) | Зміни показників здоров'я населення на ділянках забруднення   |
|-------------------------------|--------------------|---|
| Допустима                     | менше 16           | Найнижчий рівень захворюваності дітей і мінімальна частота функціональних відхилень   |
| Помірно небезпечна            | 16 – 32            | Зростання загальної захворюваності  |
| Небезпечна                    | 32 – 128           | Зростання загальної захворюваності, кількості дітей, що часто хворіють, дітей з хронічними захворюваннями, порушеннями стану серцево-судинної системи |
| Надмірно небезпечна           | більше 128         | Зростання захворюваності дитячого населення, порушення репродуктивної функції у жінок   |

Концентрації хімічних елементів у ґрунті зазвичай виражають у мг на кг ґрунту, мкг на кг ґрунту, відсотках, ppm (part per million). Усі ці одиниці виражають частку від цілого, тому між ними існують прості відповідності. Наприклад, оскільки міліграм є мільйонною часткою кілограму ( $10^{-6}$ ), а відсоток є сотою часткою ( $10^{-2}$ ), для того, щоб перейти між цими одиницями необхідно зменшити або збільшити величину концентрації на 4 знаки залежно від напрямку переходу. В англійській літературі часто використовують одиниці ppm (part per million), які є еквівалентом мг/кг.

## 2.2 Оцінка рівня забруднення ґрунтів сільськогосподарського призначення

Оцінка рівня забруднення ґрунтів сільськогосподарських угідь здійснюється шляхом порівняння визначеного вмісту хімічних елементів у ґрунті величиною ГДК, яка встановлюється за показниками шкідливості, й обґрунтування допустимих видів сільськогосподарської діяльності на даній ділянці.

Граничнодопустимі концентрації встановлюють за чотирма показниками шкідливості – транс-локаційним (накопичення елементів у рослинах), міграційним водним, міграційним повітряним та загально-санітарним (2).

Таблиця 2.2 – Допустимі рівні вмісту хімічних речовин у ґрунті за показниками шкідливості

| Найменування речовин | ГДК, мг/кг ґрунту з урах. фону (кларк) | Показники шкідливості |                |     |                     |
|----------------------|--|-----------------------|----------------|-----|---------------------|
|                      |  | транс-локаційний      | міграційний    |     | загально-санітарний |
|                      | водний                                 |                       | повітряний     |     |                     |
| <i>Рухомі форми</i>  |  |                       |                |     |                     |
| Мідь                 | 3,0                                    | 3,5                   | 72,0           | -   | 3,0                 |
| Нікель               | 4,0                                    | 6,7                   | 14,0           | -   | 4,0                 |
| Цинк                 | 23,0                                   | 23,0                  | 200,0          | -   | 37,0                |
| Кобальт              | 5,0                                    | 25,0                  | 1000           | -   | 5,0                 |
| Хром                 | 6,0                                    | -                     | -              | -   | 6,0                 |
| Кадмій               | оріент. 3,0                            | -                     | -              | -   | -                   |
| <i>Валовий вміст</i> |  |                       |                |     |                     |
| Сурма                | 4,5                                    | 4,5                   | 4,5            | -   | 50,0                |
| Кадмій               | оріент. 0,7                            | -                     | -              | -   | -                   |
| Марганець            | 1500,0                                 | 3500,0                | 1500,0         | -   | 1500,0              |
| Ванадій              | 150,0                                  | 170,0                 | 350,0          | -   | 150,0               |
| Марганець + ванадій  | 1000,0 + 100,0                         | 1500,0 + 150,0        | 2000,0 + 200,0 | -   | 1000,0 + 100,0      |
| Свинець              | 30,0                                   | 35,0                  | 260,0          | -   | 30,0                |
| Миш'як               | 4,0                                    | 2,0                   | 15,0           | -   | 10,0                |
| Ртуть                | 2,1                                    | 2,1                   | 33,3           | 2,5 | 5,0                 |
| Свинець + ртуть      | 20,0 + 1,0                             | 20,0 + 1,0            | 30,0 + 2,0     | -   | 30,0 + 2,0          |
| Мідь                 | оріент. 55                             | -                     | -              | -   | -                   |
| Нікель               | оріент. 85                             | -                     | -              | -   | -                   |
| Цинк                 | оріент. 100                            | -                     | -              | -   | -                   |
| Хром                 | оріент. 90                             | -                     | -              | -   | -                   |
| Нітрати              | 130,0                                  | 180,0                 | 130,0          | -   | 225,0               |

Під час оцінки з чотирьох показників шкідливості для кожної хімічної речовини обирають такий, що має найменшу величину. Оскільки він відображає найсуворіше граничне значення, його називають лімітуючим і ГДК встанов-

люють за ним. За 3 визначають категорію забруднення ґрунтів і можливі напрямки подальшого використання ділянки дослідження.

Таблиця 2.3 – Принципова схема оцінки рівня забруднення ґрунтів сільськогосподарського призначення

| Категорія забруднення ґрунтів | Характеристика забруднення   | Можливі напрямки використання території   |
|-------------------------------|--|---|
| Допустима                     | Вміст хімічних речовин у ґрунті перевищує фон, але не вище ГДК   | Використання під будь-які культури  |
| Помірно небезпечна            | Вміст хімічних речовин у ґрунті перевищує ГДК при лімітуючому загальносанітарному, міграційному водному й міграційному повітряному показниках шкідливості, але нижче допустимого рівня за транслокаційним показником | Використання під будь-які культури за умов контролю якості с/г рослин   |
| Високо небезпечна             | Вміст хімічних речовин у ґрунті перевищує ГДК при лімітуючому транслокаційному показнику шкідливості   | Використання під будь-які технічні культури<br>Використання під с/г культури обмежено з урахуванням рослин-концентраторів |
| Надмірно небезпечна           | Вміст хімічних речовин у ґрунті перевищує ГДК за всіма показниками шкідливості   | Використання під технічні культури та виведення зі с/х використання. Лісозахисні смуги                                    |

### 2.3 Оцінка рівня забруднення донних відкладів

Донні мули є кінцевою ланкою на шляху геохімічної міграції хімічного елементу в ландшафті та інтегрують геохімічні особливості водозбірної площі. Це дозволяє за їхнім хімічним складом досліджувати техногенні потоки та основні джерела забруднення, а також оцінювати ступінь техногенного навантаження на водотік.

Оцінити рівень забруднення донних відкладів можна за допомогою інтегрального показника  $Z_c$ , який розраховують за формулою (12). Для обчислення коефіцієнтів концентрації фоновий вміст елементів визначають у точках вище ділянки водотоку, що досліджується, за течією.

За результатами розрахунків  $Z_c$  визначають рівень забруднення водних систем (4).

Таблиця 2.4 – Оцінка рівня забруднення водних систем

| Рівень забруднення водної системи | $Z_c$ токсичних елементів у донних відкладах | Вміст токсичних елементів у воді   |
|-----------------------------------|--|--|
| Слабкий                           | менше 10                                     | Слабо підвищений відносно фону   |
| Середній                          | 10 – 30                                      | Підвищений відносно фону, епізодичне перевищення ГДК                           |
| Сильний                           | 30 – 100                                     | У багато разів вище фону; Стабільне перевищення окремими елементами рівнів ГДК |
| Дуже сильний                      | більше 100                                   | Практично постійна присутність багатьох елементів у концентраціях вище ГДК     |

## 2.4 Опрацювання результатів спектрального аналізу геохімічних проб

Результати спектрального аналізу проб ґрунтів, золи рослин та інших твердо-фазних речовин представляють у вигляді спектральних ліній, які проявляються в ультрафіолетовому й видимому діапазонах із довжиною хвилі 200 – 850 нм. У кількісному спектральному аналізі визначають концентрацію хімічного елемента в пробі за відносною або абсолютною інтенсивністю ліній або смуг у спектрах. Спектральні лінії, що проявляються при найменшій концентрації елемента називають аналітичними, за якими проводять якісний спектральний аналіз. Аналітичні лінії усіх хімічних елементів зведені в атласи спектральних ліній.

Для визначення вмісту хімічного елемента в пробі використовують калібрувальний графік, який складають за результатами дослідження стандартних зразків – проб із відомою концентрацією елемента. Графік будують у логарифмічному масштабі, по вісі абсцис відкладаючи концентрацію елемента (С, %), а по вісі ординат – інтенсивність почорніння спектральних ліній S (1).

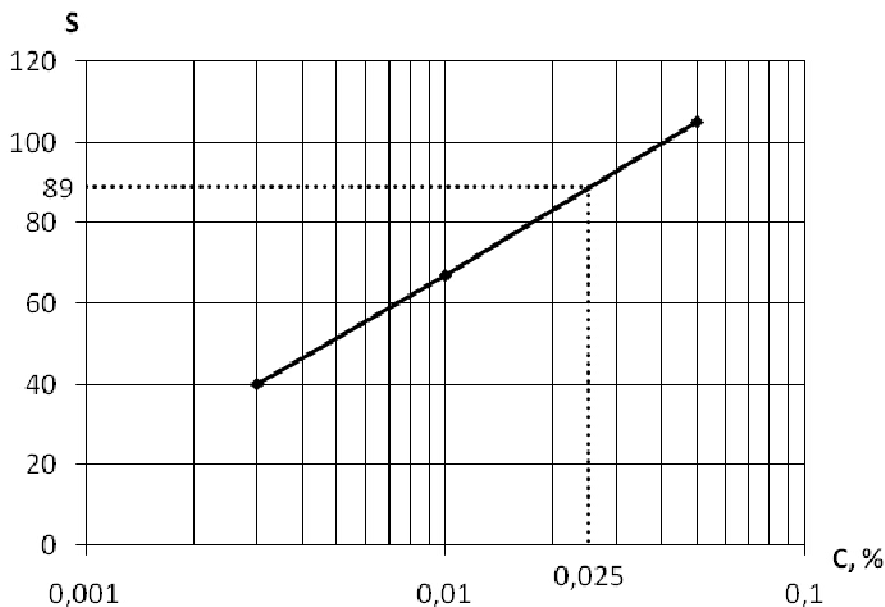


Рисунок 2.1 – Графік для визначення концентрації елемента в пробі

За побудованою залежністю, яка є прямою, шляхом інтерполяції визначають шукану концентрацію хімічного елемента у пробі. Наприклад, на даному графіку інтенсивності почорніння 89 відповідає концентрація 0,025 %.

За результатами кількох паралельних визначень оцінюють достовірність аналізу, для чого розраховують стандартні статистичні параметри – середнє значення, середнє квадратичне відхилення, коефіцієнт варіації.

## САМОСТІЙНА РОБОТА СТУДЕНТІВ

Самостійна робота студентів передбачає вивчення довідкової літератури і підготовку індивідуальної презентації на тему «Розповсюдження й міграція хімічних елементів та вплив їх накопичення на здоров'я людини» або на іншу тему, що розкриває закономірності перебігу геохімічних процесів у природних і техногенних компонентах довкілля. Темі презентацій (конкретні хімічні елементи або їх групи) студенти обирають самостійно та узгоджують з викладачем. У презентації мають бути висвітлені такі питання:

1) особливості розповсюдження і форми перебування хімічного елементу в земній корі, атмосфері, гідросфері, біосфері; кларки елемента; гірські породи й мінерали, що його містять; роль елемента у природному середовищі;

3) міграційна здатність елемента у повітрі, природних водах, біосфері; геохімічні бар'єри, на яких елемент або його сполуки накопичуються; форми його міграції;

4) напрямки використання елемента та його сполук у сферах діяльності людини; ступінь його залучення до техногенезу; техногенні джерела надходження у довкілля;

5) вплив хімічного елемента або його сполук на здоров'я людини та функціонування екосистем; токсичність елемента; граничнодопустимі концентрації елемента або його сполук у ґрунтах, повітрі, воді тощо.

Презентації виконуються у форматі MS Powerpoint і представляються до захисту у визначений термін. Обсяг презентації визначається заданим переліком питань, що наведений вище, та регламентованим часом доповіді – 7 хвилин. Роботи оцінюються за критеріями повноти розкриття теми, обізнаності доповідача у темі, наочності й структурованості слайдів, вміння усної доповіді, повноти й точності відповідей на запитання викладача й аудиторії. Кожному зі вказаних показників відповідає певний бал, їхня сума є підсумковою оцінкою за презентацію і становить 30 % загальної оцінки з дисципліни.

Окрім підготовки індивідуального завдання, до самостійного вивчення додатково виноситься нижче наведений перелік питань:

1. Типи еколого-геохімічних досліджень на урбанізованих територіях
2. Методика відбирання проб ґрунту та рослин під час еколого-геохімічних досліджень
3. Схема підготовки літогеохімічних проб (ґрунтів, донних мулів) до аналізу
4. Схема підготовки біогеохімічних проб (рослин) до аналізу
5. Спектральний аналіз твердофазних об'єктів, прилади для аналізу
6. Принцип роботи та принципова схема спектрографа
7. Прилади радіаційного контролю компонентів довкілля
8. Вимірювання радіоактивності продуктів харчування, води
9. Характеристика радіаційно небезпечних об'єктів на території України
10. Утворення радіоактивних відходів та поводження з ними

## **КОНТРОЛЬНА РОБОТА ДЛЯ СТУДЕНТІВ ЗАОЧНОЇ ФОРМИ НАВЧАННЯ**

Контрольна робота для студентів заочної форми навчання включає виконання розрахунків показників геохімічної міграції елементів у природному та техногенно-перетвореному середовищі, які характеризують ступінь їхнього накопичення та рівень небезпеки для здоров'я людини або функціонування екосистем.

У роботі наводять завдання й вихідні дані, проводять необхідні розрахунки, результати яких зводять у таблиці, формулюють висновки згідно до поставлених у завданні питань (визначають категорію міграційної здатності, оцінюють рівень забруднення тощо). Робота оформлюється за стандартними вимогами на аркушах формату А4. За бажанням студента розрахунки можна проводити засобами MS Excel або іншої програми, у такому випадку хід розрахунків і їх результати роздруковують і додають до роботи.

Робота виконується індивідуально кожним студентом, завдання до контрольної роботи за варіантами, що видаються викладачем.



## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Авсеенко В. Ф. Дозиметрические и радиометрические приборы и измерение / В. Ф. Авсеенко. – Київ: Урожай. 1990. – 144 с.
2. Андруз Д., Бримблекумб П., Джикелз Т., Лисс П. Введение в химию окружающей среды. – М.: Мир, 1999. – 271 с.
3. Геохимия окружающей среды / [Ю. Е. Сает, Б. А. Ревич, Е. П. Янин и др.] ; под ред. Ю.Е. Сает. – М.: Недра, 1990. – 335 с.
4. Голдовская Л. Ф. Химия окружающей среды: учебн. для вузов. – М.: Мир, 2005. – 296 с.
5. ДБН В.1.4.–2.01–97 – Радіаційний контроль будівельних матеріалів і об'єктів будівництва.
6. ДСТУ 4287:2004 – Якість ґрунту. Відбирання проб. – Київ: Держспоживстандарт України, 2005
7. ДСТУ ISO 10381–2:2004 Якість ґрунту. Відбирання проб. Частина 2. Настанови з методів відбирання проб (ISO 10381–2:2002, IDT). – Київ: Держспоживстандарт України, 2005
8. ДСТУ ISO 11464:2001 Якість ґрунту. Попереднє обробляння зразків для фізико-хімічного аналізу. – Київ: Держспоживстандарт України, 2001
9. Дробышев А. И. Основы атомного спектрального анализа / Дробышев А. И. : учебн. пособие. – С-Пб.: Изд-во СПбГУ, 1997. – 200 с.
10. Иванов В. В. Экологическая геохимия элементов. – М. : Экология, 1991
11. Коваленко Г. Д., Рудя К. Г. Радиоэкология Украины / Г. Д. Коваленко, К. Г. Рудя. – Киев: Изд.-полигр. центр «Київський ун-т», 2001. – 167 с.
12. Україна. Закони. «Про поводження з радіоактивними відходами» [прийнято Верховною Радою України 30 червня 1995 р. № 162/1162 ].

### Додаток А

Таблиця А1 – Середній вміст (кларки) хімічних елементів у земній корі  
(% мас; для благородних газів He, Ne, Ar, Kr, Xe значення наведені в г/см<sup>3</sup>)

| №  | Елемент | Кларк               | №  | Елемент | Кларк                | №  | Елемент | Кларк               |
|----|---------|---------------------|----|---------|----------------------|----|---------|---------------------|
| 1  | H       | 0,11                | 29 | Cu      | $5,3 \cdot 10^{-3}$  | 57 | La      | $3 \cdot 10^{-3}$   |
| 2  | He      | $6 \cdot 10^{-5}$   | 30 | Zn      | $6,8 \cdot 10^{-3}$  | 58 | Ce      | $6,1 \cdot 10^{-3}$ |
| 3  | Li      | $2,5 \cdot 10^{-3}$ | 31 | Ga      | $1,7 \cdot 10^{-3}$  | 59 | Pr      | $7,6 \cdot 10^{-4}$ |
| 4  | Be      | $2 \cdot 10^{-4}$   | 32 | Ge      | $1,4 \cdot 10^{-4}$  | 60 | Nd      | $3 \cdot 10^{-3}$   |
| 5  | B       | $9 \cdot 10^{-4}$   | 33 | As      | $1,8 \cdot 10^{-4}$  | 62 | Sm      | $7,3 \cdot 10^{-4}$ |
| 6  | C       | $2 \cdot 10^{-2}$   | 34 | Se      | $7,3 \cdot 10^{-6}$  | 63 | Eu      | $1,2 \cdot 10^{-4}$ |
| 7  | N       | $2 \cdot 10^{-3}$   | 35 | Br      | $2,4 \cdot 10^{-4}$  | 64 | Gd      | $7,2 \cdot 10^{-4}$ |
| 8  | O       | 46,5                | 36 | Kr      | $4,2 \cdot 10^{-9}$  | 65 | Tb      | $1,9 \cdot 10^{-4}$ |
| 9  | F       | $6,4 \cdot 10^{-2}$ | 37 | Rb      | $1,1 \cdot 10^{-2}$  | 66 | Dy      | $4,7 \cdot 10^{-4}$ |
| 10 | Ne      | $7,7 \cdot 10^{-8}$ | 38 | Sr      | $3,7 \cdot 10^{-2}$  | 67 | Ho      | $1,5 \cdot 10^{-4}$ |
| 11 | Na      | 2,38                | 39 | Y       | $3,2 \cdot 10^{-2}$  | 68 | Er      | $3 \cdot 10^{-4}$   |
| 12 | Mg      | 2,26                | 40 | Zr      | $1,6 \cdot 10^{-2}$  | 69 | Tm      | $3,6 \cdot 10^{-4}$ |
| 13 | Al      | 8,07                | 41 | Nb      | $2,1 \cdot 10^{-3}$  | 70 | Yb      | $3,1 \cdot 10^{-4}$ |
| 14 | Si      | 27,99               | 42 | Mo      | $1,2 \cdot 10^{-4}$  | 71 | Lu      | $9 \cdot 10^{-5}$   |
| 15 | P       | 0,1                 | 43 | Tc      | $1 \cdot 10^{-7}$    | 72 | Hf      | $2,4 \cdot 10^{-4}$ |
| 16 | S       | $3,3 \cdot 10^{-2}$ | 44 | Ru      | $4 \cdot 10^{-7}$    | 73 | Ta      | $2,2 \cdot 10^{-4}$ |
| 17 | Cl      | $1,8 \cdot 10^{-2}$ | 45 | Rh      | $5 \cdot 10^{-7}$    | 74 | W       | $1,4 \cdot 10^{-4}$ |
| 18 | Ar      | $2,2 \cdot 10^{-5}$ | 46 | Pd      | $9 \cdot 10^{-7}$    | 75 | Re      | $8 \cdot 10^{-8}$   |
| 19 | K       | 2,13                | 47 | Ag      | $7,3 \cdot 10^{-6}$  | 76 | Os      | $2 \cdot 10^{-7}$   |
| 20 | Ca      | 3,81                | 48 | Cd      | $1,7 \cdot 10^{-5}$  | 77 | Ir      | $6,5 \cdot 10^{-8}$ |
| 21 | Sc      | $1,7 \cdot 10^{-3}$ | 49 | In      | $1,5 \cdot 10^{-5}$  | 78 | Pt      | $5,7 \cdot 10^{-7}$ |
| 22 | Ti      | 0,53                | 50 | Sn      | $2,3 \cdot 10^{-4}$  | 79 | Au      | $3,5 \cdot 10^{-7}$ |
| 23 | V       | $1,2 \cdot 10^{-3}$ | 51 | Sb      | $3 \cdot 10^{-5}$    | 80 | Hg      | $7,2 \cdot 10^{-6}$ |
| 24 | Cr      | $9,3 \cdot 10^{-3}$ | 52 | Te      | $3 \cdot 10^{-7}$    | 81 | Tl      | $9 \cdot 10^{-5}$   |
| 25 | Mn      | $9 \cdot 10^{-2}$   | 53 | I       | $4,7 \cdot 10^{-5}$  | 82 | Pb      | $1,3 \cdot 10^{-3}$ |
| 26 | Fe      | 5,33                | 54 | Xe      | $3,4 \cdot 10^{-10}$ | 83 | Bi      | $1,9 \cdot 10^{-5}$ |
| 27 | Co      | $2,3 \cdot 10^{-3}$ | 55 | Cs      | $4,3 \cdot 10^{-4}$  | 90 | Th      | $1 \cdot 10^{-3}$   |
| 28 | Ni      | $7 \cdot 10^{-3}$   | 56 | Ba      | $4,7 \cdot 10^{-2}$  | 92 | U       | $2,6 \cdot 10^{-4}$ |

Таблиця А2 – Фонові концентрації металів для ґрунтів різних регіонів України

| Регіони України      | Елементи та їхній вміст, мг/кг |       |     |    |      |    |    |     |     |     |     |    |
|----------------------|--------------------------------|-------|-----|----|------|----|----|-----|-----|-----|-----|----|
|                      | Fe                             | Ti    | Pb  | Zn | Mn   | Cu | Co | Mo  | Sr  | Cr  | V   | Ni |
| Полісся лівобережне  | 19847                          | 3651  | 11  | 48 | 485  | 8  | 9  | 3   | 123 | 33  | 14  | 11 |
| Полісся правобережне | 18328                          | 3092  | 13  | 37 | 451  | 8  | 10 | 2   | 121 | 37  | 15  | 11 |
| Полісся західне      | 12050                          | 3585  | 11  | 38 | 185  | 6  | 9  | 2,2 | 141 | 48  | 17  | 13 |
| Лісостеп             | 13778                          | 2718  | 10  | 52 | 735  | 20 | 17 | 2,8 | 119 | 51  | 52  | 26 |
| Степ                 | 19974                          | 2631  | 13  | 62 | 670  | 27 | 16 | 3,8 | 142 | 85  | 68  | 25 |
| Донбас               | 27492                          | 4588  | 13  | 55 | 534  | 22 | 20 | 5,8 | 128 | 48  | 66  | 20 |
| Степовий Крим        | 27500                          | 3067  | 10  | 69 | 846  | 31 | 24 | 2,8 | 112 | 96  | 119 | 53 |
| Кримські гори        | –                              | –     | –   | 60 | 933  | 83 | 27 | –   | –   | –   | 253 | 53 |
| Перед-карпаття       | –                              | 8938  | 67  | 85 | 554  | 34 | 18 | 1,6 | –   | 103 | 107 | 39 |
| Карпатські гори      | –                              | 11556 | 113 | 63 | 1067 | 22 | 18 | 2,2 | 141 | 109 | 82  | 29 |
| Закарпаття           | –                              | 8378  | 67  | 89 | 716  | 20 | 18 | 1,1 | –   | 89  | 100 | 30 |

Таблиця А3 – Фонові концентрації елементів у ґрунтах Харківської області, мг/кг

| №  | Елемент | Концентрація | №  | Елемент | Концентрація | №  | Елемент | Концентрація |
|----|---------|--------------|----|---------|--------------|----|---------|--------------|
| 1  | Fe      | 14 000       | 13 | Cu      | 27,0         | 25 | As      | 1,7          |
| 2  | Ti      | 4 600        | 14 | Pb      | 20,0         | 26 | Mo      | 1,5          |
| 3  | P       | 700          | 15 | La      | 12,9         | 27 | Ge      | 14           |
| 4  | Mn      | 660          | 16 | Y       | 12,7         | 28 | Bi      | 1,1          |
| 5  | Ba      | 360          | 17 | Li      | 12,6         | 29 | Yb      | 1,0          |
| 6  | F       | 260          | 18 | Co      | 11,0         | 30 | Be      | 0,86         |
| 7  | Zr      | 240          | 19 | Nb      | 10,4         | 31 | Cd      | 0,5          |
| 8  | Sr      | 100          | 20 | Ga      | 8,9          | 32 | Hg      | 0,1          |
| 9  | Zn      | 70,0         | 21 | Rb      | 5,0          | 33 | Se      | 0,05         |
| 10 | V       | 70,0         | 22 | Cs      | 5,0          | 34 | Ag      | 0,03         |
| 11 | Cr      | 70,0         | 23 | Ta      | 5,0          |    |         |              |
| 12 | Ni      | 38,0         | 24 | Sn      | 3,0          |    |         |              |

*Навчальне видання*

Методичні вказівки  
до практичних занять, самостійної роботи і контрольної роботи  
з навчальної дисципліни

**«ГЕОХІМІЯ ДОВКІЛЛЯ»**

*(для студентів денної і заочної форм навчання спеціальності  
183 – Технології захисту навколишнього середовища)*

Укладачі **ДРОЗД** Олена Миколаївна,  
**ДЯДІН** Дмитро Володимирович

Відповідальний за випуск *Т. В. Дмитренко*

*За авторською редакцією*

Комп'ютерний набір *Д. В. Дядін*

Комп'ютерне верстання *К. А. Алексанян*

План 2016, поз. 82М

---

Підп. до друку 29.06.2016

Друк на різнографі

Зам. №

Формат 60×84/16

Ум. друк. арк. 0,8

Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002

Електронна адреса: [rectorat@kname.edu.ua](mailto:rectorat@kname.edu.ua)

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017 р.