

УДК 550.424

ЕКОЛОГІЧНЕ ОЦІНЮВАННЯ ТЕХНОГЕНЕЗУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ

ЯКОВИШИНА Т. Ф. *, к. с.-г. н., доц.

* Кафедра екології та охорони навколишнього середовища, Державний вищий навчальний заклад “Придніпровська державна академія будівництва та архітектури”, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 469371, e-mail: t_yakovyshyna@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-5924-7847

Анотація. Постановка проблеми. Сучасні потреби промисловості ініціюють підсилення інтенсивності техногенезу, що позначається на процесах міграції мікро- та ультрамікроелементів і спричинює накопичення на поверхні планети Земля в значних кількостях елементів першого класу токсичності, до яких, насамперед, належать важкі метали. Екологічні особливості технофільних елементів: тривалий період напіввиведення в природних умовах (для *Cd* – 155 років, *Zn* – до 500 років, *Pb* – до декількох тисяч років); біофільність, що відбивається через токсичність для живих організмів; здатність спричиняти канцерогенний і мутагенний ефекти; концентрування в трофічних ланцюгах – зумовлюють надзвичайну небезпеку для людини і біоти. Низький коефіцієнт використання важких металів із видобутої сировини спричинює їх розсіювання в біосфері й утворення техногенних геохімічних аномалій. **Мета статті** – провести екологічне оцінювання техногенезу важких металів (*Cd*, *Pb*, *Zn*, *Mn* та *Cu*) шляхом вивчення на глобальному планетарному рівні біогеохімічних показників, як тих, що стосуються безпосередньо властивостей самих металів, так і тих, які пов’язані з людською діяльністю, та включенням цих токсикантів у продукцію промислового виробництва та відходи. **Висновок.** Техногенез важких металів значно зріс протягом ХХ століття. Згідно з позитивним характером асиметрії розподілу технофільності відносно середнього, підвищення інтенсивності включення *Pb* і *Cd* з техногенними потоками до біогеохімічних циклів відбувалось більш поступово, ніж *Zn*, *Cu* і *Mn*. Деструкційна активність досліджуваних хімічних елементів, яка змінювалась у ряді *Pb* > *Cu* > *Zn* > *Cd* > *Mn* на початку ХХ століття до *Cd* > *Cu* > *Pb* > *Zn* > *Mn* – у ХХІ свідчила про встановлення токсичних, канцерогенних та мутагенних властивостей свинцю. Отже, людство усвідомило небезпеку розповсюдження його в біосфері та подальшої біогенної міграції по трофічних ланцюгах. За модулем техногенного навантаження встановлено підвищення інтенсивності розповсюдження важких металів у ноосфері та доведено, шляхом порівняння вмісту хімічних елементів у відходах виробництва та продукції після завершення її життєвого циклу з кларком у літосфері, можливість рекуперації та рециклінгу, отже, використання цих цінних компонентів у подальшому виробництві.

Ключові слова: техногенез, важкі метали, технофільність, міграція, біосфера.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТЕХНОГЕНЕЗА ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

ЯКОВИШИНА Т. Ф. *, к. с.-х. н., доц.

* Кафедра экологии и охраны окружающей среды, Государственное высшее учебное заведение “Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры”, ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 469371, e-mail: t_yakovyshyna@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-5924-7847

Аннотация. Постановка проблемы. Современные потребности промышленности инициируют усиление интенсивности техногенеза, что сказывается на процессах миграции микро- и ультрамикроэлементов и приводит к накоплению на поверхности планеты Земля в значительных количествах элементов первого класса токсичности, к которым, прежде всего, относятся тяжелые металлы. Экологические особенности технофильных элементов: длительный период полувыведения в природных условиях (для *Cd* – 155 лет, *Zn* – до 500 лет *Pb* – до нескольких тысяч лет); биофильность, что отражается на токсичности для живых организмов; способность вызывать канцерогенный и мутагенный эффекты; накапливаться в трофических цепях – обуславливают чрезвычайную опасность для человека и биоты. Низкий коэффициент использования тяжелых металлов из добытого сырья способствует их рассеиванию в биосфере и образованию техногенных геохимических аномалий. **Цель статьи.** Провести экологическую оценку техногенеза тяжелых металлов (*Cd*, *Pb*, *Zn*, *Mn* и *Cu*) путем изучения на глобальном планетарном уровне биогеохимических показателей, как тех, что касаются непосредственно свойств самих металлов, так и связанных с человеческой деятельностью и включением этих токсикантов в продукцию промышленного производства и отходы. **Вывод.** Техногенез тяжелых металлов значительно вырос в течение ХХ века. Согласно с положительным характером асимметрии распределения технофильности отно-

сительно среднего, повышение интенсивности включения *Pb* и *Cd* с техногенными потоками в биогеохимические циклы происходило более постепенно, чем *Zn*, *Cu* и *Mn*. Деструкционная активность исследуемых химических элементов, которая изменялась в ряде $Pb > Cu > Zn > Cd > Mn$ в начале XX века до $Cd > Cu > Pb > Zn > Mn$ – в XXI свидетельствовала о выявлении токсичных, канцерогенных и мутагенных свойств свинца, следовательно, человечество осознало опасность распространения его в биосфере и дальнейшей биогенной миграции по трофическим цепям. По модулю техногенной нагрузки установлено повышение интенсивности распространения тяжелых металлов в ноосфере и доказана, путем сравнения содержания химических элементов в отходах производства и продукции после завершения ее жизненного цикла с кларком в литосфере, возможность рекуперации и рециклинга, что говорит о возможности использования этих ценных компонентов в дальнейшем производстве.

Ключевые слова: *техногенез, тяжелые металлы, технофильность, миграция, биосфера.*

ECOLOGICAL ESTIMATION OF HEAVY METALS TECHNOGENESIS

YAKOVYSHYNA T. F. *, *Ph.D., Ass. Prof.*

*Department of Ecology and Environmental Protection, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk, 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 469371, e-mail: t_yakovyshyna@ukr.net, ORCIDID:0000-0002-5924-7847

Summary. Raising of problem. The modern industry needs initiate amplification of the technogenes is intensity that affects the processes of the micro- and ultramicroelements migration and lead to accumulation significant quantities of the elements of the first class of toxicity on the Earth surface, which primarily include heavy metals Ecological peculiarities of the technophiles elements, as long half-life in the environment (for *Cd* – 155 years, *Zn* – 500 years *Pb* – up to several thousand years); biophysically reflected through toxicity to living organisms; ability to induce carcinogenic and mutagenic effects; concentration in food chains, cause extreme danger to humans and biota. Low utilization of the heavy metals from the raw promotes their dispersion in the biosphere and the formation of technogenic geochemical anomalies. **Purpose.** Conduct an ecological assessment of the heavy metals (*Cd*, *Pb*, *Zn*, *Mn* and *Cu*) technogenes is by examining biogeochemical parameters on the global planetary level, both those relating directly to the properties of metals, and those related to human activities and including of these toxic elements in the industrial products and waste. **Conclusion.** Technogenesis of the heavy metals has increased significantly during the twentieth century. According to the positive nature of the technophylla symmetry relative to the average, intensity of the *Pb* and *Cd* inclusion with the man-made stream the biogeochemical cycles occurred more gradually than *Zn*, *Cu* and *Mn*. Destruction activity of the chemical elements changed in some $Pb > Cu > Zn > Cd > Mn$ in the early twentieth century, $Cd > Cu > Pb > Zn > Mn$ – in the twentieth, showed establishing of the toxic, carcinogenic and mutagenic properties of the lead, so mankind has realized the risk of the biosphere and it is subsequent biogenic migration in the food webs. For load of the technogenic module has been installed increasing the intensity distribution of heavy metals in the noosphere and has been proved by comparison of the chemical elements in the waste production and product after its life with clarkin the lithosphere possibility of recuperation and recycling, so use these valuable components in future production.

Keywords: *technogenesis, heavy metals, technophilist, migration, biosphere.*

Постановка проблеми. Сучасні потреби промисловості ініціюють підсилення інтенсивності техногенезу, що позначається на процесах міграції мікро- та ультрамікроелементів і спричинює накопичення на поверхні планети Земля в значних кількостях елементів першого класу токсичності, до яких, насамперед, належать важкі метали. Таке активне включення в народногосподарську діяльність, як прямо, так і опосередковано через забруднення навколишнього середовища, елементів, котрі донедавна майже не використовувались, потребує детального аналізу цілої низки їх еколого-

біологічних показників у часі для прогнозування ступеня техногенного навантаження на довкілля. В давнину людство використовувало лише 18 хімічних елементів, у XVIII столітті їх кількість збільшилась до 28, в XIX – до 62, а наразі в промисловості застосовуються всі поширені на планеті, а також штучно створені людиною елементи. Масштаби щорічного видобутку коливаються від мільярдів тонн для *C* (вугілля, нафта) до тисяч тонн для важких металів, що пов'язано з властивостями цих елементів, їх цінністю для народного господарства, технологією отримання, здатністю концентруватися в

земній корі тощо. Інтенсивність включення важких металів із техногенними потоками в біосферу визначається потребами використання в господарській діяльності людини і дає змогу віднести їх до технофільних елементів.

Екологічні особливості технофільних елементів: тривалий період напіввиведення в природних умовах (для *Cd* – 155 років, *Zn* – до 500 років *Pb* – до декількох тисяч років); біофільність, що відбивається через токсичність для живих організмів; здатність спричиняти канцерогенний і мутагенний ефекти; концентрування в трофічних ланцюгах – зумовлюють надзвичайну небезпеку для людини і біоти. Низький коефіцієнт використання важких металів із видобутої сировини сприяє їх розсіюванню в біосфері й утворенню техногенних геохімічних аномалій.

Аналіз публікацій за темою. Вперше проблема техногенезу важких металів постає у працях А. Є. Ферсмана, де він на прикладі розподілення їх річного видобутку доводить, що концентрування цих токсичних елементів під час переробки руд і наступного господарського використання – тимчасовий проміжний етап промислового геохімічного впливу на навколишнє середовище, наприкінці якого відбувається розсіювання, котре за швидкістю в багато разів перевищує природні процеси міграції [10].

У подальшому розроблена концепція техногенезу була суттєво доповнена працями таких учених як D. C. Adriano (1986), Ю. Н. Водяницький (2009), Н. С. Касимов (2012), Д. В. Власов (2012) і зараз ґрунтується на оцінці геохімічних процесів: видобутку хімічних елементів із складових природного середовища; перегрупованні хімічних елементів за рахунок зміни хімічного складу сполук, до якого входять ці елементи, а також створенні нових хімічних речовин; розсіюванні в процесі техногенезу елементів із подальшим забрудненням навколишнього середовища [2; 5; 11].

Виникає потреба у визначенні показників для характеристики і оцінки інтенсивності техногенезу. Тому, враховуючи досвід А. Є. Ферсмана щодо залежності інтенсив-

ності використання елементів від їх розгашування в Періодичній системі Д. І. Менделєєва, а саме: від розмірів їх атомів, іонів та величини кларків, А. І. Перельман запропонував показник технофільності елемента, який пов'язує існуючий рівень технологій видобутку й використання елемента в промисловості з його концентрацією в земній корі [7]. Проте з екологічної точки зору практичного значення набуває розповсюдження токсичних елементів на поверхні планети Земля, адже внаслідок низьких кларків важких металів у біосфері живі організми не здатні адаптуватися до їх високих концентрацій, що спричинює деградацію екосистем.

Кількісним критерієм інтенсивності техногенезу та його небезпеки для ландшафтів виступає запропонований М.Ф. Глазовським (1982) модуль техногенного геохімічного навантаження [4]. Зазвичай накопичення хімічних елементів у живій речовині характеризують за допомогою біофільності, однак стосовно токсичного впливу поширених у біосфері важких металів істотного значення набуває здатність їх розкладання наземними організмами, що відбивається через показник деструкційної активності хімічних елементів (М. А. Глазовська, 1968) [3].

Наразі наведені показники вираховують здебільшого локально для окремо взятих регіонів, проте виникає потреба у встановленні їх динаміки в глобальному планетарному масштабі, що дасть змогу визначення інтенсивності техногенезу важких металів протягом розвитку промисловості. Крім того, доцільно встановити сумарні коефіцієнти ноосферної концентрації токсичних елементів у різноманітній продукції промислового виробництва та відходах як тимчасового депозиту на шляху їх антропогенно перетворених біогеохімічних циклів.

Тому **мета** полягала в проведенні екологічного оцінювання техногенезу важких металів (*Cd*, *Pb*, *Zn* та *Cu*) шляхом вивчення на глобальному планетарному рівні біогеохімічних показників, як тих, що стосуються безпосередньо властивостей самих металів, так і тих, які пов'язані з людською діяльністю та включенням цих токсикантів у продукцію промислового виробництва та відходи.

Методи проведення досліджень. Для оцінювання фізико-хімічних властивостей важких металів до міграційної здатності застосовували показник Картленджа (ПК) та енергетичний коефіцієнт для катіонної форми міграції (ЕК_{кат}):

$$ПК = \frac{Z}{R_i}$$

$$ЕК_{кат} = \frac{Z^2}{2R_i} [0,75(R_i + 0,2)]$$

де: Z – заряд іона; R_i – радіус іона, Å [9].

Для визначення інтенсивності техногенезу розраховували технофільність важких металів (T_x) як відношення видобутку (D) до його кларка (K) в літосфері в динаміці протягом останніх 100 років [2; 6]:

$$T_x = D/K, \%$$

Ступінь небезпеки важких металів для живих організмів характеризували за допомогою показника деструкційної активності (ДА), що є відношенням маси елемента, який надходить у навколишнє середовище з техногенними потоками, до маси цього елемента в біологічній продукції наземних організмів:

$$ДА = T_x/B$$

де B – біофільність важкого металу, тобто відношення середнього вмісту елемента в живій речовині до його кларка в літосфері [6].

Розповсюдження важких металів на поверхні планети Земля визначали за модулем техногенного навантаження (МТН):

$$МТН = D/S$$

де S – площа поверхні суші, км² [6].

Включення токсикантів у продукції промислового виробництва визначали за сумарним коефіцієнтом ноосферної концентрації:

$$C_k = \sum K_k \cdot n$$

де K_k – величина відношення вмісту компонентів у продукції (відходи виробництва) до кларка цих елементів у ноосфері; n – число аномальних елементів.

Аналіз показників техногенезу важких металів здійснювали, користуючись даними United States Geological Survey щодо річного видобутку цих елементів [13].

Результати досліджень та їх обговорення. Внутрішні фактори міграції важких металів, що визначаються будовою їх атомів, тобто здатністю утворювати леткі, розчинні або інертні форми, характеризували, використовуючи іонний радіус, показник Картленджа та енергетичні коефіцієнти. Іонні радіуси зумовлюють розчинність сполук, їх твердість, температуру плавлення і кипіння, структуру й енергію кристалічних ґраток мінералів, від чого, у свою чергу, залежить міграція атомів хімічних елементів та розповсюдження їх на планеті.

Таблиця 1

Фізико-хімічні показники здатності важких металів до міграції

Іон важкого металу	Радіус іона, Å	Показник Картленджа	Енергетичний коефіцієнт
Pb ²⁺	1,32	1,52	1,73
Cd ²⁺	1,03	1,94	1,79
Mn ²⁺	0,91	2,20	1,83
Zn ²⁺	0,81	2,47	1,87
Cu ²⁺	0,80	2,50	1,88

Дальність міграції атомів хімічних елементів була встановлена О. С. Ферсманом на основі закономірностей зміни величин

радіусів хімічних елементів залежно від їх положення в таблиці Д. І. Менделєєва, а саме: зі зростанням порядкового номера вони

зростають у групах, а в періодах – зменшуються; по діагоналі – мають близькі розміри (правило діагональних рядів); зі збільшенням заряду катіона зменшуються, а аніона – зростають. У нашому випадку вона змінювалась від свинцю до міді (табл. 1). Проте більш наочно цю закономірність ілюструють показник Картленджа як фактор електростатичних властивостей іона, та енергетичний коефіцієнт – пай енергії, що виділяється іоном під час утворення кристалічної решітки мінералів, до складу яких входять важкі метали. За величинами картлів (ПК < 3) проаналізовані важкі метали належать до елементів, катіони яких легко переходять до природних вод, тобто комплексні іони не утворюються. Енергетичні коефіцієнти підвищуються зі збільшенням валентності та зменшенням іонного радіуса. Зі зростанням радіусів показник Картленджа й величини енергетичних коефіцієнтів знижувались, отже, віддаленість міграції зростала.

У природних умовах важкі метали є переважно розсіяними хімічними елементами, однак рівні їх вмісту в гірських породах істотно відрізняються, про що свідчать кларки в земній корі: $Zn - 8,3 \cdot 10^{-3}$; $Pb - 1,6 \cdot 10^{-3}$; $Cu - 4,7 \cdot 10^{-3}$; $Mn - 10^{-1}$; $Cd - 1,3 \cdot 10^{-6}$ [1]. Взагалі елементи, котрі відрізняються кларками та розмірами видобутку, можуть мати однакову або споріднену технофільність, тобто людство використовує їх у своїй господарській діяльності пропорційно розповсюдженню в літосфері, що, насамперед, стосується таких важких металів як Cd і Hg .

Показники технофільності металів досить динамічні в часі і зумовлюються потребами людства в тому чи іншому елементі, отже, об'єми видобутку на початку ХХІ століття збільшилися порівняно з ХХ по $Zn - 28,18$; $Pb - 6,90$; $Cu - 34,14$; $Cd - 1\,492,86$ рази (табл. 2). Спочатку видобуток елементів відбувався стихійно, залежно від наявності родовищ, економічних умов та науково-технічного прогресу, проте за умов вичерпаності корисних копалин на перше місце постає регулювальна роль кларка, що в майбутньому викличе більш тісну залежність видобутку від середнього вмісту в літосфері, адже багаті родовища будуть по-

вністю використані і людство змушене буде перейти до експлуатації гранітів, базальтів тощо, в яких вміст елемента наближається до кларка.

Негативні значення коефіцієнта ексцесу свідчили про відносно згладжений розподіл інтенсивності видобутку важких металів відносно їх кларка в літосфері. Позитивний характер асиметрії розподілу відносно середнього зумовлював підвищення інтенсивності включення важких металів із техногенними потоками до біогеохімічних циклів у другій половині ХХ століття, що відбивалось більшою мірою на використанні Zn та Cu , ніж Mn , Pb і Cd , потреби людства в яких зростали поступово. Щодо свинцю наприкінці 1990-х – початку 2000-х років спостерігалась навіть тенденція зменшення технофільності, що пояснюється визначенням властивостей цього важкого металу спричиняти токсичний, канцерогенний та мутагенний ефекти, отже, спробами людства скоротити його використання.

Важкі метали характеризуються низькою біофільністю ($Zn - 0,24$; $Pb - 0,0625$; $Cu - 0,068$; $Cd - 0,154$; $Mn - 0,096$ [9]), тому підвищення їх вмісту в біосфері внаслідок антропогенної діяльності спричинює токсичність і викликає порушення нормального функціонування живих організмів. Небезпека конкретного хімічного елемента серед інших для біоти на окремо взятому етапі техногенезу, яка визначається через деструкційну активність за умов високих значень технофільності і низьких – біофільності, сильно варіювала і становила на початку ХХ століття – $Pb > Cu > Zn > Cd > Mn$, а на початку ХХІ – $Cd > Cu > Pb > Zn > Mn$ (табл. 3).

Модуль техногенного навантаження свідчить про розповсюдження важких металів у ноосфері, так, на 1 км^2 площі суші щорічно в середньому надходить Cd близько 140 г , $Pb - 35 \text{ кг}$, $Zn - 91 \text{ кг}$, $Mn - 106$, $Cu - 113 \text{ кг}$, одна частина зазначених кількостей концентрується в продукції промислового виробництва, а інша – зумовлена низьким коефіцієнтом використання природної сировини через недостатні ресурсо- та енергозберігальні технології, розсіюється і спри-

чинює забруднення довкілля. Техногенне навантаження на навколишнє середовище

значно підвищилось протягом XX століття (табл. 3).

Таблиця 2

Технофільність важких металів, т/% (вибірка за 1900–2012 рр.)

Показник	Zn	Mn	Pb	Cu	Cd
Максимум	1,626·10 ⁹	1,580·10 ⁸	3,231·10 ⁹	3,596·10 ⁹	1,746·10 ¹⁰
Мінімум	5,590·10 ⁷	4,110·10 ⁶	4,681·10 ⁸	1,053·10 ⁸	1,000·10 ⁷
Медіана	3,554·10 ⁸	5,310·10 ⁷	1,644·10 ⁹	6,787·10 ⁸	6,977·10 ⁹
Мода	1,771·10 ⁸	8,690·10 ⁷	2,000·10 ⁹	3,043·10 ⁸	4,015·10 ⁹
Середнє значення	4,878·10 ⁸	5,139·10 ⁷	1,528·10 ⁹	1,114·10 ⁹	7,564·10 ⁹
Дисперсія за вибіркою	1,655·10 ¹⁷	1,630·10 ¹⁵	4,330·10 ¹⁷	1,003·10 ¹⁸	3,916·10 ¹⁹
Асиметрія розподілу відносно середнього	0,841	0,452	0,011	0,999	0,091
Стандартне відхилення	4,069·10 ⁸	4,037·10 ⁷	6,580·10 ⁸	1,001·10 ⁹	6,258·10 ⁹
Експес	-0,207	-0,749	-1,039	-0,138	-1,666
Розмах	1,569·10 ⁹	1,521·10 ⁸	2,763·10 ⁹	3,490·10 ⁹	1,607·10 ¹⁰
Коваріація	6,837·10 ¹⁷	1,683·10 ¹⁶	6,855·10 ¹⁸	1,461·10 ¹⁹	2,520·10 ²⁰

Таблиця 3

Деструкційна активність важких металів

Рік	Ряди небезпеки важких металів
1900	<i>Pb > Cu > Zn > Cd > Mn</i>
1901 – 1905	<i>Cu > Zn > Cd > Mn*</i>
1906 – 1913	<i>Pb > Cu > Zn > Cd > Mn</i>
1914 – 1918	<i>Cu > Cd > Zn > Mn*</i>
1919 – 1925	<i>Pb > Cu > Cd > Zn > Mn</i>
1926	<i>Cd > Cu > Zn > Mn*</i>
1927 – 1934	<i>Pb > Cd > Cu > Zn > Mn</i>
1935 – 1936	<i>Cd > Pb > Cu > Zn > Mn</i>
1937	<i>Cd > Cu > Zn > Mn*</i>
1938 – 1939	<i>Cd > Pb > Cu > Zn > Mn</i>
1940 – 1944	<i>Cd > Cu > Zn > Mn*</i>
1945 – 1992	<i>Cd > Pb > Cu > Zn > Mn</i>
1993 – 2012	<i>Cd > Cu > Pb > Zn > Mn</i>

Навколо великих промислових агломерацій поступово створюються штучні геохімічні аномалії [12], у яких вміст важких металів у компонентах навколишнього середовища (грунт, природні води) перевищує не те що фонові концентрації (кларк), а й значення ГДК інколи в декілька десятків разів.

Включення важких металів до будь-якої продукції промислового виробництва є тимчасовим депо перебування на шляху їх техногенної міграції, тривалість якого визначається життєвим циклом безпосередньо самої продукції і залежить від зношування, морального старіння тощо. Стосовно продукції металургійної та будівельної промисловостей він може тривати десятиліттями, а хімічному (приміром, добрива) – становить до трьох років.

Одним із шляхів зниження техногенного навантаження на довкілля за рахунок змен-

шення видобутку корисних копалин є рекуперация та рециклінг, тобто вилучення важких металів із відходів або з продукції після завершення її життєвого циклу з метою використання цих цінних компонентів у подальшому виробництві. Ідея рекуперации та рециклінгу набуває сенсу, якщо порівняти вміст важких металів у продукції та відходах із кларком у літосфері (табл. 4).

Визначення коефіцієнта ноосферної концентрації дає змогу встановити перспективність використання відходів як техногенної сировини для подальшого включення важких металів у промислове виробництво. В майбутньому це дозволить вирішити дві екологічні проблеми: по-перше, забезпечить ресурсозбереження невідтворюваних природних ресурсів, а, по-друге, зменшить техногенне розсіювання токсикантів у біосфері, що, у свою чергу, забезпечить дотримання

норм екологічної безпеки стосовно комфортних умов існування людства.

Таблиця 4

Концентрація металів у відходах та продукції промислового виробництва

Продукція / відходи	Метал	Вміст, %		Сумарний коефіцієнт ноосферної концентрації
		Відношення до кларка в літосфері		
Доменний шлак	Al	3,599 – 8,226		14,792 – 54,412
		0,447 – 1,022		
	Mg	2,942 – 8,827		
		1,573 – 4,720		
	Fe	0,686 – 1,030		
		0,148 – 0,221		
Mn	0,153 – 0,764			
	1,530 – 7,640			
Шлак силікомарганцю	Al	3,599 – 4,113		404,808 – 559,216
		0,447 – 0,511		
	Mg	2,648 – 3,236		
		1,416 – 1,730		
	Fe	0,275 – 0,481		
		0,059 – 0,103		
Mn	9,928 – 13,745			
	99,280 – 137,460			
Бетон на гранульованому шлаку силікомарганцю (співвідношення бетону і шлаку 1:1)*	Al	1,826 – 2,023		202,440 – 279,608
		0,227 – 0,251		
	Mg	1,324 – 1,618		
		0,708 – 0,865		
	Fe	0,159 – 0,262		
		0,035 – 0,056		
Mn	4,964 – 6,873			
	49,640 – 68,730			

Примітка: * розрахунок проведено за даними Н. В. Спільник (2013).

Висновок. Підсумовуючи викладене, слід зазначити, що техногенез важких металів значно зріс протягом ХХ століття. Згідно з позитивним характером асиметрії розподілу технофільності відносно середнього підвищення інтенсивності включення *Pb* і *Cd* з техногенними потоками до біогеохімічних циклів відбувалось більш поступово, ніж *Zn*, *Cu* і *Mn*. Деструкційна активність досліджуваних хімічних елементів, яка змінювалась у ряді $Pb > Cu > Zn > Cd > Mn$ на початку ХХ століття до $Cd > Cu > Pb > Zn > Mn$ у ХХІ свідчила про встановлення токсичних, канцерогенних та мутагенних властивостей свинцю, отже, людство усвідомило небезпеку розповсюдження його в біосфері та подальшої біогенної міграції по трофічних ланцюгах. За модулем техногенного наванта-

ження встановлено підвищення інтенсивності розповсюдження важких металів у ноосфері. Шляхом порівняння вмісту хімічних елементів у відходах виробництва та продукції після завершення її життєвого циклу з кларком у літосфері доведено можливість рекуперації рециклінгу, отже, використання цих цінних компонентів у подальшому виробництві.

Перспективи подальших досліджень потрібно зосередити на визначенні контрастності техногенного навантаження та пошуку шляхів зменшення інтенсивності техногенезу за рахунок розроблення і впровадження рекуперації, рециклінгу та ресурсозберігальних технологій.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Алексеенко В. А. Геохимия ландшафта и окружающей среды / В. А. Алексеенко. – Москва : Наука, 1990. – 142 с.

2. Водяницкий Ю. Н. Тяжелые и сверхтяжелые металлы и металлоиды в загрязненных почвах / Ю. Н. Водяницкий. – Москва : ГНУ Почвенный ин-т им. В. В. Докучаева Россельхозакад, 2009. – 96 с.
3. Глазовская М. А. Техногенез и проблемы ландшафтно-геохимического прогнозирования / М. А. Глазовская // Вестник Московского университета. Серия 5 : География. – 1968. – № 1. – С. 30-36.
4. Глазовский Н. Ф. Техногенные потоки веществ в биосфере / Н. Ф. Глазовский // Добыча полезных ископаемых и геохимия природных элементов. – Москва : Наука, 1982. – С. 7 – 28.
5. Касимов Н. С. Технофильность химических элементов в начале XXI века / Н. С. Касимов, Д. В. Власов // Вестник Московского университета. Серия 5 : География. – 2012. – № 1. – С. 15 – 22.
6. Перельман А. И. Геохимия ландшафта / А. И. Перельман, Н. С. Касимов. – Москва : Астрей 2000, 1996. – 610 с.
7. Перельман А. И. Геохимия ландшафта / А. И. Перельман. – Москва : Высш. школа, 1975. – 342 с.
8. Соколов И. В. Природоохранные методы формирования техногенных месторождений на объектах цветной металлургии / И. В. Соколов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия : Инженерные исследования. – 2008. – № 3. – С. 29-35.
9. Федорова Г. В. Практикум з біогеохімії для екологів : навч. посіб. / Г. В. Федорова. – Київ : КНТ, 2007. – 288 с.
10. Ферсман А. С. Геохимия : в 4 т. / А. С. Ферсман. – Ленинград : Химиздат, 1934. – Т. 2. – 345 с.
11. Adriano D. C. Trace elements in terrestrial environment / Adriano D. C. – New York ; Berlin ; Heidelberg ; Tokio : Springer-Verl., 1986. – 533 p.
12. Agarwal S. K. Heavy Metals Pollution / Agarwal S. K. – New Delhi : APH Publishing Corporation, 2009. – 270 p.
13. Kelly Thomas D. Historical Statistics for Mineral and Material Commodities in the United States / Kelly Thomas D., Matos Grecia R. – Режим доступа: <http://www.minerals.usgs.gov/minerals/pubs/historical-statistics>.

REFERENCES

1. Alekseenko V. A. *Geohimiya landshafta i okruzhayushchey sredy [Geochemistry of the landscape and the environment]*. Moscow, Nauka, 1992. 142p. (in Russian).
2. Vodyanitskiy Yu. N. *Tyazhelye i sverhtyazhelye metally i metalloidy v zagryaznennykh pochvakh [Heavy and extra heavy metals and metalloids in contaminated soils]*. Moscow, GNU Pochvennyiy institut im V.V. Dokuchaeva - SSU Soil Institute named after V.V. Dokuchaev. Rosselkhozakademiia, 2009. 96p. (in Russian).
3. Glazovskaya M. A. *Tehnogenez i problemy landshaftno-geohimicheskogo prognozirovaniya [Technogenesis and problems of landscape-geochemical prediction]*. Vestnik Moskovskogo universiteta - Bulletin of the university of Moscow, Geografiya, 1968, no. 1, pp.30 – 36. (in Russian).
4. Glazovskiy N. F. *Tehnogennye potoki veshchestv v biosfere [Man-made flow of substances in the biosphere]*. Moscow, Nauka, 1982, pp. 7-28. (in Russian).
5. Kasimov N. S. *Tehnofil'nost' himicheskikh elementov v nachale XXI veka [Technogenic chemical elements at the beginning of the XXI century]*. Vestnik Moskovskogo universiteta - Bulletin of the University of Moscow, Geografiya, 2002, no.1, pp.15-22. (in Russian).
6. Perel'man A. I. *Geohimiya landshafta [Geochemistry landscape]*. Moscow, Astreya, 2000. 610 p. (in Russian).
7. Perel'man A. I. *Geohimiya landshafta [Geochemistry landscape]*. Moscow, Vysshaya shkola, 1975. 342 p. (in Russian).
8. Sokolov I.V. *Prirodoohrannnye metody formirovaniya tehnogennykh mestorogdeniy na ob'ektakh tsvetnoy metalurgii [Environmental methods of formation of technogenic deposits on non-ferrous metal objects]*. Vestnik Rossiyskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: inzhenernye issledovaniya - Bulletin of Peoples' Friendship University of Russia. Part: engineering studies, 2008, no.3, pp. 29 – 35. (in Russian).
9. Fedorova G. V. *Praktykum z biohimii dlya ekologiv [Workshop on biogeochemistry for environmentalists]*. Kyiv, 2007. 288 p. (in Ukrainian).
10. Fersman A. S. *Geohimiya [Geochemistry]*. Leningrad, Himizdat, 1934. 345p. (in Russian).
11. Adriano D. C. Trace elements in terrestrial environment. New York, Berlin, Heidelberg, Tokio: Springer-Verl. 1986. 533 p.
12. Agarwal S. K. Heavy Metals Pollution. – New Delhi - 110002 : APH Publishing Corporation, 2009. 270 p.
13. Kelly Thomas D., Matos Grecia R. Historical Statistics for Mineral and Material Commodities in the United States. Available at: <http://www.minerals.usgs.gov/minerals/pubs/historical-statistics>.

Стаття рекомендована до друку Рецензент: д. б. н., проф. Шматков Г. Г.
Надійшла до редколегії 12.03.2015 р. Прийнята до друку 18.03.2015 р.