

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять з дисципліни
«ОСНОВИ БІОГЕОХІМІЇ»
(для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня
спеціальності 101 Екологія)
(Електронне видання)

ЗАТВЕРДЖЕНО
на засіданні кафедри хімічної
інженерії та екології
Протокол № 4 від 02.12.2024 р.

Київ 2024

УДК 546:547:550.47

Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Основи біогеохімії» (для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня спеціальності 101 Екологія) / Укладач Мохонько В.І. – Київ : Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2024. – 62 с.

Методичні рекомендації містять відомості про форми існування та міграційну здатність хімічних елементів у компонентах біосфери, а також методологічні принципи геохімічних досліджень, які застосовуються при вирішенні екологічних проблем.

Призначено для студентів відповідних спеціальностей.

Укладач:

В.І. Мохонько, к.геол.н., доц.

Рецензент:

І.В. Кравченко, к.т.н., доц.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
Практичне заняття № 1. РОЛЬ ПРОВІДНИХ ВЧЕНИХ У РОЗВИТКУ БІОГЕОХІМІЇ	5
Практичне заняття № 2. ВИВЧЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ХІМІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ У КОМПОНЕНТАХ БІОСФЕРИ	8
Практичне заняття № 3. ВИЗНАЧЕННЯ ВМІСТУ ХІМІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ У СКЛАДІ ЖИВОЇ РЕЧОВИНИ	20
Практичне заняття № 4. ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ФІЗИКО-ХІМІЧНОЇ МІГРАЦІЇ ХІМІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ.....	28
Практичне заняття № 5. ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ БІОГЕОХІМІЧНОГО КРУГООБІГУ ХІМІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ.....	35
Практичне заняття № 6. ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ТЕХНОГЕННОГО ГЕОХІМІЧНОГО ФОНУ	44
Практичне заняття № 7. ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ БІОІНДИКАЦІЇ ДЛЯ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ВОД	52
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА	61

ВСТУП

Біогеохімія є складовою частиною вчення про біосферу, вивчення якої надає здобувачам вищої освіти необхідний мінімум знань про основи існування та розвитку біосфери, роль живої речовини в процесах, що в ній відбуваються, кругообіг хімічних елементів компонентах біосфери та їх вплив на живу природу, біогеохімічні методи досліджень. Знання біогеохімічних концепцій, законів, закономірностей, принципів та методів забезпечує розуміння майбутніми екологами хімічних аспектів заходів, направлених на охорону навколишнього середовища, вміння використовувати біогеохімічні методи при проведенні екологічних досліджень та моніторингу стану природних об'єктів.

Навчальним планом та робочою програмою навчальної дисципліни «Основи біогеохімії» передбачено виконання практичних занять, метою яких є розширення, поглиблення та деталізація теоретичних знань, отриманих здобувачами вищої освіти на лекціях та в процесі самостійної роботи, прищеплення умінь і навичок застосування біогеохімічної інформації, геохімічних та біогеохімічних методів при виконанні польових екологічних обстежень стану природних об'єктів, проведенні екологічних оцінок та експертиз, у ході підготовки даних для екологічного моделювання природних процесів чи об'єктів, при дослідженні джерел забруднення.

Методичні рекомендації містять стислий огляд теоретичного матеріалу, перелік передбачених програмою практичних занять, завдання для самостійного виконання, контрольні питання, довідковий матеріал у вигляді схем, рисунків, таблиць, список рекомендованої літератури.

Виконання завдань практичних занять допоможе студентам у розумінні біохімічних процесів у біосфері, а також хімічних аспектів заходів, направлених на охорону навколишнього середовища від забруднення, забезпеченню виробництва екологічно-чистої продукції та належних санітарно-гігієнічних умов проживання, моніторингу стану довкілля тощо.

Практичне заняття № 1

РОЛЬ ПРОВІДНИХ ВЧЕНИХ У РОЗВИТКУ БІОГЕОХІМІЇ

Мета заняття: Ознайомлення з науковою діяльністю та внеском в розвиток біогеохімії провідних науковців.

1.1 Теоретичні відомості

Засновниками геохімії вважають видатних вчених В.І. Вернадського, О.Є. Ферсмана, В.В. Докучаєва, В.М. Гольдшмідта та Ф.У. Кларка.

В.І. Вернадському належить відкриття явища міграції хімічних елементів, наслідком чого став закон всюдності хімічних елементів і висновок про розсіяну форму знаходження елементів в біосфері: Вернадський розвив концепцію живої речовини та обґрунтував вчення про біосферу. Вінцем його творчості стало відкриття нових наук біогеохімії, космохімії, гідрохімії.

О.Є. Ферсман першим у світі читав лекції з геохімії в Московському університеті ще в 1911 р., його перший підручник «Геохімія» був опублікований у 1922 р., йому належить пошук сировинних ресурсів і відкриття Мончегорського мідно-нікелевого родовища, родовища сірки в Середній Азії, апатиту та нефеліну в Хібінах, Керченських залізорудних копалин, кримських родовищ мінералів. Крім геохімії руд, його науковими інтересами були дорогоцінні каміні (монографія «Діаманти»), пегматити Ельби, Уралу, України, Середньої Азії (монографія «Пегматити»); його досягненнями були дослідження хімічних елементів Землі та космосу, відкриття геохімічних провінцій, формулювання 4-х мінералогічних правил та закономірності вмісту елементів в літосфері в залежності від їх будови та атомної маси, відомої як закономірність Ферсмана.

В.В. Докучаєв створив вчення о зонах природи, генетичне ґрунтознавство, зробив перші кроки в становленні науки про ландшафт.

Внесок В.М. Гольдшміда в геохімію як науку є дуже значним – це його праці в геохімії мінералів, встановлення йонних радіусів елементів, розробки з кристалохімії: 1-й закон кристалохімії та правила ізоморфізму, до того ж йому належить розробка першої класифікації елементів за міграційною здатністю, встановлення співвідношення між положенням елемента в періодичній системі та будовою його атома та йона. Його авторитет у 30-40-і рр. ХХ ст. був загально визнаним, а геохімія розвивалася за кристалохімічним напрямком.

Серед послідовників засновників геохімії слід назвати Б.Б. Полинова, який розробив основи геохімії ландшафту, ввів поняття елементарного та геохімічного ландшафтів, є автором спряженого геохімічного аналізу; О.І. Перельмана, наукові інтереси якого пов'язані з радіоекологічною безпекою на базі біоіндикації, геохімією ландшафту, теорією геохімічних аномалій та гідрогеологією; М.А. Глазовської, спеціаліста в області техногенних ландшафтів, автора показників техногенного геохімічного впливу та районування території за показниками техногенної дії.

1.2 Завдання

За інформацією із різноманітних джерел скласти біографічний нарис про одного із видатних науковців (відповідно до варіанту, який співпадає з номером здобувача у списку групи), зробивших суттєвий внесок в розвиток геохімії і біогеохімії. Вихідні дані для виконання завдання представлені у таблиці 1.1.

Викласти біографічні відомості за таким планом:

1. Повне ім'я українською та оригінальною мовою.
2. Дати життя, місце народження, місце смерті (для науковців-сучасників – дата і місце народження).
3. Основні події життя, пов'язані із навчанням та науковою діяльністю.
4. Науковий доробок – розділи геохімії або біогеохімії, до яких науковець зробив внесок, теорії, закони, правила, моделі, інші узагальнення.

5. Основні публікації (до 5 назв).
6. Оцінка діяльності науковця його сучасниками та послідовниками.
7. Значення творчості науковця для сучасного розвитку біогеохімії.
8. Список використаних джерел.

Біографічні відомості викласти у вигляді реферату. Обсяг роботи: до 3 сторінок формату А4. Посилання на джерела інформації обов'язкове.

Таблиця 1 1 - Вихідні дані для виконання завдання

Номер варіанту	Науковець
1, 11	О.І. Перельман
2, 12	О.Є. Ферсман
3, 13	М.А. Глазовська
4, 14	В.І. Вернадський
5, 15	Б.Б. Полинов
6, 16	В.В. Докучаєв
7, 17	В.М. Гольдшмідт
8, 18	Ф.У. Кларк
9, 19	А. П. Виноградов
10, 20	А. Лавуазьє

Контрольні питання

1. Які закони біогеохімії сформулював В.І. Вернадський?
2. Обміркуйте розвиток ідей В.І. Вернадського в дослідженнях О.Є. Ферсмана.
3. Опишіть внесок послідовників та однодумців В.І. Вернадського, видатних учених ХХ ст. О.І. Перельмана, Б.Б. Полинова.
4. Розгляньте внесок В.М. Гольдшмідта і в розвиток біогеохімії. Який напрям у геохімії набув особливого розквіту під впливом робіт В.М. Гольдшмідта?
5. Розгляньте роль А.П. Виноградова у розвитку геохімії та біогеохімії.
6. Опишіть внесок в розвиток біогеохімії одного зі засновників геохімії Ф.У. Кларка?

Практичне заняття № 2

ВИВЧЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ХІМІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ У КОМПОНЕНТАХ БІОСФЕРИ

Мета заняття: Розглянути основні закономірності розповсюдження хімічних елементів у природі, а також хімічний склад та геохімічні особливості геосфер. Навчитись визначати вміст хімічних елементів у мінералах.

2.1 Теоретичні відомості

2.1.1 Розповсюдження хімічних елементів у літосфері, атмосфері та гідросфері

Ще у 1815 році англійський мінералог В. Філіпс намагався приблизно визначити середній вміст десяти хімічних елементів у земній корі. У 80-роки проблемою визначення середнього складу земної кори став систематично займатися Ф.У. Кларк – керівник хімічної лабораторії американського геологічного комітету у Вашингтоні. Відібравши 880 аналізів гірських порід, Кларк у 1889 році визначив середній вміст в них 10 хімічних елементів. До земної кори Кларк включав також всю гідросферу і атмосферу. Але, якщо прийняти масу біосфери за 1 одиницю, то маса атмосфери буде складати 300 одиниць, гідросфери 69 тис. одиниць, поверхневої літосфери – порядку 106 одиниць. Тому, літосфера представляє собою найбільш важливішу геосферу і цифри Кларка відображали склад останньої. Норвезький вчений Фохт І. визначав вміст цинку, олова, свинцю, нікелю та інших важких металів у гірських породах. Якщо перші дані містили лише 10 елементів, то в 1924 році було опубліковано дані про вміст 54 елементів. В 1933 році Ферсман А.Е. запропонував називати *кларком* середнє значення вмісту елементу у земній корі (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Кларки основних хімічних елементів у земній корі

Хімічний елемент	Вміст в земній корі, %
Оксиген	47,0
Силіцій	29,0
Алюміній	8,05
Ферум	4,65
Кальцій	2,96
Натрій	2,5
Калій	2,5
Магній	1,87
Гідроген	1,0
Титан	0,45

Відомо, що за своєю структурою літосфера неоднорідна. Виділяють магматичні породи, що утворюються при застиганні розплавленої магми. До цих порід відносять граніти, базальти, порфіри, діабази тощо. Магматичні породи складають 95% літосфери, проте мають незначну роль на земній поверхні. Метаморфічні породи утворюються з осадових і магматичних порід в результаті дії на них високих температури і тиску. До метаморфічних порід належать сланці, гнейси, мармури, кварцити. Осадкові породи утворюються з метаморфічних та магматичних порід в результаті процесів вивітрювання і вкривають більшу частину поверхні суші. Якщо кларки елементів гранітного шару встановлено чітко, то знання про середній вміст елементів базальтового шару досить гіпотетичні.

Практично половина твердої земної кори складається з одного елементу – кисню. На другому місці стоїть кремній, а на третьому алюміній. Сумарний вміст цих елементів та заліза, магнію, марганцю, кальцію, натрію, калію, титану, водню складає 99,48%. Решта елементів займає менш ніж 1 %. Вміст більшості елементів в земній корі не перебільшує 0,01-0,0001%. Такі елементи в геохімії прийнято називати – *рідкими*. Якщо рідкі елементи володіють слабкою уздатністю до

концентрації, то вони називаються – *рідкими розсіяними*. До них відносять бром, індій, йод, гафній, реній тощо.

За підрахунками В.М. Гольдшміда на кожний см² земної поверхні приходить 273 л води, у тому числі 268,45 л морської води, 0,1 л прісної води, 4,5 л води у льодах, 0,003 л води у формі водяного пару. Аналізуючи дані про вміст деяких іонів у воді можна отримати уявлення про хімічний склад гідросфери.

З 3% всього об'єму природних вод, що включені у ландшафти материків, за розрахунками Р. Гордона, 75% знаходиться у полярних льодах та кригах, 14% - у горизонтах підземних вод на висотах 762- 3810 м над рівнем моря, 11% - у горизонтах підземних вод нижче 762 м, 0,3% - у озерах, 0,06% - у ґрунтовій вологі, 0,035% - в атмосфері і 0,03% - у річках.

Хімічний склад різних природних вод представлено у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Склад природних вод (Wedepohl, 1971)

Компонент	Дощова вода, (% *10 ⁻⁴)	Річкова вода, (% *10 ⁻⁴)	Морська вода, (%)
Na	1.1	5.8	1.06
K	0.26	2.1	0.038
Ca	0.97	20.0	0.04
Mg	0.36	3.4	0.13
Cl	1.1	5.7	1.89
SO ₄ ²⁻	4.2	12.0	0.27
HCO ₃ ⁻	1.2	35.0	0.014

З огляду на подібні цифри важко відобразити розподіл хімічних елементів у прісних водах за допомогою будь-якого показника.

Атмосфера може розглядатися як потенційне джерело привнесення всіх видів речовин у завислому стані. Середній склад атмосфери можна проаналізувати розглянув дані наведені у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 - Середній склад атмосфери у масових та об'ємних відсотках (за Мейсоном, 1966)

Газ	Склад за об'ємом, %	Склад замасою, %	Загальна маса, *10 ¹⁷ т
Азот	78	75,5	38648
Кисень	20,9	23,2	11841
Аргон	0,93	1,28	0,655
Вуглекислий газ	0,03	0,046	0,0233
Неон	0,0018	0,0013	0,000636
Гелій	0,0005	0,000072	0,000037
Метан	0,0002	0,000094	0,000043
Криптон	0,0001	0,0003	0,000146
Оксид азоту (I)	0,00005	0,00008	0,00004
Водень	0,00005	0,0000035	0,000002
Озон	0,00004	0,00007	0,000035

Слід зазначити, що у 1975 році оцінка вмісту вуглекислого газу була підвищена до $0,0257 \cdot 10^{17}$ т з урахуванням діяльності людини. Дж. Гіддінгс запропонував розрізняти гази на вміст яких не впливає діяльність людини і гази, присутність яких в атмосфері є функція антропогенного впливу. Так, до першої групи відносять азот, кисень, та аргон. До другої – водяний пар, вуглекислий газ, неон, криптон, метан, озон, оксид вуглецю (II), водень, оксид сірки (IV), сірководень тощо.

Оскільки елементний склад атмосфери знаходиться під впливом значних коливань навіть в одному місці земної кулі, потрапляння речовин з атмосфери до інших геосфер змінюється у просторі та у часі. Таким чином, всі елементи є всюди, у кожному грамі гірської породи, у кожній краплині води і йдеться лише про недостатню чутливість методів їх визначення. Положення про загальне розсіювання хімічних елементів запропоновано називати *законом Кларка-Вернадського*.

Елементи можуть утворювати власні мінерали, знаходитися у вигляді акцесорних домішок у мінералах або бути у розсіяному стані. Вернадський В.І. запропонував розрізняти такі основні *форми находження елементів*:

- 1) гірські породи та мінерали (у тому числі гази та природні води);
- 2) жива речовина;
- 3) магми (силікатні розплави);
- 4) розсіяння.

Квятковський Е.М. запропонував розрізняти мінеральний, безмінеральний, концентрований та розсіяний види існування елементів.

Для того щоб оцінити вміст елементів в різних геосферах Землі наведемо дані про масу та об'єм геосфер, наведених у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Маса та об'єм геосфер Землі

Геосфера	Товщина, км	Маса, т	Об'єм, км ³
Літосфера	30	4,3*10 ²⁵	1,54*10 ¹⁶
Атмосфера	300	5,0*10 ²¹	3,85*10 ¹⁵
Гідросфера (океан)	-	1,42*10 ¹⁸	1,37*10 ⁹
Гідросфера (прісна вода)	-	2,24*10 ¹⁷	4,17*10 ⁸
Біосфера	-	2,44*10 ¹²	-

З наведених вище даних впливає питання, саме в чому полягає причина нерівномірного розповсюдження елементів?

Було з'ясовано, що кларки не залежать від будови зовнішніх електронних орбіт атомів, але залежать від заряду ядра атомів. Ферсман А.Е. побудував графік залежності атомних кларків парних та непарних елементів від їх порядкового номеру (рис.2.1).

Виявилась тенденція – по мірі ускладнення будови атомного ядра елементів їх кларки зменшуються. Так як зміна була не монотонною, а скачкоподібною, то при проведенні середньої лінії частина елементів знаходилася над лінією (надлишкові елементи), а частина під нею (дефіцитні елементи).

В 1914 році Г. Оддо, а згодом і В. Гаркінс встановили, що в земній корі переважають елементи з парним порядковим номером та з парними атомними масами. Серед сусідніх елементів у парних кларки практично завжди вище, ніж у

непарних. Для перших зарозповсюдженістю 9 елементів масові кларки складають у сумі 86,43%, а кларки непарних – 13,03%.

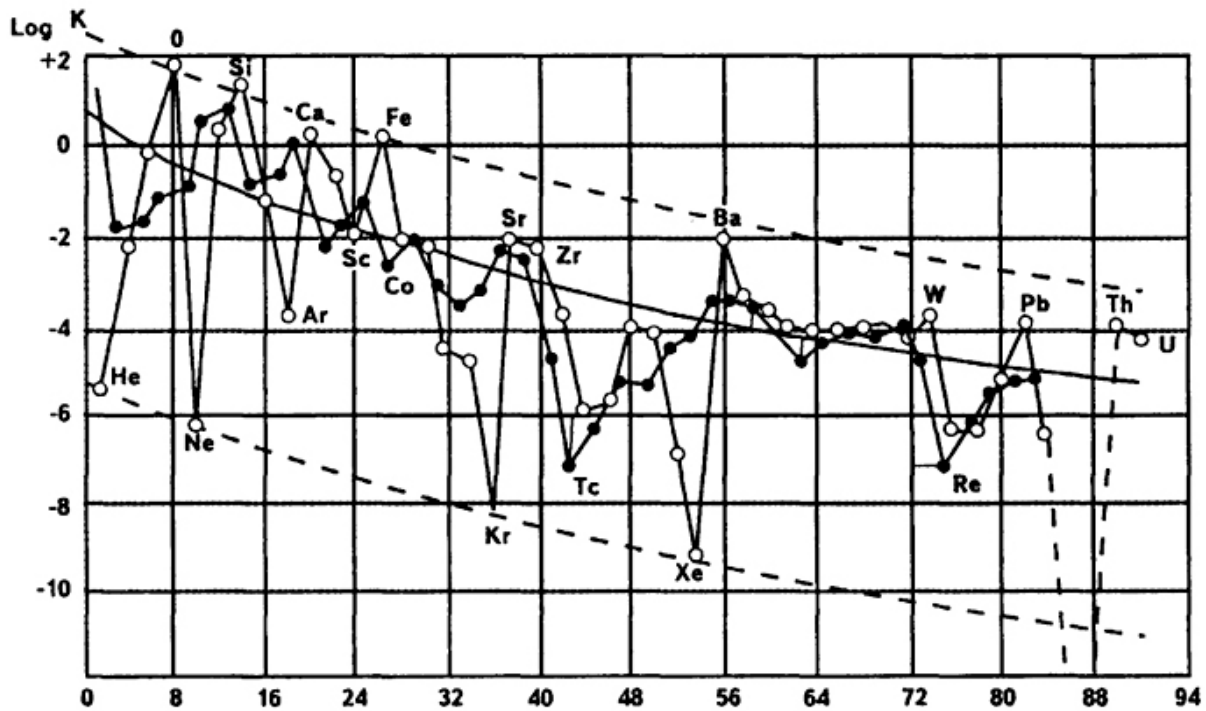


Рис. 2.1. Графічні залежності логарифмів атомних кларків елементів від їх порядкового номера (за дослідженнями О.Є. Ферсмана)

Особливо великі кларки елементів, атомна маса яких поділяється на 4. Це кисень, магній, кремній, кальцій і т.д. крім того, серед атомів одного і того самого елементу переважають ізотопи з масовим числом, що поділяється на 4. Подібну будову атомного ядра Ферсман позначив символом 4q. Ядра типу 4q складають 86,3 % земної кори. Менш розповсюджені ядра, побудовані по типу 4q + 3 (12,7%) та 4q + 1 і 4q + 2 (1%).

Причина подібних особливостей розповсюдження елементів пояснюється більшою вірогідністю утворення ядер, що містять невелику кількість протонів та нейтронів ще на етапі зіркового розвитку планети, коли речовина була розігріта до стану плазми у якій відбувалися ядерні реакції. Подібні атоми більш стійкі,

вони не переповнені протонами та нейтронами. Ядра, що містять так звану магічну кількість (2,8,20,28,50,82,126) протонів або нейтронів особливо стійки.

2.1.2 Основні закономірності геохімії та біогеохімії

Біогеохімічна закономірність: в процесі свого розвитку живі організми споживають хімічні елементи в основному у вигляді йонів. Запропоновано сучасним російським геохіміком В.О. Алексеєнко в 2000 р.

Закономірність еволюційного розвитку: процес еволюції живих організмів відбувався в середовищі з різким переважанням легких хімічних елементів над важкими. Дійсно, зміна температурних умов і тиску при народженні планети сприяла термоядерним процесам перетворень легких елементів на важкі за рахунок нейтронного захвату й випускання β - частинок. Поступова природна поява важких елементів в біосфері та сучасний техногенез супроводжується підвищенням вмістом в організмах важких металів, які не властиві живій речовині, тому це викликає інтоксикацію організмів та забруднення довкілля. Закономірність сформулював у 2000 р. російський геохімік В.О. Алексеєнко.

Закономірність Гаркінса: елементи з парними протонними числами та парними значеннями атомних мас є більш поширеними в біосфері, ніж елементи з непарними протонними числами і непарними атомними масами. Закономірність встановив учений В. Гаркінс у 1917 р. Дійсно, розрахунки за методом В. Гаркінса підтверджують цю закономірність, а масові кларки парних елементів становлять у сумі більш 86 %. В. Гаркінс пояснює цей факт більшою сталістю елементів з парними зарядами ядер.

Закономірність усереднення: вміст хімічних елементів у ґрунтах являє собою усереднені значення кларків тих самих елементів у гірських породах. Визначення базується на визначенні вмісту та розподілу елементів у ґрунтах російським геохіміком О.П. Виноградовим (1895–1975).

Закономірність Ферсмана: з ускладненням будови атомного ядра хімічних елементів і збільшенням їх маси, кларки елементів зменшуються.

Закономірність поширення елементів у земній корі вперше вивчав В.І. Вернадський шляхом поділення елементів на 5 декад. Ним встановлено крайня нерівномірність їх розподілу, наприклад, сумарна масова частка Оксигену і Силіцію складає 70 %, а дев'ять таких елементів як O, Si, Al, Fe, Ca, Mg, K, Na складають 98 % загальної маси усіх елементів земної кори. Продовженням досліджувань у цьому напрямку були праці російського академіка О.Є. Ферсмана з використанням напівлогарифмічної кривої залежності атомного кларку хімічного елемента в логарифмічній формі (вісь ординат) від його протонного числа (вісь абсцис). Ламана крива наочно показала розподіл елементів як залишкових, які мали достатній вміст і розташовувалися понад умовної усередненої кривої, і дефіцитних, або недостатніх – елементів з дуже малим вмістом, розташування яких було під усередненою кривою. Виключенням з правила Оддо-Гаркінса за графіком Ферсмана і за величиною кларків виявилися інертні гази He, Ne, Kr, Xe, Ar, які мають парні порядкові номери. Це пояснюється В. І. Вернадським і О.Є. Ферсманом т. зв. «гелієвим диханням Землі», тобто постійним відтоком інертних газів від нашої планети у відкритий космос.

Ізотопна закономірність: серед ізотопів одного елемента зазвичай переважають ті, масові числа яких кратні чотирьом, напр., в залежності від величин масових чисел масові частки ізотопів Оксигену розподіляються наступним чином: ^{16}O (масове число є кратним чотирьом) – 99,75 %; всі інші – у мінімумі: ^{17}O – 0,04 %; ^{18}O – 0,2 %.

Закономірність переважання в літосфері елементів, атомні маси яких кратні чотирьом, напр., 49,52 % O (ат. маса 16), 1,94 % Mg (ат. маса 24), 25,75 % Si (ат. маса 28), 0,048 % S (ат. маса 32), 3,29 % Ca (ат. маса 40), 4,7 % Fe (ат. маса 56).

Закономірність переважання в літосфері шостих за протонним числом парних або непарних елементів у таблиці Д.І. Менделєєва, напр., парних №8 O (49,52 %), №14 Si (25,75 %), №20 Ca (3,29 %), №26 Fe (4,7 %), №38 Sr (0,037 %), №50 Sn ($2,5 \cdot 10^{-4}$ %), №56 Ba (0,047 %) і непарних №1 H (0,88 %), №7 N (0,03 %), №13 Al (8,05%), №19 K (2,4), №25 Mn (0,08 %).

2.1.3 Головні правила геохімії та біогеохімії

Правило Менделєєва (російський хімік Д.І. Менделєєв, 1834–1907). Хімічні елементи парних підгруп періодичної системи істотно переважають над елементами непарних підгруп.

Правило Оддо-Гаркінса (італійський хімік Д. Оддо (1865–1954). Серед сусідніх елементів періодичної системи у парних хімічних елементів кларки завжди вищі, в порівнянні з непарними елементами. Напр., кларк Ti (№22) – 0,58 %, а сусідніх непарних Sc (№21) і V (№23) – 0,001 і 0,016, відповідно.

Правило Одума (американський еколог Е. Одум, ініціали за ім'ям автора Eugene Odum, у різних виданнях зустрічаються також Ю. (транскрипція Юджин), Є. (Євген), 1913–2002). При незмінному потоці енергії через трофічну мережу дрібні наземні організми з вищим питомим *метаболізмом* створюють меншу *біомасу*, ніж великі організми.

Правило Перельмана I (російський геохімік О. І. Перельман, 1912– 1998). Геохімічна робота живої речовини створює переважання різко окис- нювальної обстановки на земній поверхні, яка з глибиною змінюється на відновну.

Правило Перельмана II. Геохімічна особливість системи визначається провідними елементами, які мають високі кларки, активно мігрують і накопичуються в цій системі.

Правило поширення колоїдних систем в біосфері. Накопичення колоїдів в біосфері є пропорційним інтенсивності й тривалості перебігові біологічного кругообігу в геохімічних ландшафтах.

Правило Сеченова (рос. природознавець і фізіолог, засновник вітчизняної фізіології І. М. Сеченов, 1829–1905): розчинність кисню та ін. газів повітря у морській (солоній) воді є значно меншою, ніж у річковій або озерній (прісній).

Цим правилом пояснюється швидка загибель прісноводних риб та ін. аеробних гідробіонтів через ядуху у мор. водах. Натомість, деякі морські риби гинуть у річковій воді, незважаючи на достатню кількість O_2 у воді з ін. причин, а саме, через підвищення осмотичного тиску.

Правило Ферсмана I (рос. геохімік О.Є. Ферсман, 1883–1945). У дисоційованих розчинах і флюїдах послідовність кристалізації мінералів йде за зниженням енергії їхніх кристалічних ґраток. Це положення також задовольняє послідовності окремої кристалізації мінералів у певному процесі, наприклад, магматичному у надрах Землі, і загальних – від високотемпературних ендегенних до низькотемпературних екзогенних процесів.

Правило Ферсмана II. У мінералів з однаковою кристалічною будовою та аналогічними формулами хімічного складу твердість зростає зі збільшенням енергії кристалічної ґратки, тобто при збільшенні величин *енергетичних коефіцієнтів* ЕК і ВЕК (*валентних ЕК*) йонів, що складають кристалічну ґратку.

Правило Ферсмана III. Розчинність йонних сполук зменшується зі збільшенням енергетичних коефіцієнтів (ЕК) катіонів й аніонів, що утворюють ці сполуки.

Правило Ферсмана IV. При переході від високотемпературних до більш поширених у біосфері екзогенних процесів (тобто при збільшенні ролі йонів з невеликими значеннями ЕК) відбувається еволюція забарвлення мінералів від чорного та темно-зеленого до білого та безбарвного.

2.2 Завдання

1. Розгляньте закономірності і правила біогеохімії, та випишіть ти з них, що стосуються особливостей розповсюдження хімічних елементів у компонентах навколишнього середовища.

2. Обчисліть масову частку хімічного елементу та його оксиду у мінералі.

Завдання за варіантами наведено у таблиці 2.5. Номер варіанту співпадає з номером здобувача у списку групи.

Таблиця 2.5 - Завдання до практичного заняття

Варіант	Завдання
1, 11	Обчислити масову частку Титану та його оксиду (для Ti(II)) у природному мінералі титаномагнетиті $\text{FeTiO}_3 \cdot \text{Fe}_3\text{O}_4$.
2, 12	Обчислити масову частку Силіцію та його оксиду в природному мінералі топазі $\text{Al}_2[\text{Fe}(\text{OH})_2\text{SiO}_4]$.
3, 13	Обчислити масову частку Алюмінію та його оксиду в природному мінералі топазі $\text{Al}_2[\text{Fe}(\text{OH})_2\text{SiO}_4]$
4, 14	Обчислити масову частку Силіцію та силіцій оксиду у нефеліні $\text{K}_2\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8$.
5, 15	Обчислити масову частку Натрію та натрій оксиду у нефеліні $\text{K}_2\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8$.
6, 16	Обчислити масову частку Феруму та його оксиду у фаяліті $\text{Mg}_2\text{Fe}_2\text{SiO}_4$.
7, 17	Обчислити масову частку Магнію та його оксиду у фаяліті $\text{Mg}_2\text{Fe}_2\text{SiO}_4$.
8, 18	Обчислити масову частку Калію та його оксиду у нефеліні $\text{K}_2\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8$.
9, 19	Обчислити масову частку Алюмінію та його оксиду у нефеліні $\text{K}_2\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8$.
10, 20	Обчислити масову частку Феруму та його оксиду (для Fe(III)) у мінералі титаномагнетиті $\text{FeTiO}_3 \cdot \text{Fe}_3\text{O}_4$

2.3 Приклад виконання практичного завдання

Обчислити масову частку Силіцію та його оксиду в природному мінералі альбіті $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$.

Розв'язання.

1. Визначити молярну масу альбіту:

$$M_{\text{альбіту}} = 23 + 27 + 28 \cdot 3 + 16 \cdot 8 = 262 \text{ г-моль}$$

2. Обчислити масову частку Силіцію за формулою, де n – кількість атомів Si в мінералі:

$$\omega = \frac{M(\text{Si}) \cdot n(\text{Si})}{M(\text{альбіта})} = \frac{(28 \cdot 3)}{262} = 0,326, \text{ або } 32,06 \%$$

3. Обчислити масову частку оксиду силіцію за формулою:

$$\omega = \frac{M(\text{SiO}_2) \cdot n(\text{Si})}{M(\text{альбіта})} = \frac{(28 + 16 \cdot 2)}{262} = 0,6870 \text{ або } 68,70 \%$$

Відповідь: мінерал альбіт містить 32,06 % з Силіцію. Масова частка оксиду силіцію у альбіті становить 68,70 %.

Контрольні питання

1. Що являє собою кларк хімічного елемента в літосфері?
2. Яким чином визначають біофільність хімічного елемента?
3. Чим відрізняється хімічний склад літосфери від хімічного складу живої речовини?
4. Охарактеризуйте макро- та мікроелементний склад живої речовини.
5. За яким принципом класифікуються хімічні елементи в живій речовині?
6. Які хімічні елементи відносять до розсіяних і чим вони відрізняються від породотвірних елементів?

Практичне заняття № 3

ВИЗНАЧЕННЯ ВМІСТУ ХІМІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ У СКЛАДІ ЖИВОЇ РЕЧОВИНИ

Мета заняття: Навчитись розраховувати кількісні характеристики вмісту хімічних елементів у живій речовині та робити аналіз отриманих результатів.

3.1 Теоретичні відомості

Поширеність хімічних елементів у біосфері вичерпно виражена законом Кларка-Вернадського про загальне розсіювання хімічних елементів: «Усі елементи є скрізь» і законом фізико-хімічної єдності живої речовини біосфери: «Уся жива речовина Землі хімічно єдина».

Вміст різних хімічних елементів у компонентах біосфери вкрай нерівномірний. Кількісною біогеохімічною характеристикою твердої оболонки біосфери (до неї входять літосфера, ґрунт, породи) є середній вміст хімічних елементів, виражений у відсотках від маси даного компонента. За пропозицією академіка О. Є. Ферсмана (1933) ця величина називається *кларком* (K).

У земній корі Оксиген ($K = 49,52$) і Силіцій ($25,75$) становлять 75,27 %, а 97,75 % усієї літосфери належить восьми елементам: О, Si, Al (7,51), Fe (4,7), Ca (3,29), Na (2,64), К (2,4), Mg (1,94). У десятку найпоширеніших елементів потрапляють Н (0,88) і Ті (0,58) з кларком, меншим за одиницю. На решту елементів припадає тільки 0,79 % .

З ініціативи В. І. Вернадського (1937 р.) було введено поняття *кларк концентрації* (K_k). Це відношення середнього вмісту хімічного елемента в даній системі до його середнього вмісту в земній корі. Під природною системою розуміють будь-який об'єкт біосфери чи геосфери (жива речовина, ґрунт тощо):

$$K_k = \frac{k_i}{K_i}, \quad (3.1)$$

де k_i – вміст (кількість) i -го елемента у природній системі, %;

K_i – кларк i -го елемента у земній корі (найбільш поширений підхід), %.

За допомогою K_k вміст елемента у природній системі виражається в одиницях кларків.

Близьким за значенням до кларка концентрації є *коефіцієнт концентрації* (K_c) Даний показник відображає ступінь концентрації елемента у досліджуваному об'єкті до його фонового вмісту у компонентах окремих природно-територіальних комплексів (ПТК)

$$K_c = \frac{c_i}{c_\phi}, \quad (3.2)$$

де c_i – вміст (кількість) i -го елемента у природній системі;

c_ϕ – фонове значення у відповідному компоненті ПТК.

За коефіцієнтом концентрації визначають співвідношення між кількістю хімічного елемента в об'єктах, що порівнюються між собою, тобто коефіцієнт концентрації характеризує ступінь накопичення елементів у системі (компоненті) відносно будь-якого обраного еталону.

Необхідно врахувати, що *кларки* елементів у живій речовині різко відрізняються від величин, характерних для літосфери. Жива речовина складається в основному з чотирьох елементів - Оксигену (70%), Карбону (18%), Гідрогену (10,5 %) та Нітрогену (0,3 %), які у сумі складають 98,8%. Організми у першу чергу – кисневі істоти. У живій речовині багато води. Навіть у організмах ссавців її більше ніж 60%.

Кларки елементів у живій речовині вперше визначив В.І. Вернадський, але найбільш точні дані належать за О.П. Виноградову.

Та у біогеохімічному аспекті має значення класифікація хімічних елементів не тільки за їхніми концентраціями у живій речовині, але й за фізіологічною цінністю для забезпечення життєдіяльності організмів. З огляду на це найбільш оптимальною є класифікація хімічних елементів за їхнім вмістом у живій речовині на *макро-, мікро-, і ультрамікроелементи* (табл. 3.1).

Неважко переконатись, що жива речовина складається перш за все з елементів, найбільш рухомих на земній поверхні.

Таблиця 3.1 - Класифікація елементів у живій речовині та їхній середній вміст, % (за О.П. Виноградовим)

Макроелементи $n \cdot 10^{-3} - n \cdot 10$	Мікроелементи $n \cdot 10^{-5} - n \cdot 10^{-3}$	Ультрамикроелементи $< n \cdot 10^{-5}$
Повітряні мігранти: О (70), С (18), Н (10,5), N (0,3). Водні мігранти: Са (0,5), К (0,3), Si (0,2), Na (0,02), Mg (0,04), P (0,07), S (0,05), Cl (0,02), Fe (0,01)	Mn ($9,6 \cdot 10^{-3}$), Al ($5 \cdot 10^{-3}$), Zn ($2 \cdot 10^{-3}$), Sr ($1,6 \cdot 10^{-3}$), Ti ($1,3 \cdot 10^{-3}$), В ($1 \cdot 10^{-3}$), Ba ($9 \cdot 10^{-4}$), Cu ($3,2 \cdot 10^{-4}$), Zr ($3 \cdot 10^{-4}$), Rb ($2 \cdot 10^{-4}$), Br ($1,6 \cdot 10^{-4}$), F ($1,4 \cdot 10^{-4}$), Pb ($1 \cdot 10^{-4}$), Ni ($8 \cdot 10^{-5}$), Cr ($7 \cdot 10^{-5}$), V ($6 \cdot 10^{-5}$), Li ($6 \cdot 10^{-5}$), Co ($4 \cdot 10^{-5}$), La ($3 \cdot 10^{-5}$), Y ($3 \cdot 10^{-5}$), Mo ($2 \cdot 10^{-5}$), I ($1,2 \cdot 10^{-5}$), Sn ($1 \cdot 10^{-5}$).	As ($6 \cdot 10^{-6}$), Cs ($6 \cdot 10^{-6}$) Be ($4 \cdot 10^{-6}$), Ga ($\cdot 10^{-6}$), Se ($\cdot 10^{-6}$), W ($1 \cdot 10^{-6}$), Ag ($1,2 \cdot 10^{-6}$), U ($8 \cdot 10^{-7}$), Hf ($5 \cdot 10^{-7}$), Sb ($2 \cdot 10^{-7}$), Cd ($2 \cdot 10^{-7}$), Hg (10^{-7}), Au (10^{-8}), Ra ($n \cdot 10^{-12}$)
Виявлені в живій речовині але не визначено їхні кларки	He, Ne, Ar, Sc, Kr, Nb, Rh, Pd, Te, In, Xe, Ta, Tl, Bi, Th	
Не виявлені з повною вірогідністю в живій речовині	Rn, Hf, Re, Os, Ir, Po, Ac, Ts, At, Fr	

Кларк концентрації елементів у живих організмах називається *біофільністю*. Частково біофільність характеризує здатність живих організмів захоплювати й акумулювати деякі корисні й енергетично важливі для їх життєдіяльності елементи. Ідея біофільності належить О.І. Перельману. Кількісно параметр біофільності оцінюється як відношення середнього вмісту елемента в живій речовині до його середнього вмісту в літосфері за такою формулою:

$$B = \frac{k_{\text{жив.реч.}}}{K_{\text{літ.}}} \quad (3.3)$$

Для визначення обміну окремих елементів між живою речовиною і навколишнім середовищем використовують *коефіцієнт біологічного поглинання* (A_i або $КБП_i$) – показник, прямо пропорційний ступеню інтенсивності

поглинання хімічного елемента конкретною живою системою, що виражається співвідношенням:

$$A_i = \text{КБП}_i = \frac{C_3^i}{K_i}, \quad (3.4)$$

де: C_3^i – концентрація хімічного елемента в золі, тобто мінеральній частині живого організму (наприклад, рослини);

K_i – кларк i -го елемента в земній корі (породі або ґрунті).

Від величини A_i залежить інтенсивність використання хімічного елемента живими організмами. Показник уперше був запропонований і розрахований Б.Б. Полиновим. За величиною показника біологічного поглинання виділяють ряди біологічного поглинання хімічних елементів (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Ряди біологічного поглинання хімічних елементів (О.І. Перельман, 1968)

Категорія	Ряд	Величина A_i
Елементи біологічного накопичення	Елементи енергійного біологічного накопичення	$n \cdot 10^1 - n \cdot 10^2$
	Елементи сильного біологічного накопичення	$n \cdot 10$
Елементи біологічного захвату	Елементи середнього біологічного захвату	$n \cdot 10^{-1}$
	Елементи слабого і дуже слабого біологічного захвату	$n \cdot 10^{-2} - n \cdot 10^{-3}$

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

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

$$\text{ГРК} = \frac{C_3}{C_{\text{ґрунт}}}, \quad (3.5)$$

де: C_3^i – концентрація хімічного елемента в золі, тобто мінеральній частині рослини;

$C_{\text{ґрунт}}$ – фонова концентрація елемента у субстраті (породі, ґрунті).

Ґрунтово-рослинний коефіцієнт ГРК відрізняється від коефіцієнта біологічного поглинання A_i своєю локальністю – він характеризує накопичення елемента на певній ділянці.

При обробці та аналізі результатів обчислені коефіцієнти біологічного поглинання та ґрунтово-рослинні коефіцієнти доцільно зводити до єдиної таблиці, що полегшить інтерпретацію отриманих даних на предмет визначення закономірностей накопичення тих чи інших елементів тими чи іншими видами рослин.

3.2 Завдання

Користуючись вихідними даними відповідного варіанту (табл. 3.3) та величинами кларків елементів у літосфері і ґрунті (табл. 3.4) розрахувати:

- 1) біофільність хімічних елементів по відношенню до земної кори;
- 2) коефіцієнти біологічного поглинання хімічних елементів досліджуваним біологічним об'єктом (рослиною) відносно літосфери та ґрунту;
- 3) ґрунтово-рослинні коефіцієнти;
- 4) біогеохімічну активність даного виду рослин по відношенню до зазначених хімічних елементів.

Результати розрахунків оформити у вигляді таблиці та зробити висновок про фізіологічну функцію та ступінь накопичення елементів у рослинах даного виду.

Таблиця 3.3 - Вихідні дані для виконання завдання

Варіанти	Елементи	$C_z, \text{мг/кг}$	$C_{\text{ґрунт}}, \text{мг/кг}$
Варіанти 1, 11	Mn	0,50	51,62
	Ca	15,26	27,98
	Mg	141,31	127,97
	Zn	10,11	25,92

Продовження таблиці 3.3

Варіант	Елементи	$C_3, \text{мг/кг}$	$C_{\text{грунт}}, \text{мг/кг}$
Варіанти 2, 12	Cr	0,50	78,62
	Ba	26,61	47,98
	Ag	0,31	0,02
	K	110,21	125,22
Варіант 3, 13	Ni	5,4	10,8
	Pb	8,0	249,8
	Cu	16,0	16,0
	Zn	71	5,6
Варіант 4, 14	Na	210,4	52
	P	249,8	31,5
	Hg	10,8	5
	Fe	254	57
Варіант 5, 15	Br	43,4	57
	B	3,0	51
	Ra	82	31,5
	F	4,0	0,88
Варіант 6, 16	Si	43,4	57
	As	3,0	51
	I	82	31,5
	In	4,0	0,88
Варіант 7,17	S	3,4	57
	Cu	38	15
	Cd	82	31,5
	Mn	4,0	8,8
Варіант 8,18	Sn	1,4	17
	C	138	115
	Pb	8,2	3,15
	Be	40	88
Варіант 9, 19	S	34	27
	Ca	3,8	1,5
	Cr	8,2	1,5
	Mo	14,0	18,8
Варіант 10, 20	Sc	0,34	0,57
	Ag	0,38	0,15
	W	0,82	0,315
	Cs	0,40	2,8

Таблиця 3.4 - Кларки деяких хімічних елементів у літосфері і ґрунті, %
(за О.П. Виноградовим)

Елемент	Кліт.	Кґрунт.	Елемент	Кліт.	Кґрунт.	Елемент	Кліт.	Кґрунт.
Ag	$7 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-6}$	Ce	$7 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	S	$4,7 \cdot 10^{-2}$	$8,5 \cdot 10^{-2}$
Al	8,05	7,13	Cl	$1,7 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	Hg	$8,3 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-6}$
As	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	Co	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-4}$	I	$4 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-4}$
B	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	Cr	$8,3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-2}$	K	2,5	1,36
Ba	$6,5 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}$	Cs	$3,7 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	Mg	1,87	$6,3 \cdot 10^{-1}$
Be	$3,8 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-4}$	Cu	$4,7 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	Mn	$1 \cdot 10^{-1}$	$8,5 \cdot 10^{-2}$
Br	$2,1 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-6}$	F	$6,6 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	Mo	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$
Ca	3,96	1,37	Fe	4,65	3,8	N	$1,9 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-1}$
Cd	$1,3 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-5}$	Se	$5 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-6}$	Na	2,5	$6,3 \cdot 10^{-1}$
Ni	$5,8 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$	Si	29	33	U	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$
P	$9,3 \cdot 10^{-2}$	$8 \cdot 10^{-2}$	Sn	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-3}$	V	$9 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$
Pb	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	Sr	$3,4 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-2}$	Zn	$8,3 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$

3.3 Приклад розрахунків

Вихідні дані:

хімічний елемент – Купрум;

концентрація в золі рослини (C_3) - 1,27 мг/кг;

концентрація у ґрунті даного ландшафту ($C_{\text{ґрунт}}$) - 141,31 мг/кг.

Рішення.

1. Визначаємо біофільність Купруму за формулою (3). Значення кларків хімічних елементів у живій речовині беремо з табл. 1, значення кларків хімічних елементів у літосфері – з таблиці 4.

$$B = \frac{k_{\text{жив.реч.}}}{K_{\text{літ.}}} = \frac{3,2 \cdot 10^{-4}}{4,7 \cdot 10^{-3}} = 0,068$$

2. Концентрація в золі рослини (C_3) становить 1,27 мг/кг, тобто $1,27 \cdot 10^{-3}$ %. Коефіцієнт біологічного поглинання відносно літосфери та ґрунту розраховуємо за формулою (4):

$$A_{i \text{ літ}} = \frac{C_3^i}{K_i} = \frac{1,27 \cdot 10^{-3}}{4,7 \cdot 10^{-3}} = 0,27$$

$$A_{i \text{ ґрунт}} = \frac{C_3^i}{K_i} = \frac{1,27 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 10^{-3}} = 0,635$$

3. Розрахуємо ґрунтово-рослинний коефіцієнт, якщо концентрація Купруму в золі рослини (C_3) становить 127,97 мг/кг, а концентрація у ґрунті даного ландшафту ($C_{\text{ґрунт}}$) дорівнює 141,31 мг/к:

$$\text{ГРК} = \frac{C_3}{C_{\text{ґрунт}}} = \frac{127,97}{141,31} = 0,906$$

Результати розрахунків заносимо до таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Результати розрахунків

Елемент	Вихідні дані					Розраховані параметри			
	K_i , %	$K_{\text{літ}}$, %	$K_{\text{ґрунт}}$, %	C_3 , мг/кг	$C_{\text{ґрунт}}$, мг/кг	Б	КБП	ГРК	Клас елементу
Cu	$3,2 \cdot 10^{-4}$	$4,7 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	127,97	141,31	0,068	0,635	0,906	Мікро- елемент

Висновки: Біофільність Купруму < 1 , що свідчить про поганий захват даного хімічного елемента рослиною. За величиною коефіцієнту біологічного поглинання Купрум відноситься до ряду елементів середнього біологічного захвату (за рядами О.І. Перельмана). Результати визначення ґрунтово-рослинного коефіцієнту свідчать, що Купрум у даному природно-територіальному комплексі більше захвачується рослиною у порівнянні з ґрунтом в цілому ($\text{КБП} < \text{ГРК}$). Таким чином, Купрум це – мікроелемент.

Контрольні питання

1. Яким чином визначають біофільність хімічного елемента?
2. Охарактеризуйте макро- та мікроелементний склад живої речовини.
3. За якими принципами класифікуються хімічні елементи в живій речовині?
4. Дайте визначення коефіцієнту біологічного поглинання. поглинання
5. Поясніть різницю між КБП та ГРК.

Практичне заняття № 4

ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ФІЗИКО-ХІМІЧНОЇ МІГРАЦІЇ ХІМІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Мета заняття: навчитись розраховувати показники фізико-хімічної міграції, пов'язані з фізико-хімічними властивостями елементів та їхнім функціонуванням у компонентах біосфери.

4.1 Теоретичні відомості

4.1.1 Види і фактори міграції хімічних елементів у навколишньому середовищі

Міграція – переміщення хімічних елементів, їх іонів та сполук, яка приводить до їх концентрації або розсіювання у компонентах навколишнього середовища.

Міграція хімічних елементів є безперервним процесом, який охоплює всю біосферу. Відмінності в міграційній здатності хімічних елементів призводять до їх диференціації і до утворення природних і природно-техногенних систем з різними кількісними співвідношеннями між елементами. В результаті за якісної однаковості складу речовини концентрація одного і того ж елемента в різних точках земного простору різна.

Закон міграції, який уперше було сформульовано В.І. Вернадським, є основою біогеохімічних процесів. За цим законом «міграція хімічних елементів у біосфері відбувається за участю живої речовини (біогенна міграція) або зумовлена геохімічними властивостями живої речовини – як тієї, що тепер існує на Землі, так і тієї, що виникла протягом минулих геологічних епох (при наявності Оксигену, Гідрогену, діоксиду карбону)».

Залежно від форм руху матерії, з яким пов'язане переміщення речовини, в напрямі ускладнення процесу, виділяють такі види міграції:

- механічна;
- фізико-хімічна;
- біогенна;
- техногенна.

Міграція хімічних елементів спричинена дією внутрішніх і зовнішніх факторів, залежить від хімічної форми елементів і їх сполук, їхніх фізико-хімічних властивостей, і вмісту в навколишньому середовищі, а також від стану і властивостей самого середовища міграції.

Поділ факторів міграції хімічних елементів на внутрішні і зовнішні був запропонований О. Є. Ферсманом. Внутрішніми факторами міграції елементів є:

- особливості іонів;
- хімічні властивості елементів, які визначаються будовою атомів, їх здатністю до утворення летких та розчинних сполук;
- форма, в якій присутній елемент.

До зовнішніх факторів належать характеристики умов міграції елементів:

- температура,
- тиск,
- кислотно-лужні та окисно-відновні умови тощо;
- водний режим,
- життєдіяльність живих організмів.

4.1.2 Внутрішні фактори фізико-хімічної міграції

1. *Електростатичні властивості іонів* – це група факторів, яка стосується тільки міграції хімічних елементів у вигляді іонів.

Іонна міграція характерна для водних розчинів, магматичних розплавів, газових сумішей, живої речовини.

Електростатичні властивості іонів обумовлені розмірами іонних радіусів елементів. Іонні радіуси характеризують розчинність сполук, їх твердість, температуру плавлення й кипіння, структуру й енергію кристалічних ґраток мінералів. Цей параметр впливає на міграційні властивості та особливості поширення елементів. Величини радіусів закономірно змінюються залежно від положення елемента в таблиці Д.І. Менделєєва таким чином:

- із зростанням порядкового номера хімічного елемента величини іонних радіусів зростають у групах, а в періодах – зменшуються;
- по діагоналі вони мають близькі розміри (правило діагональних рядів О.Є. Ферсмана);
- зі збільшенням заряду катіона – зменшуються;
- зі збільшенням заряду аніона – зростають.

Роботами О.Є. Ферсмана встановлено, що «дальність міграції зростає зі збільшенням радіуса іона хімічного елемента».

Показниками електростатичних властивостей іонів слугують іонний потенціал Картледжа або картль (за термінологією О.Є. Ферсмана) і енергетичні коефіцієнти катіонної й аніонної форм міграції хімічних елементів.

Потенціал Картледжа (ПК) розраховується за такою формулою:

$$ПК = \frac{W}{R_i}, \quad (4.1)$$

де W – валентність (заряд) іона;

R_i – радіус іона, Å ($1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ м}$).

У випадку виміру радіусу в нанометрах ($1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$), формула має вигляд:

$$ПК = \frac{W}{10R_i}$$

За величиною іонного показника, або картля усі хімічні елементи поділяють на 3 групи:

1. $ПК < 3$. Катіони цих елементів легко переходять у природні води, а комплексні іони не утворюються: К, Na, Са, Li, Rb, Ва.

2. ПК = 3 – 12. Елементи утворюють комплексні іони й важкорозчинні гідролізовані сполуки: Fe, Al, Cr, V, та ін.

3. ПК > 12. Елементи цієї групи утворюють добре розчинні аніони, наприклад, CO²⁻ та комплексні оксигеновмісні іони: B, C, N, P, S.

Енергетичні коефіцієнти (екі) катіонів (ЕК_{кат}) й аніонів (ЕК_{ан}) розраховують за формулами:

$$EK_{кат} = \frac{W^2}{2R_i} \cdot [0,75(R_i + 0,2)], \quad (4.2)$$

$$EK_{ан} = \frac{W^2}{2R_i} \quad (4.3)$$

де W – валентність (заряд) іона;

R_i – радіус іона, Å.

Або (при виміру радіусу в нанометрах):

$$EK_{кат} = \frac{W^2}{20R_i} \cdot [0,75(R_i + 0,2)],$$

$$EK_{ан} = \frac{W^2}{20R_i}$$

де W – валентність (заряд) іона;

R_i – радіус іона, нм.

Чим більша величина ЕК, тим на меншу відстань мігрують іони, швидше проходить утворення з них важкорозчинних речовин.

Енергетичні коефіцієнти відображають послідовність кристалізації мінералів з розчинів і розплавів і обумовлені, в основному, енергією їх кристалічних решіток. Іони з великими значеннями ЕК випадають з розчинів раніше. У процесах міграції вони менш рухливі і тому накопичуються в елювії. Іони з малими енергетичними коефіцієнтами (Na, K, Rb, Cs, Li) мають легку розчинність і характеризуються високою міграційною здатністю.

Ступінь електролітичної дисоціації характеризує кількість іонів, що утворилися при розчиненні речовини. Показником ступеня дисоціації є коефіцієнт дисоціації, він залежить від природи як розчиненої речовини, так і

розчинника, і тому цей показник можна віднести як до внутрішніх, так і до зовнішніх чинників міграції. Ступенем електролітичної дисоціації визначається послідовність випадання речовини в осад.

Однак неможливо пояснити все розмаїття міграційних процесів властивостями іонів, тому що багато елементів мігрують у вигляді недісоційованих молекул, особливо це відноситься до гідроксидів. Неіонний форма переважає і в органічних сполуках (колоїдні міцели), багато з яких добре розчиняються у воді (фульвокислоти, наприклад). У комплексі з органічною речовиною мігрують і багато металів.

2. *Форма, в якій знаходиться елемент, і відповідно його хімічні властивості*, також відноситься до внутрішніх чинників міграції.

В. І. Вернадський виділяв 4 форми знаходження елемента в природі:

- 1) гірські породи та мінерали;
- 2) жива речовина;
- 3) магми (силікатні розплави);
- 4) розсіювання.

Природно, що інтенсивність міграції елементів, що знаходяться в різних формах і сполуках, різна. Наприклад, Na альбіту і Na галіту: мінерали характеризуються різною розчинністю і абразивної міцністю, швидкість міграції натрію цих двох мінералів відрізняється досить-таки значно.

4.2 Завдання

1. Розрахувати величини енергетичних коефіцієнтів (ЕК) і показників Картледжа (ПК) для іонів зазначених хімічних елементів (варіант завдання див. у табл. 3.2 до практичного заняття № 3, використовуючи величини їх радіусів R_i , зазначених у табл. 4.1.

2. За величинами показника Картледжа встановити групу й форму існування в літосфері даного іона.

3. Результати виконання завдання оформити у вигляді таблиці. Зробити

висновок щодо міграційних властивостей іонів.

Таблиця 4.1 - Величини іонних радіусів елементів R_i , Å (за даними Г.Б. Бокієва та М.В. Бєлова)

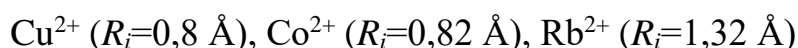
Іон	R_i	Іон	R_i	Іон	R_i	Іон	R_i
1	2	3	4	5	6	7	8
Ag^+	1,13	Cr^{2+}	1,83	Mn^{2+}	0,91	S^{2-}	1,86
Al^{3+}	0,57	Cr^{3+}	0,64	Mn^{3+}	0,70	S^{6+}	0,30
As^{3-}	1,01	Cr^{6+}	0,52	Mn^{4+}	0,52	Se^{4+}	0,69
As^{3+}	0,69	Cs^+	1,65	Mn^{7+}	0,46	Si^{4+}	0,39
As^{5+}	0,47	Cu^{2+}	0,80	Mo^{4+}	0,68	Sn^{2+}	1,02
Ba^{2+}	1,43	F^-	1,33	Na^+	0,98	Sr^{2+}	1,20
Be^{2+}	0,34	Fe^{2+}	0,80	NH_4^+	1,43	Tl^+	1,49
C^{4+}	0,15	Fe^{3+}	0,67	Ni^{2+}	0,74	Tl^{3+}	1,05
C^{4-}	2,6	H^+	1,36	Ni^{3+}	0,35	U^{4+}	1,04
Ca^{2+}	1,06	Hg^{2+}	1,12	O^{2-}	1,32	V^{2+}	0,72
Cd^{2+}	1,03	I^-	2,2	P^{3-}	1,86	V^{3+}	0,67
Cl^-	1,81	K^+	1,33	P^{5+}	0,35	V^{4+}	0,61
Co^{2+}	0,82	Li^+	0,68	Pb^{2+}	1,32	V^{5+}	0,40
Co^{3+}	0,64	Mg^{2+}	0,74	Pt^{4+}	0,64	Zn^{2+}	0,81

4.3 Приклад розрахунків

Зробити висновок щодо міграційних властивостей іонів Cu^{2+} ($R_i=0,8$ Å), Pb^{2+} ($R_i=1,32$ Å), Co^{2+} ($R_i=0,82$ Å) та віддаленість їх міграції, порівнявши їх іонні радіуси R_i та розрахувавши величини $ПК_i$ і $ЕК_i$.

Рішення.

1. Порівняємо іонні радіуси Cu^{2+} , Pb^{2+} , Co^{2+} та розташуємо їх за порядком зростання:



Розрахуємо картлі ($ПК_i$) іонів за формулою (4.1):

$$ПК_{Cu} = \frac{W}{R_i} = \frac{2}{0,8} = 2,5$$

$$ПК_{Co} = \frac{W}{R_i} = \frac{2}{0,82} = 2,45$$

$$PK_{Pb} = \frac{W}{R_i} = \frac{2}{1,32} = 1,5$$

Величини енергетичних коефіцієнтів розраховуємо за формулою (4.2):

$$EK_{Cu} = \frac{2^2}{2 \cdot 0,8} \cdot [0,75(0,8 + 0,2)] = 1,875$$

$$EK_{Ca} = \frac{2^2}{2 \cdot 0,82} \cdot [0,75(0,82 + 0,2)] = 1,866$$

$$EK_{Rb} = \frac{2^2}{2 \cdot 1,32} \cdot [0,75(1,32 + 0,2)] = 1,727$$

Результати розрахунків представимо у вигляді таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 - Результати розрахунків фізико-хімічних іонів хімічних елементів

Іони	R_i	Літосфера			Міграційні властивості
		PK_i	EK_i	Форма перебування	
Cu^{2+}	0,8	2,5	1,88	Група I – вільний катіон	R_i EK_i Мігр.
Co^{2+}	0,82	2,45	1,87	Група I – вільний катіон	
Rb^{2+}	1,32	1,5	1,73	Група I – вільний катіон	

Висновок: Зазначені хімічні елементи належать до I групи ($PK_i \leq 3$), легко переходить до природних вод, комплексних сполук не утворюють, характеризуються високою міграційною здатністю. Порівняння іонних радіусів R_i , величин PK_i і EK_i елементів, свідчить про найбільшу міграційну здатність Rb^{2+} , та найменшу – елементу Cu^{2+} .

Контрольні питання

1. Що таке міграція хімічних елементів?
2. Які типи міграції характерні для хімічних елементів у біосфері?
3. Охарактеризуйте внутрішні фактори фізико-хімічної міграції.
4. Що відображає показник Картледжа?
5. Яким чином енергетичні коефіцієнти впливають на міграційні властивості хімічних елементів?

Практичне заняття № 5

ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ БІОГЕОХІМІЧНОГО КРУГООБІГУ ХІМІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Мета заняття: навчитись визначати показники біогеохімічного кругообігу хімічних елементів та оцінювати характер біогеохімічного кругообігу окремих елементів у компонентах біосфери.

5.1 Теоретичні відомості

Малий біологічний кругообіг – сукупність процесів утворення, життєдіяльності, відмирання, деструкції живої речовини в біосфері. Він перекачує елементи і речовини в безперервному та послідовному циклічному русі при безпосередній взаємодії з абіотичними чинниками довкілля. Біокругообіг уявляє собою систему перетворень, що сполучаються між собою процесами обміну.

Для оцінки характеру біогеохімічного кругообігу використовують наступні показники:

1. *Зольність* (зольний склад) – це вміст хімічних елементів, окрім Нітрогену і Карбону, у золі біомаси. До зольних елементів відносяться всі нелеткі елементи: макроелементи – Si, Ca, Mg, Na, S, P, Fe, Al і деякі мікроелементи. Сума всіх зольних елементів називається зольністю всієї біомаси. Зольність виражається у відсотках на суху речовину або г/м², т/га поверхні.

2. *Біомаса (фітомаса)* – це кількість живої речовини, накопиченої до даного моменту часу біогеоценозом, на одиниці площі (у кг/га, т/га). Цей критерій враховує тільки живу речовину (рослини, ґрунтова фауна, мікроорганізми).

3. *Структура біомаси* – це склад і кількісні співвідношення всіх компонентів біомаси. Для загальної оцінки біогеохімічного значення

мінеральних компонентів живої речовини біосфери порівнюють запас мінеральних речовин біомаси, кількість мінеральних речовин, що щорічно залучаються до обігу з приростом і опадом, з річним хімічним стоком річок. Ці величини близькі: 10^8 зольних речовин залучається до приросту і опадів і 10^9 – в річний хімічний стік річок. *Приріст* – це маса організмів, які накопичені на одиниці площі за одиницю часу. *Опад* – це кількість органічної речовини рослин, відмерлих в надземних і підземних частинах на одиниці площі за одиницю часу. Для визначення структури біомаси використовують коефіцієнт мінералізації біомаси в даній місцевості (КМБ), який дорівнює відношенню біомаси до річного приросту цієї біомаси.

4. *Інтенсивність біогеохімічного кругообігу* – це швидкість накопичення хімічних елементів. Показниками характеристики інтенсивності біогеохімічного кругообігу є

1) індекс біогеохімічного кругообігу (ІБГК):

$$\text{ІБГК} = \frac{S_b}{S_x} \quad (5.1)$$

де S_b – сума елементів (або кількість одного елементу) у річному прирості біомаси;

S_x – сума цих же елементів (або одного елементу), які виносяться водами річок даного басейну (або частиною басейну);

2) коефіцієнт інтенсивності розкладання опадів і тривалість збереження підстилки (ІРТ) (підстилка – це маса багаторічних відкладень рослинних залишків різного ступеню мінералізації):

$$\text{ІРТ} = \frac{M_{\text{п}}}{M_0} \quad (5.2)$$

де $M_{\text{п}}$ – маса підстилки;

M_0 – маса річного опадів.

3) індекс водної міграції (ІВМ):

$$\text{ІВМ} = \frac{X_{\text{H}_2\text{O}}}{X_{\text{зк}}} \quad (5.3)$$

де $X_{\text{H}_2\text{O}}$ – кількість елементу в мінеральному залишку випарованої річкової

або ґрунтової води;

$X_{зк}$ – вміст цього ж елемента в земній корі або породі.

5. *Ємність біогеохімічного кругообігу (ЄБГК)* – це кількість хімічних елементів, що перебувають у складі біомаси (фітомаси). Виражається в одиницях маси на одиницю площі (кг/га)

$$\text{ЄБГК} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n m_i \quad (5.4)$$

де: m_i – маса хімічного елемента у складі біомаси на одиниці площі, кг/га;

n – кількість хімічних елементів у складі біомаси.

6. *Баланс хімічних елементів (або елемента) у біогеохімічному кругообігу (БХЕ)* – це різниця між кількістю хімічних елементів (елемента), які поступають до природної зони, і кількістю елементів, які виводяться з природної зони різними шляхами, на одиниці площі за рік (кг/га/рік)

$$\text{БХЕ} = M_{п} - M_{в}, \quad (5.5)$$

де $M_{п}$ – кількість хімічних елементів (елемента), які поступають до природної зони на одиниці площі за певний час, кг/га/рік;

$M_{в}$ – кількість елементів (елемента), які виводяться з природної зони різними шляхами, на одиниці площі за певний час, кг/га/рік.

7. *Швидкість біогеохімічного кругообігу* – проміжок часу, протягом якого елемент проходить шлях від поглинання його живою речовиною до виходу зі складу живої речовини. Визначають за допомогою мічених атомів.

8. *Контрастність біогеохімічного кругообігу* – це оцінка ємності біологічного кругообігу в різних ландшафтах.

5.2 Завдання

Використовуючи вихідні дані відповідного варіанту (табл. 5.1 – 5.10):

1) розрахувати індекс біогеохімічного кругообігу (ІБГК) хімічних елементів;

2) розрахувати коефіцієнт інтенсивності розкладання опаду і тривалість збереження підстилки (ІРТ) у природній зоні;

- 3) розрахувати ємність біогеохімічного кругообігу (ЄБГК);
- 4) розрахувати баланс хімічних елементів у біогеохімічному кругообігу (БХЕ) природної зони;
- 5) зробити висновок щодо кругообігу хімічних елементів у природній системі.

Результати оформити у вигляді таблиці.

Вихідні дані наведено у таблиці відповідного варіанту:

m_e - запас елементів у фітомасі даної природної зони ;

S_0 - кількість хімічного елементу у річному прирості біомаси;

S_e - маса хімічного елементу, яка виноситься водами річок басейну;

$M_{п}$ - кількість хімічного елементу, який поступає до природної зони на одиниці площі за рік;

$M_{в}$ - кількість елементу, який виводиться з природної зони за рік.

Таблиця 5.1 – Вихідні дані для варіантів 1, 11

Елемент	Вихідні дані							Розраховані параметри			
	m_e , кг/га	S_0 , кг/га	S_e , кг/га	Маса опадів, т / км ²	Маса підстилки, т / км ²	$M_{п}$,	$M_{в}$,	ІБГК	ІРТ	ЄБГК	БХЕ
						кг/га/рік					
N	972,0	24,0	121,8	100	350	24,0	122				
P	113,3	6,0	19,75			6,15	19,8				
K	341,0	15,0	227,0			20,0	227				
Ca	790,0	400,0	280,0			407	280				
Mg	82,0	15,0	43,0			17,0	43,0				
S	87	2,0	5,6			12,0	8,0				

Таблиця 5.2 – Вихідні дані для варіантів 2, 12

Елемент	Вихідні дані							Розраховані параметри			
	m_e , кг/га	S_0 , кг/га	S_e , кг/га	Маса опадів, т / км ²	Маса підстилки, т / км ²	$M_{п}$,	$M_{в}$,	ІБГК	ІРТ	ЄБГК	БХЕ
						кг/га/рік					
N	96,0	124,0	67,0	240	8350	4,0	3,9				
P	11,0	82,0	66,0			-	0,08				
K	31,0	328,0	278,0			3,5	8,4				
Ca	36,0	0,5	29,0			4,0	38,0				
Mg	12,0	13	7,5			2,0	9,5				
S	5,8	22,0	13,0			10,0	7,0				

Таблиця 5.3 – Вихідні дані для варіантів 3, 13

Еле- мент	Вихідні дані						Розраховані параметри				
	m_e , кг/га	S_6 , кг/га	S_e , кг/га	Маса опадів, т / км ²	Маса підстилки, т / км ²	$M_{п,}$	$M_{в,}$	ІБГК	ІРТ	ЄБГК	БХЄ
						кг/га/рік					
N	160,0	4,0	64,2	350	3000	20,0	120				
P	26,0	0,15	0,66			16,2	35,2				
K	140,0	15,0	29,0			29,0	158				
Ca	53,0	21,0	24,0			207	124				
Mg	24,5	20,0	7,0			27,0	54,0				
S	12,0	1,0	9,0			19,0	19,0				

Таблиця 5.4 – Вихідні дані для варіантів 4, 14

Еле- мент	Вихідні дані						Розраховані параметри				
	m_e , кг/га	S_6 , кг/га	S_e , кг/га	Маса опадів, т / км ²	Маса підстилки, т / км ²	$M_{п,}$	$M_{в,}$	ІБГК	ІРТ	ЄБГК	БХЄ
						кг/га/рік					
N	952	30,0	9,6	550	3500	23,6	83,5				
P	141	1,0	3,4			4,6	13,7				
K	532	22,0	39,2			18,4	96,6				
Ca	112	5,0	62,4			51,4	81,7				
Mg	107	3,0	20,8			4,0	29,2				
S	97	1,0	5,1			35,7	12,5				

Таблиця 5.5 – Вихідні дані для варіантів 5, 15

Еле- мент	Вихідні дані						Розраховані параметри				
	m_e , кг/га	S_6 , кг/га	S_e , кг/га	Маса опадів, т / км ²	Маса підстилки, т / км ²	$M_{п,}$	$M_{в,}$	ІБГК	ІРТ	ЄБГК	БХЄ
						кг/га/рік					
N	334	134,0	40,0	650	1500	34,0	69,0				
P	528	208,0	13,0			10,0	14,0				
K	18	8,0	77,0			19,0	88,0				
Ca	474	177,0	51,0			30,0	70,0				
Mg	102	36,0	32,0			4,0	36,0				
S	39	15,0	8,0			22,0	11,0				

Таблиця 5.6 – Вихідні дані для варіантів 6, 16

Елемент	Вихідні дані							Розраховані параметри			
	m_e , кг/га	S_b , кг/га	S_e , кг/га	Маса опадів, т / км ²	Маса підстилки, т / км ²	M_p	M_b	ІБГК	ІРТ	ЄБГК	БХЕ
						кг/га/рік					
N	334	232,0	94,0	1370	1200	14,0	38,0				
P	128	98,0	25,0			25,0	12,0				
K	118	18,0	108,0			11,0	97,0				
Ca	252	157,0	151,0			45,0	64,0				
Mg	312	125,0	132,0			8,0	42,0				
S	12,6	10,0	22,0			2,0	12,0				

Таблиця 5.7 – Вихідні дані для варіантів 7, 17

Елемент	Вихідні дані							Розраховані параметри			
	m_e , кг/га	S_b , кг/га	S_e , кг/га	Маса опадів, т / км ²	Маса підстилки, т / км ²	M_p	M_b	ІБГК	ІРТ	ЄБГК	БХЕ
						кг/га/рік					
N	754	344,0	34,0	420	150	22,0	31,0				
P	318	108,0	23,0			11,0	17,0				
K	28	18,0	47,0			16,0	78,0				
Ca	524	247,0	68,0			28,0	65,0				
Mg	112	48,0	27,0			8,0	42,0				
S	3,9	12,0	18,0			62,0	41,0				
Розташуйте хімічні елементи за мірою зменшення їх участі у біогеохімічному кругообігу											

Таблиця 5.8 – Вихідні дані для варіантів 8, 18

Елемент	Вихідні дані							Розраховані параметри			
	m_e , кг/га	S_b , кг/га	S_e , кг/га	Маса опадів, т / км ²	Маса підстилки, т / км ²	M_p	M_b	ІБГК	ІРТ	ЄБГК	БХЕ
						кг/га/рік					
N	414	224,0	34,0	1150	130	54,0	99,0				
P	128	68,0	15,0			8,0	10,0				
K	48	18,0	27,0			29,0	98,0				
Ca	124	77,0	21,0			20,0	60,0				
Mg	92	26,0	12,0			14,0	46,0				
S	19	5,0	18,0			32,0	10,0				
Розташуйте хімічні елементи за мірою зменшення їх участі у біогеохімічному кругообігу											

Таблиця 5.9 – Вихідні дані для варіантів 9, 19

Елемент	Вихідні дані							Розраховані параметри			
	m_e , кг/га	S_b , кг/га	S_e , кг/га	Маса опадів, т / км ²	Маса підстилки, т / км ²	M_p ,	M_b ,	ІБГК	ІРТ	ЄБГК	БХЕ
						кг/га/рік					
N	104	94,0	54,0	2500	200	14,0	39,0				
P	256	88,0	33,0			7,0	12,0				
K	88	18,0	177,0			29,0	68,0				
Ca	74	77,0	21,0			25,0	55,0				
Mg	92	26,0	12,0			14,0	26,0				
S	3,2	9,0	6,0			2,0	7,0				
Розташуйте хімічні елементи за мірою зменшення їх участі у біогеохімічному кругообігу											

Таблиця 5.10 – Вихідні дані для варіантів 10, 20

Елемент	Вихідні дані							Розраховані параметри			
	m_e , кг/га	S_b , кг/га	S_e , кг/га	Маса опадів, т / км ²	Маса підстилки, т / км ²	M_p ,	M_b ,	ІБГК	ІРТ	ЄБГК	БХЕ
						кг/га/рік					
N	634	254,0	64,0	1650	500	48,0	89,0				
P	218	308,0	43,0			30,0	24,0				
K	68	38,0	177,0			17,0	67,0				
Ca	372	227,0	91,0			20,0	50,0				
Mg	252	86,0	68,0			14,0	26,0				
S	59	35,0	28,0			13,0	7,0				
Розташуйте хімічні елементи за мірою зменшення їх участі у біогеохімічному кругообігу											

5.3 Приклади розрахунків

1. Розрахуйте індекс біогеохімічного кругообігу (ІБГК) для Нітрогену, якщо його кількість у річному прирості біомаси у даному ландшафті становить 7,6 кг/га, а його маса, яка виноситься водами річок басейну, становить 3,9 кг/га. Зробіть висновок, щодо його запасу у біомасі даного ландшафту.

Рішення.

Розраховуємо індекс біогеохімічного кругообігу Нітрогену за формулою (5.1):

$$\text{ІБГК} = \frac{S_b}{S_x} = \frac{7,6}{3,9} = 1,95$$

Відповідь: за визначеним індексом біогеохімічного кругообігу, можна зробити висновок, що запас Нітрогену у біомасі даного ландшафту перевищує його кількість, яка щорічно залучається до кругообігу з його приростом та опадом, у 1,95 разів.

2. Розрахуйте коефіцієнт інтенсивності розкладання опаду і тривалість збереження підстилки (ІРТ) у даній природній зоні, якщо маса підстилки цієї зони становить 8350 т/км², а маса річного опаду – 240 т/км².

Рішення.

Коефіцієнт інтенсивності розкладання опаду і тривалість збереження підстилки (ІРТ) розраховуємо за формулою (5.2):

$$\text{ІРТ} = \frac{M_p}{M_o} = \frac{8350}{240} = 34,79$$

Відповідь: за розрахованим коефіцієнтом інтенсивності розкладання опаду і тривалістю збереження підстилки (ІРТ=34,79) можна зробити висновок, що біогеохімічний кругообіг речовин у даній природній зоні відбувається досить енергійно.

3. Визначить ємність біологічного кругообігу (ЄБК) у ландшафті, якщо запас елементів у фітомасі становить: m_N – 96,0 кг/га, m_P – 11,0 кг/га, m_K – 31,0 кг/га, m_{Ca} – 36,0 кг/га, m_{Mg} – 12,0 кг/га, m_S – 5,8 кг/га, m_C – 181,4 кг/га. Зробіть висновок, щодо накопичування елементів у даному ландшафті.

Рішення.

Ємність біологічного кругообігу у ландшафті визначаємо за формулою (5.4):

$$\text{ЄБК} = \frac{1}{n} \sum_1^n m = \frac{1}{7} (96,0 + 11,0 + 31,0 + 36,0 + 12,0 + 5,8 + 181,4) = 53,3 \text{ кг/га}$$

Відповідь: ємність біогеохімічного кругообігу у відповідному ландшафті становить 53,3 кг/га, що відповідає досить інтенсивному біогеохімічному кругообігу у даній природній зоні. У фітомасі більше накопичується Карбон і

Нітроген, найменше за все накопичується Сульфур.

4. Розрахуйте баланс хімічних елементів Нітрогену, Фосфору, Калію, Кальцію, та розташуйте їх за мірою збільшення участі у біогеохімічному кругообігу, якщо їх кількість, яка поступає до природної зони за рік становить (кг/га/рік): для Нітрогену – 4,0, Фосфору – 0,15, Калію – 5,0, Кальцію – 7,0, а винос цих елементів за рік становить (кг/га/рік): для Нітрогену – 58,8, Фосфору – 3,66, Калію – 24,6, Кальцію – 60,0.

Рішення.

Баланс хімічних елементів у біогеохімічному кругообігу даної природної зони розраховуємо за формулою (5)

$$\text{БХЕ (N)} = 4,0 - 58,8 = -54,8 \text{ кг/га/рік,}$$

$$\text{БХЕ (P)} = 0,15 - 3,66 = -3,51 \text{ кг/га/рік,}$$

$$\text{БХЕ (K)} = 5,0 - 24,6 = -19,6 \text{ кг/га/рік,}$$

$$\text{БХЕ (Ca)} = 7,0 - 60,0 = -53,0 \text{ кг/га/рік.}$$

Відповідь: враховуючи значення балансів хімічних елементів у біогеохімічному кругообігу, можна зробити висновок, що до кругообігу найбільшою мірою залучається Нітроген (-54,8 кг/га/рік), а найменшою – Фосфор (-3,51 кг/га/рік). Ряд хімічних елементів за мірою зростання участі у біогеохімічному кругообігу має вигляд $P < K < Ca < N$.

Контрольні питання

1. Поясніть, у чому полягає роль біогеохімічних кругообігів хімічних елементів для розвитку планети Земля?
2. Які показники використовують для характеристики біогеохімічного кругообігу?
3. Що таке баланс хімічних елементів у біогеохімічному кругообігу?
4. Як визначається ємність біологічного кругообігу у ландшафті?

Практичне заняття № 6

ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ТЕХНОГЕННОГО ГЕОХІМІЧНОГО ФОНУ

Мета заняття: навчитись визначати рівень забруднення ґрунтів токсикантами та оцінювати небезпеки забруднення ґрунту.

6.1 Теоретичні відомості

Обробка геохімічних даних базується на таких ключових поняттях як геохімічний фон, геохімічна аномалія.

Поняття природного геохімічного фону є одним з базових для застосування геохімічних методів при екологічних дослідженнях. Саме визначення фонового діапазону концентрацій дозволяє виділяти області накопичення хімічних елементів. Природний фон відповідає «нормальному» розподілу елементів, сформованому за відсутності збурюючих чинників.

У зв'язку з відносністю даного поняття фон не можна розрахувати, його можна лише оцінити з певною точністю. Водночас, саме відносність поняття геохімічного фону робить його універсальним інструментом при вивченні процесів різного генезису, розділенні природної та техногенної складової розподілу елементів тощо.

Вільним від значної кількості методичних недоліків є спосіб розрахунку геохімічного фону за загальним вмістом хімічного елементу в досліджуваній геохімічній системі. В цьому випадку кларк елементу у земній корі є геохімічним фоном, а будь-яке відхилення від фонового рівня є результатом диференціації речовини в процесі міграції.

Техногенний геохімічний фон встановлюють за даними вмісту техногенних хімічних речовин у поверхневому шарі ґрунтів даного регіону та в донних відкладах, порівняно з їхніми природними фоновими концентраціями.

Ґрунт – особливий компонент біосфери, орґано-мінеральне природно-історичне тіло, яке виникло внаслідок впливу живих організмів і продуктів їх життєдіяльності, природних вод, атмосферного повітря на поверхневі горизонти гірських порід у різних умовах клімату і рельєфу в гравітаційному полі Землі.

Ґрунти найбільше підвержені впливу техногенної діяльності. Внаслідок техногенної діяльності відбувається порушення рівноваги та перебігу ґрунтоутворюючих процесів, що у свою чергу призводить до деградації, дегуміфікації, забрудненню та засоленню ґрунтів. Велику небезпеку представляє забруднення ґрунтів важкими металами, найбільш небезпечними з яких є Hg, Pb, Cd, Ni, Cu, Zn. Виробнича діяльність людини призводить до утворення полікомпонентних геохімічних аномалій навколо промислових підприємств, хвостосховищ, шламових ставків та накопичувачів, вздовж автомагістралей. Зокрема з роботою металургійних підприємств пов'язані аномалії Cu, Zn, Ni, Mo, Co, Hg. Суперфосфатні заводи забруднюють ґрунти недогарковим пилом, який містить Fe, Cu, As, Pb. Внаслідок спалювання каустобіолітів на поверхню ґрунтів надходять Hg, Pb, Cu, Zn, Ni. Pb надходить до ґрунтів з вихлопними газами автомобілів.

За ступенем небезпеки хімічні речовини, які забруднюють ґрунтовий покрив, підрозділяються на 3 класи в залежності від токсичної дії (табл. 6.1).

Таблиця 6.1 – Класи небезпеки хімічних речовин, що надходять у ґрунт

Клас небезпеки	Характеристика речовин	Хімічна речовина
1	високо небезпечні	Миш'як, кадмій, ртуть, свинець, селен, цинк, фтор, бенз(а)пірен
2	задовільно небезпечні	Бор, кобальт, нікель, молібден, мідь, сурма, хром
3	мало небезпечні	Барій, ванадій, вольфрам, марганець, стронцій, ацетофенон

Найдоцільніше при визначенні техногенного геохімічного фону використовувати такі показники, як коефіцієнт концентрації, коефіцієнт техногенного геохімічного навантаження, сумарний показник забруднення. сумарний показник вмісту токсикантів.

Коефіцієнт концентрації хімічної речовини (K_c) визначається віднесенням його реального вмісту в ґрунті до фонового:

$$K_c = \frac{C_i}{C_\phi}, \quad (6.1)$$

де C_i - концентрація забруднюючої речовини у ґрунті, г/кг ґрунту;

C_ϕ - природний фон (концентрація забруднюючої речовини без урахування забруднення) у ґрунті, г/кг ґрунту.

На заміну фонового значення забруднювача можна використовувати величину його граничнодопустимої концентрації ГДК ($C_{ГДК}$). У цьому випадку визначається *коефіцієнт техногенного геохімічного навантаження* або *коефіцієнт небезпеки*:

$$K_n = \frac{C_i}{ГДК_i}; \quad (6.2)$$

де C_i - концентрація забруднюючої речовини у ґрунті, г/кг ґрунту;

ГДК_{*i*} – гранично допустима концентрація, г/кг ґрунту.

Небезпека забруднення тим більше, чим більше фактичні рівні вмісту речовин, які контролюються, перевищують ГДК, тобто чим коефіцієнт небезпеки K_n більше 1.

У випадку полікомпонентної техногенної аномалії розраховується комплексний показник забруднення (КПЗ) за формулою:

$$КПЗ = \sum_{i=1}^n K_n, \quad (6.3)$$

де K_n - коефіцієнт небезпеки (розраховується за формулою (2));

n – число забруднюючих речовин.

Еколого-геохімічна оцінка забруднення ґрунтів за КПЗ наведена в табл. 6.2 (n – кількість елементів, що включаються у розрахунки).

Таблиця 6.2 – Орієнтована шкала оцінки небезпеки забруднення ґрунтів

Рівень забруднення ґрунтів	Величина КПЗ
Помірний	$n < \text{КПЗ} < 3n$
Високий	$3n < \text{КПЗ} < 10n$
Надзвичайно високий	$\text{КПЗ} > 10n$

Для оцінки рівня хімічного забруднення ґрунтів як індикатора несприятливого впливу на здоров'я найчастіше використовується сумарний показник забруднення (Z_c), який розраховується за формулою:

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_c - (n-1), \quad (6.3)$$

де K_c - коефіцієнти концентрації хімічних речовин, що перевищують 1;

n - число компонентів, які враховуються (сумуються значення $K_c \geq 1$).

Оцінка небезпеки забруднення ґрунту за Z_c проводиться за оціночною шкалою (табл. 6.3).

Таблиця 6.3 – Орієнтована шкала оцінки небезпеки забруднення ґрунтів

Категорія забруднення ґрунтів	Величина Z_c	Зміни показників здоров'я населення в осередках забруднення
Припустима	Менше 16	Найбільш низький рівень захворюваності дітей і мінімальна частота функціональних відхилень
Помірно небезпечна	16-32	Збільшення загальної захворюваності
Небезпечна	32-128	Збільшення загальної захворюваності, числа дітей, які часто хворіють, дітей із хронічними захворюваннями, порушеннями функціонального стану серцево-судинної системи
Надзвичайно небезпечна	Більш 128	Збільшення захворюваності дитячого населення, порушення репродуктивної функції жінок (збільшення токсикозу вагітності, числа передчасних пологів, мертвонароджуваності, гіпотрофій немовлят)

Градації оціночної шкали розроблені на основі вивчення показників стану здоров'я населення, що проживає на територіях з різним рівнем забруднення ґрунтів. На сьогодні сумарний показник забруднення залишається єдиною медико-обумовленою характеристикою.

Група елементів, які виявляються в кількості, відмінній від критеріального (геохімічного фону), називається *асоціацією хімічних елементів*. Асоціацію, в якій накопичення елементів пов'язане з єдиним джерелом надходження елементів або загальним міграційним процесом, називають *парагенетичною* (асоціацією співнаходження). Асоціації співнаходження відрізняються тим, що елементи з різних джерел механічно зведені на одній ділянці.

Формула геохімічної асоціації (ряди елементів, що входять в асоціацію, ранжовані за зменшенням величини K_c) відображає співвідношення між елементами і дозволяє виділити серед них пріоритетні забруднювачі. Приклад такої формули, яка представляє пріоритетне становище в якості елементів-забруднювачів кадмію та хрому, наведено нижче:



6.2 Завдання

В таблиці 6.5 надано результати хімічного аналізу проб ґрунтів у дослідних точках урбанізованої території.

1. Обчислити коефіцієнти концентрації металів, використовуючи їх фонові концентрації (табл. 6.5) та концентрації у пробах ґрунтів (табл. 6.4).

2. На підставі отриманих даних розрахувати сумарні показники забруднення (Z_c) ґрунтів та визначити рівень їх небезпеки.

3. Скласти формулу геохімічної асоціації.

Результати оформити у вигляді таблиці. Зробити висновок про рівень забруднення ґрунту та рівень небезпеки забруднення.

Таблиця 6.4 – Вихідні дані для розрахунків за варіантами

Номер варіанту	Pb	Zn	Cu	Sr	Be	Sn	Ti	Mn	Cr	Ni	Co	Mo	V
1	52	220	60	220	2,5	6,9	3500	400	73	30	6,1	10,1	25
2	23	140	50	70	1,8	3,2	2000	900	500	50	11,5	2,9	70
3	34	480	70	100	1,7	6,1	5300	800	120	22	10,3	1,8	90
4	30	510	42	190	1,9	3,5	3000	600	160	45	5,1	1,8	35
5	52	190	50	150	1,3	6,3	6000	900	150	35	65,8	1,7	40
6	40	300	45	100	2,4	5,2	4000	700	510	52	9,9	4,8	73
7	25	320	36	50	2,6	9,6	3500	1100	560	38	11,5	3,5	83
8	27	400	38	200	2,2	2,9	4500	620	640	30	6,5	5,9	33
9	63	250	42	110	3,1	4,4	6100	1100	180	29	11,4	4,8	50
10	65	100	25	150	2,3	1,3	2900	400	450	19	6,4	5,7	25
11	34	750	62	300	1,7	5,5	3400	530	200	25	5,2	1,9	35
12	110	990	400	170	1,2	5,9	4900	700	90	29	8,2	1,9	55
13	78	850	220	110	1,4	2,4	3500	830	70	22	6,1	1,5	45
14	27	600	100	250	1,9	4,8	4300	900	66	26	3,5	1,7	19
15	108	410	69	80	2,6	6,1	5800	850	680	48	11,9	3,5	64

Таблиця 6.5 – Фоновий вміст мікроелементів у ґрунтах досліджуваної території

Елемент	Фон, мг/кг	Елемент	Фон, мг/кг
Sn	3	V	50
Zn	100	Cr	80
Ti	5520	Mo	2
Ni	35	Co	12
Be	3,5	Mn	800
Cu	30	Pb	20
Sr	120		

6.3 Приклад розрахунків

Вихідні дані. В табл. 6.6 представлено результати хімічного аналізу проби дослідної точки та встановлені концентрації 13 важких металів, які є найбільш токсичними для живих організмів.

Таблиця 6.6 – Вміст металів у ґрунтах міста (мг/кг)

№ точки дослідження	Pb	Zn	Cu	Sr	Be	Sn	Ti	Mn	Cr	Ni	Co	Mo	V
2	100	1200	500	120	1,2	5	5000	500	80	25	8	1,2	50

Розрахунок.

Обчислюємо коефіцієнти концентрації важких металів, використовуючи їх фонові значення (табл. 2) та вміст у ґрунтах дослідної точки (табл. 1).

На підставі отриманих даних розраховуємо сумарний показник забруднення (Z_c) ґрунтів за формулою (2):

$$Z_c = \left(\frac{100}{20} + \frac{1200}{100} + \frac{500}{30} + \frac{120}{120} + \frac{5}{3} + \frac{80}{80} + \frac{50}{50} \right) - (7 - 1) =$$

$$= (5 + 12 + 16,7 + 1 + 1,7 + 1 + 1) - 6 = 32,4$$

Визначаємо рівень небезпеки забруднення у дослідній точці за таблицею 3 та складаємо формулу геохімічної асоціації.

Результати розрахунків представлені у таблиці 6.7.

Таблиця 6.7 – Коефіцієнти концентрації мікроелементів (K_c) та сумарний показник забруднення ґрунтів (Z_c) ґрунтів

№ з/п	Коефіцієнт концентрації K_c													Z_c	Рівень небезпеки забруднення на територіях	
	Pb	Zn	Cu	Sr	Be	Sn	Ti	Mn	Cr	Ni	Co	Mo	V			
2	5	12	16,7	1	0,3	1,7	0,9	0,6	1	0,7	0,7	0,6	1	32,4	Небезпечний	
Формула геохімічної асоціації																
Cu16,7 Zn12 Pb5 Sn1,7 Sr1 Cr1 V1																

Висновки. У дослідній точці спостерігається небезпечний рівень забруднення ґрунтів токсикантами. Найбільший вклад у забруднення ґрунтів вносять Cu, Zn та Pb.

Контрольні питання

1. Який показник використовують для оцінки рівня хімічного забруднення ґрунтів як індикатор несприятливого впливу на здоров'я населення?
2. Як розраховується коефіцієнт небезпеки?
3. При якому значенні Z_c вважають, що рівень забруднення допустимий?
4. Дайте визначення природного геохімічного фону та техногенного фону.
5. Які дані та показники використовують для визначення техногенного геохімічного фону?

Практичне заняття № 7

ВИКОРИСТАННЯ БІОІНДИКАЦІЇ ДЛЯ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ВОД

Зміст заняття: Визначення якості природних вод за індексами сапробності.

7.1 Теоретичні відомості

7.1.1 Поняття сапробності та методів її визначення

Гідробіологічна оцінка якості вод дозволяє: визначити екологічний стан водних об'єктів; оцінити якість вод як середовища мешкання живих організмів; визначити сукупний ефект впливу забруднювальних речовин; перевірити наявність вторинного забруднення. Серед методів гідробіологічного аналізу поверхневих вод сапробіологічний аналіз займає одне з найважливіших місць.

Багато методів оцінки якості природних вод, побудовано на принципі різного відношення до рівня сапробності різних видів організмів, зокрема, за індексами сапробності.

Сапробність – ступінь насиченості води органічними речовинами, що розкладаються, при постійному низькому вмісті кисню.

Водойми й окремі ділянки їхньої акваторії класифікуються за ступенем забруднення органічними речовинами в такий спосіб:

- ксеносапробна зона (I клас чистоти) – вода "дуже чиста";
- олігосапробна зона (II клас чистоти) – вода "чиста", розчинених органічних речовин практично немає, кількість кисню близька до величини нормального насичення, сірководень відсутній, двооксиду вуглецю мало;
- бета-мезосапробна зона (III клас чистоти) – вода "слабко (помірковано) забруднена", характеризується присутністю аміаку і продуктів його

окислювання, сірководень зустрічається в незначних кількостях, кисню у воді багато і мінералізація йде за рахунок повного окислювання органічної речовини;

– альфа-мезасапробна зона (IV клас чистоти) – вода "забруднена", кисень присутній у незначних кількостях, кількість сірководню зростає, багато органіки, що не розклалась;

– полісапробна зона (V клас чистоти) – вода "брудна", характеризуються майже повною відсутністю кисню, наявністю у воді білків, що не розклалися, і значних кількостей сірководню;

– гіперсапробна зона (VI клас чистоти) – вода "дуже брудна".

Оцінка ступеня забруднення за біологічними показниками, тобто за складом флори і фауни, може здійснюватись за індикаторними організмами (біоіндикаторами). У такому випадку користуються заздалегідь розробленими системами видів-індикаторів, за допомогою яких можна класифікувати ступінь забруднення по присутності чи відсутності індикаторних видів чи груп.

У класичній системі організми-індикатори поділяють на три групи:

- 1) організми сильно забруднених вод - полісапроби;
- 2) організми помірно забруднених вод - мезосапроби (із двома підгрупами α і β);
- 3) організми малозабруднених вод - олігосапроби.

Багато видів-індикаторів зустрічаються у водах двох чи навіть трьох ступенів сапробності. Для уточнення результатів біологічного аналізу введений показник сапробної валентності.

Сапробна валентність виду показує якою мірою він характерний для того чи іншого ступеня сапробності. Кожному виду дається в сумі десять балів сапробної валентності, що розподіляються в тих ступенях, у яких він зустрічається.

Щоб при оцінці ступеня забруднення підвищити роль видів, присутність яких характерна для визначеного ступеня сапробності, вводять поняття *індикаторної ваги*, що оцінюється для кожного виду в балах від 1 до 5.

Індикаторна вага 5 (кращі індикатори) – дається організмам, для яких усі 10 балів сапробної валентності розподіляються в одному ступені сапробності чи у співвідношенні 9:1 у сусідніх ступенях сапробності.

Індикаторна вага 4 – дається організмам, у яких бали сапробної валентності знаходяться в двох сусідніх ступенях сапробності у співвідношенні 8:2 і 7:3; чи в співвідношенні 1:8:1 – у трьох ступенях сапробності.

Індикаторна вага 3 – дається у всіх випадках, коли бали валентності знаходяться в двох сусідніх ступенях сапробності в співвідношенні 6:4 чи 5:5 чи в трьох ступенях сапробності із середньої в шість чи сім балів.

Індикаторна вага 2 – привласнюється організмам, що зустрічаються в трьох ступенях сапробності, причому максимальна кількість балів в одному ступені досягає п'яти чи чотирьох, а також організмам з чотирьох ступенів сапробності із максимальною кількістю сім і шість балів в одній з них.

Індикаторна вага 1 (погані індикатори) – дається всім організмам, що зустрічаються в чотирьох ступенях сапробності з максимальною кількістю п'ять, чотири чи три бали в одній з них.

7.2 Завдання

1. Оцінка ступеня сапробності водного біоценозу за Зелінке та Марваном

Завдання складає з розрахунку середньозважених сапробних валентностей за Зелінке-Марваном (Zelinka, Marvan, 1961) та оцінки на їх основі ступеня сапробності водного біоценозу.

Порядок виконання завдання

1. Відповідно до варіанту вибрати номери видів організмів у трьох точках відбору проб (табл. 7.1).

2. Вибрати для кожного номеру виду вихідні дані для розрахунку: сапробна валентність, індикаторна вага, індикаторне значення (табл. 7.2).

3. Розрахувати середньозважені сапробні валентності в трьох точках відбору проб і визначити сапробність ділянок.

4. Результати представити у вигляді табл. 7.4.

Таблиця 7.1 – Перелік видів організмів за варіантами

Номер варіанту	Номери видів організмів-індикаторів у точках відбору проб		
	0 км	10 км	30 км
1	1, 6, 12, 18, 24	11, 17, 23, 29, 35	21, 17, 13, 9, 5
2	2, 8, 14, 20, 26	12, 18, 24, 30, 36	22, 18, 14, 8, 4
3	3, 9, 15, 21, 27	13, 19, 25, 31, 37	23, 19, 15, 9, 5
4	4, 10, 16, 22, 28	14, 20, 26, 32, 28	24, 20, 16, 12, 8
5	5, 11, 17, 23, 29	15, 21, 27, 33, 39	25, 21, 17, 13, 9
6	6, 11, 16, 21, 26	16, 22, 28, 34, 40	26, 22, 18, 14, 10
7	7, 13, 19, 25, 31	17, 22, 27, 32, 37	27, 23, 19, 15, 11
8	8, 14, 20, 26, 32	18, 23, 28, 33, 38	28, 24, 20, 16, 12
9	9, 15, 21, 27, 33	19, 24, 29, 34, 39	29, 25, 21, 17, 13
10	10, 16, 22, 28, 34	20, 15, 10, 5, 40	30, 26, 22, 18, 14
11	3, 39, 32, 27, 15	4, 40, 33, 28, 11	5, 1, 34, 29, 13
12	31, 27, 19, 15, 16	35, 31, 23, 19, 21	39, 35, 27, 23, 25
13	32, 28, 20, 16, 17	36, 32, 24, 20, 22	40, 36, 28, 24, 26
14	33, 29, 21, 17, 18	37, 33, 25, 21, 23	1, 37, 39, 25, 27
15	34, 30, 22, 18, 19	38, 34, 26, 22, 24	2, 38, 30, 26, 28

Таблиця 7.2 – Вихідні дані для розрахунку індексів сапробності (витяг з атласу індикаторних організмів)

№ виду з табл. 2	Кількість особнів в		Сапробна валентність					Індикаторна вага j	s
			A	B	C	D	E		
	екз.(n)	%	χ	σ	β	α	ρ		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	69	10	7	3				4	p
2	31	20	1	4	3	2		1	b
3	30	5	4	3	3			2	b
4	42	3	1	3	3	3		1	a
5	8	<1	7	3				4	b
6	28	10	9	1				5	a
7	4	<1	10					5	b
8	6	<1	7	3				3	b

Продовження таблиці 7.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
9	2	<1	1	4	4	1		1	b
10	5	3	3	3	3	1		1	b
11	8	8	1	4	4	1		1	a
12	12	5	0	2	5	3		2	a
13	43	15	2	5	3			2	o
14	5	<1	2	7	1			3	b
15	18	10	1	4	5			3	a
16	6	<1	2	3	5			3	b
17	21	25	4	5	1			2	b
18	4	3	7	3				4	o
19	2	<1	1	6	3			3	b
20	17	5	7	3				4	b
21	54	25	1	6	3			3	a
22	32	10	1	5	4			3	o
23	7	<1	7	3				4	b
24	9	<1	4	5	1			3	b
25	11	3	4	5	1			2	a
26	30	10	3	5	2			2	a
27	8	2	2	6	2			3	o
28	45	5	2	6	2			3	o
29	5	<1	3	6	1			3	p
30	3	<1	4	6				3	b
31	8	<1	5	5				3	b
32	14	2	8	2				4	a
33	2	<1	5	5				3	b
34	10	3	8	2				4	b
35	23	5	3	3	3	1		1	b
36	6	<1	5	5				3	b
37	4	<1	4	6				3	a
38	7	<1	2	7	1			3	b
39	31	10	8	2				4	a
40	42	5	3	6	1			3	o

Для визначення ступеню сапробності всього біоценозу розраховують середньозважені сапробні валентності для ксеносапробної ступіні – А, олігосапробної – В і т.д. за формулами:

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n a_i \cdot n_i \cdot j_i}{\sum n_i \cdot j_i}; B = \frac{\sum_{i=1}^n b_i \cdot n_i \cdot j_i}{\sum n_i \cdot j_i}; \text{ і т.д.}, \quad (7.1)$$

n_i – кількість особнів і-го виду;

j_i – індикаторна вага і-го виду;

a_1, b_1, c_1 і т.д. – сапробні валентності i -го виду.

Приклад розрахунку

Вихідні дані розрахунку середньозважених сапробних валентностей біоценозу за Зелінке-Марваном наведені у табл. 7.3.

Приклад розрахунку середньозважених сапробних валентностей біоценозу за Зелінке і Марваном наведено в табл. 7.4. Розраховуються добутки $a \times j \times n$; $b \times j \times n$; $c \times j \times n$ і т.д. для кожного виду і їхні суми (ΣP). Ці суми поділяються на суми добутків $j \times n$. Отримані значення є середньозваженими валентностями біоценозу. Максимальна середньозважена валентність характеризує біоценоз за сапробністю.

Таблиця 7.3 – Вихідні дані розрахунку середньозважених сапробних валентностей біоценозу за Зелінке-Марваном

Вид	A	B	C	D	J	кількість (n)
	x	o	b	a		
1	3	3	3	1	1	69
2	5	5	-	-	3	31
3	4	6	-	-	3	30
4	2	7	1	-	3	42
5	-	8	2	-	4	8

Таблиця 7.4 – Розрахунок середньозважених сапробних валентностей біоценозу за Зелінке-Марваном

Вид	x (a · j · n)	o (b · j · n)	b (c · j · n)	a (d · j · n)
1	207	207	207	69
2	465	465	-	-
3	360	540	-	-
4	252	882	126	-
5	-	256	64	-
Суми ΣP	1284	2350	397	69
$\Sigma j \times n = 410$				
Середньозважені сапробні валентності біоценозу	3,13	5,73	0,97	0,17

Висновок: сапробність проаналізованої ділянки водойми характеризується як олігосапробна.

2. Визначення сапробності водойм за Пантле-Буком

Оцінити рівень забруднення відповідних ділянок водойми за допомогою чисельного вираження типових співтовариств гідробіонтів-індикаторів, графічно представити дані біологічного аналізу якості води водного об'єкту.

За методом Пантле і Бука (Pantle, Buck, 1955) кількісна оцінка видів-індикаторів забруднення враховує відношення окремих видів до п'яти відомих ступенів системи сапробності (s) (табл. 7.5) і відносну частоту зустрічальності (h) (табл. 7.6).

Таблиця 7.5 – Відношення видів-індикаторів до п'яти ступенів сапробності

Шкала сапробності	умовні ознаки	значення s
ксеносапробна	x	0
олігосапробна	o	1
β-мезосапробна	b	2
α-мезосапробна	a	3
полісапробна	p	4

Таблиця 7.6 – Відносна частота зустрічальності видів-індикаторів та значення h

Шкала частоти	Кількість екземплярів одного виду (%) від загальної кількості	Значення h
дуже рідко	<1	1
рідко	2-3	2
нерідко	4-10	3
часто	11-20	5
дуже часто	21-40	7
масовий розвиток	41-100	9

Обидві величини (s та h) входять у формулу для обчислення індексу сапробності:

$$S = \frac{\sum(h \cdot s)}{\sum h} \quad (7.2)$$

У полісапробній зоні він дорівнює – 4,0–3,5; у β-мезосапробній зоні – 3,5–2,5; у α-мезосапробній зоні – 2,5–1,5 і в олігосапробній – 1,5–1,0.

Для графічного представлення результатів дослідження стану біоценозів за допомогою видів-індикаторів будують криві відносної чистоти і відносного забруднення води водойми. Крапки першої являють собою відношення суми балів частоти зустрічальності (h) оліго- і β -сапробів до суми балів усіх показових організмів у відсотках:

$$\frac{\sum o+b}{\sum o+b+a+p} \% . \quad (7.3)$$

Дзеркальним відображенням кривої відносної чистоти водойми служить крива відносного забруднення, крапки якої є відношення суми балів α -сапробів і полісапробів до суми балів усіх показових організмів, виражене у відсотках:

$$\frac{\sum a+p}{\sum o+b+a+p} \% . \quad (7.3)$$

Знайдені суми відкладають на вертикальній осі графіку, на горизонтальній осі відкладаються точки відбору чи відстані між станціями відбору проб.

Порядок виконання завдання

1. Відповідно до вихідних даних (табл. 7.1 та 7.2) визначити чисельне значення ступеня сапробності кожного виду – s (табл. 7.5) та чисельне значення зустрічальності кожного виду – h (табл. 7.6).
2. Визначити сапробність у трьох точках відбору проб за Пантле і Буком.
3. Розрахувати значення відносного забруднення та відносної чистоти води в трьох точках та представити їх графічно.

Приклад розрахунку

Приклад оцінки рівня забруднення за методом Пантле-Бука наведено в табл. 7.7.

Таблиця 7.7 - Оцінка рівня забруднення за методом Пантле і Бука

Види	Характеристики			
	s	h	s · h	
1	p	3	12	
2	b	1	2	
3	b	3	6	
4	a	2	6	$\Sigma h_p = 3$
5	b	1	2	
6	a	3	9	$\Sigma h_a = 15$
7	b	2	4	
8	b	3	6	$\Sigma h_b = 23$
9	b	3	6	
10	b	5	10	
11	a	2	6	
12	a	2	6	
13	b	3	6	
14	a	2	6	
15	b	2	4	
16	a	2	6	
17	a	2	6	
$\Sigma h = 41 \quad \Sigma (s \cdot h) = 103$				

$$S = \frac{\sum (h \cdot s)}{\sum h} = \frac{103}{41} = 2,51$$

Висновок: за методом Пантле-Бука досліджувана ділянка оцінюється як β -мезосапробна (індекс сапробності – 3,5-2,5).

Контрольні питання

1. У чому полягає гідробіологічний метод оцінки якості природних вод?
2. Що називають сапробністю?
3. Як класифікуються водойми й окремі ділянки їхньої акваторії за ступенем забруднення органічними речовинами?
4. Що означає сапробна валентність виду?
5. Які методи визначення індексу сапробності ви знаєте?

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Федорова Г.В. Біогеохімія: навчальний посібник / Г.В. Федорова; Одеськ. держ-ний екол-ний ун-т, - Одеса: ТЕС, 2015. – 284 с.
2. Біогеохімія : Навчальний посібник / За ред. В.І. Дорохова. – Житомир: Полісся, 2004. - 151 с.
3. Федишин Б.М. Хімія з основами біогеохімії / Б.М. Федишин, О.С. Заболоцька, В.І. Дорохов, Г.В. Павлюк, М.В. Вовк. – Ж. ЖНАЕУ, 2010. – 546 с.
4. Рудишин С.Д. Основи біогеохімії [Текст]: навчальний посібник / С.Д. Рудишин. – К. : Академія, 2013. -248 с.
5. Дмитрук Ю.М. Основи біогеохімії [Текст]: навчальний посібник / Ю.М. Дмитрук, М.А. Бербець. _ Чернівці : Книга-XXI, 2009. – 288 с.
6. Никифоров В.В., Дегтяр С.В., Мазницька О.В., Козловська Т.Ф. Біоіндикація та біотестування : навчальний посібник. – Кременчук : Видавництво П.П. Щербатих О.В., 2016. – 76 с. – Електронний ресурс. Режим доступу: http://biotech.kdu.edu.ua/content/metod/B_V.pdf.
1. Гуцуляк, В.М. Геохімія ландшафту [Текст]: навч. посібник / В.М. Гуцуляк. – Чернівці: Рута, 2004. – 84 с.
2. Гуцуляк, В.М. Ландшафтна екологія: Геохімічний аспект [Текст]: навч. посібник / В.М. Гуцуляк. – Чернівці: Рута, 2002. – 272 с.
3. Єгорова, Т.М. Ландшафтна екологія (географічні та геохімічні аспекти) [Текст]: конспект лекцій / Т.М. Єгорова. – К.: НАУ, 2002. – 76 с.

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять з дисципліни
«ОСНОВИ БІОГЕОХІМІЇ»
(для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня
спеціальності 101 Екологія)
(Електронне видання)

Укладач:
В.І. МОХОНЬКО

Оригінал-макет *В.І. Мохонько*

Підписано до друку _____

Формат 60x84 ¹/₁₆. Папір друкар. Гарнітура Times.

Друк офсетний. Умов. друк. арк. 3,9. Облік. - вид. арк. _____

Тираж _____ екз. Вид. № _____. Замов. № _____. Ціна договірна.

**Видавництво Східноукраїнського національного університету
імені Володимира Даля**

Адреса видавництва: м. Київ, вул. Іоанна Павла II, 17

Телефон: +38 (050) 218 04 78, факс (064 52) 4 03 42

e-mail: vidavnictvosnu.ua@gmail.com.