

РАДІАЦІЙНА ГІГІЄНА

РАДІОВУГЛЕЦЬ ЯК МАРКЕР СУЧАСНИХ АНТРОПОГЕННИХ ЗМІН В ДОВКІЛЛІ

*Бузинний М.Г., Гуленко С.В., Михайлова Л.Л., Романченко М.О., Сахно В.І., Чирков В.С.
ДУ «Інститут гігієни та медичної екології ім. О.М. Марзєєва НАМНУ», м. Київ*

Актуальність. Радіовуглець є досить інформативним з точки зору оцінки стану навколишнього природного середовища завдяки особливостям його метаболізму та формуванню сліду його впливу у всіх органічних елементах довкілля.

Природна компонента радіовуглецю постійно утворюється у верхніх шарах атмосфери, а в процесі обмінних реакцій рівномірно розповсюджується в атмосфері, гідросфері та біосфері. Оскільки інтенсивність процесів утворення та розпаду ^{14}C протягом мільйонів років лишається відносно незмінною, то в біосфері підтримується рівновага природного радіовуглецю. Проте цей рівноважний стан може досить суттєво порушуватися за рахунок природних змін та під впливом людської діяльності [1].

Здатність радіовуглецю накопичуватись у біомасі можна ефективно використовувати для вирішення багатьох актуальних задач, а саме проводити визначення глобальних та локальних техногенних змін вмісту радіовуглецю. Аналіз вмісту радіовуглецю в природних компонентах поблизу ядерних реакторів дозволяє контролювати навіть незначні перевищення концентрації радіовуглецю над фоновими значеннями. Вивчення розподілу радіовуглецю по річних кільцях дає можливість отримати ретроспективні оцінки змін ^{14}C у повітрі навколишнього середовища на досить великих проміжках часу. Моніторинг, який здійснюється по однорічній рослинності, дозволяє встановлювати сезонні коливання концентрації радіовуглецю і таким чином досить чутливо реагувати на зміну радіоекологічної ситуації в районі діючих атомних станцій [2].

За даними [Lichtfouse et al.], зміна концентрації радіовуглецю в однорічних

травах забруднених регіонів є дуже чутливим індикатором зміни CO_2 , що надходить у повітря при спалюванні викопного палива. Тому у великих містах визначення змісту ^{14}C було запропоновано використовувати для встановлення величини забруднення повітря відпрацьованими газами, зокрема поблизу автомагістралей [3,4].

Не менш актуальним завданням на сьогодні є виконання вимог законодавства щодо зниження викидів вуглекислого газу. Значна частка викидів вуглекислого газу утворюється в результаті згорання біомаси (біологічного матеріалу на основі вуглецю, водню і кисню). Відповідно до положень Кіотського протоколу та ряду програм, що регулюють викиди парникових газів, використання біомаси та її побічних продуктів в якості альтернативних видів палива може бути класифіковане як зниження викидів парникових газів. За допомогою радіовуглецевого аналізу можливо точно встановити, яка частина викидів CO_2 є біогенною. За рахунок диференціації діоксиду вуглецю, яка має частку біогенного походження та з корисних копалин можливо обчислити обсяг фактичних викидів парникових газів і кількість квот, необхідних для компенсації вуглецевого сліду [5].

Основним завданням у цьому напрямку досліджень є визначення різних факторів природного та антропогенного характеру, що впливають на варіації вмісту радіовуглецю, які змінюють їх баланс в навколишньому середовищі.

Подібні дослідження в Україні тільки починають проводитися, за кордоном такі дослідження проводилися для окремих компонентів екосистеми і не носили систематичного характеру.

Зважаючи на вищевикладене, **метою** даної роботи став аналіз та узагальнення інформації літературних джерел щодо можливості використання методів визначення радіовуглецю в якості еколого-гігієнічного маркера стану навколишнього середовища. Всебічне вивчення механізмів і закономірностей утворення та розподілу радіовуглецю в об'єктах довкілля сприяє створенню необхідної бази даних для прогнозування екологічних процесів, як природних, так і техногенних.

Для досягнення поставленої мети були визначені наступні завдання:

- аналіз умов та факторів, що впливають на утворення радіовуглецю та динаміку формування і зміни рівня його вмісту за рахунок різних елементів навколишнього середовища;
- узагальнення літературних даних, що висвітлюють проблему розподілу радіовуглецю в різних об'єктах довкілля.

Матеріали та методи досліджень.

Аналіз джерел наукової літератури, що включають методи визначення, умови формування та закономірності розподілу радіовуглецю в об'єктах довкілля та продуктах біотехнологій, зокрема при виготовленні біопалива, вплив на ці процеси людської діяльності та встановлення залежності від фоновому рівня радіовуглецю в атмосферному повітрі.

Результати досліджень та їх обговорення.

Механізми утворення радіовуглецю та його розповсюдження в об'єктах довкілля. Радіонуклід ^{14}C постійно утворюється у верхніх шарах атмосфери на висоті 8-18 км при взаємодії нейтронів космічного походження з ядрами азоту за реакцією $^{14}\text{N}(\text{n}, \text{p}) \rightarrow ^{14}\text{C}$. Стабільний ізотоп азоту ^{14}N під дією космічного випромінювання перетворюється на ізотоп вуглецю ^{14}C , який має період напіврозпаду 5730 років. За 80 років розпадається приблизно 1% радіовуглецю. В подальшому ^{14}C перетворюється на стабільний азот. Сумісний ефект радіоактивних втрат та нових утворень призводить до певної рівноважної концентрації ^{14}C в атмосфері. Середня питома активність природного радіонукліду в атмосфері та біосфері зали-

шається приблизно однаковою – біля 227 ± 1 Бк/кг вуглецю.

Причини змін вмісту радіовуглецю можуть бути пов'язані з природними факторами (коливання сонячної активності) та виробничо-господарською діяльністю людини. Антропогенний вплив на зміни фоновому рівня радіовуглецю полягає в наступному:

- масштабне спалювання викопного органічного палива призводить до викиду оксиду вуглецю, який практично не містить ^{14}C – так званий Зюсс-ефект;
- ядерні вибухи, які привнесли в атмосферу величезну кількість штучного ^{14}C (бомб-ефект);
- викиди підприємств ядерного паливного циклу.

Завдяки високій мобільності, значному періоду напіврозпаду та тривалому часу перебування в атмосфері і гідросфері ^{14}C досить рівномірно розподіляється в біосфері. Радіовуглець служить незамінним індикатором ядерних технологій, оскільки на жодному з ядерних об'єктів не вдається уникнути напрацювання та формування слідів цього радіонукліду в навколишньому середовищі. Дослідження показують, що в околицях ядерних реакторів спостерігається підвищення вмісту ^{14}C у повітрі і, відповідно, у рослинах.

Беручи участь у всіх обмінних процесах, радіовуглець включається в усі структури живих організмів. В органах і тканинах людини міститься близько 4 кБк ^{14}C . Коефіцієнт переходу в ланцюгу «атмосфера-наземні рослини» у більшості випадків дорівнює 1. Рівновага встановлюється через 2-3 місяці. Також у невеликій кількості ^{14}C може надходити у деякі рослини з ґрунту. Вміст радіовуглецю в тваринних організмах корелює з вмістом радіовуглецю в рослинах за попередній рік.

Зміни вмісту ^{14}C можуть відігравати ключову роль у процесі біологічного розвитку живих організмів. Негативний вплив ізотопу радіовуглецю на живі організми визначається його біологічною спорідненістю до тканин живих організмів. Підвищення концентрації ^{14}C в атмосфері та наступне збільшення його вмісту в рослинах та тваринах, а також в організмі людини може представляти біологічну небезпеку протягом багатьох поколінь з огляду на можливість виникнення

точкових мутацій ДНК та РНК клітин. В цих умовах проблема радіовуглецю набуває величезного гігієнічного та екологічного значення [6].

Радіовуглецевий метод дослідження заснований на вимірюванні вмісту радіоактивного ізотопу вуглецю ^{14}C у відмерлих органічних рештках та інших хімічних сполуках, що містять вуглець. З моменту зупинки вуглецевого обміну із зовнішнім середовищем вміст ізотопу ^{14}C починає зменшуватись з постійною швидкістю, що дає змогу встановити вік даного об'єкту (події).

Широке використання радіовуглецевого методу пояснюється і його універсальністю, оскільки вуглець присутній у всій живій матерії та більшості об'єктів неживої природи. Універсальність методу підтверджується широким його використанням в якості вагового дослідницького інструменту в різних галузях науки: археології, геології, кліматології, океанології, гідрології, біології, медицині та екології.

Дослідження вмісту радіовуглецю в рослинах та продуктах рослинництва. В атмосфері ^{14}C швидко окислюється до $^{14}\text{CO}_2$ та засвоюється рослинами за рахунок фотосинтезу, а потім харчовими ланцюжками потрапляє в організм тварин та, в складі продуктів харчування, – в організм людини.

Здатність радіовуглецю засвоюватись в рослинах дає підстави для широкого застосування радіовуглецевого аналізу з метою встановлення частки біомаси в різноманітній продукції. Подібні дослідження успішно застосовуються для дослідження вмісту біогенних компонентів у харчових інгредієнтах, вині, лікерах і при виробництві олій.

Зважаючи на те, що ^{14}C є радіонуклідом основного біогенного елемента, він широко використовується в різноманітних медичних та біологічних дослідженнях в якості радіовуглецевої мітки. З її допомогою вивчаються біохімічні реакції, реакції фотосинтезу, обміну амінокислот, біосинтезу білка та інших біоактивних речовин, передачі спадкової інформації [2,7].

Вивчення глобальних змін довкілля за вмістом радіовуглецю у річних кільцях дерев. Одним з найбільш відомих методів «прив'язки» подій і процесів до часової шкали є радіовуглецеве датування. Основи і

принципи методу були закладені У. Ліббі, який отримав за його розробку в 1960 році Нобелівську премію. Оскільки метод може застосовуватися на шкалах від декількох сотень до десятків тисяч років у минуле, то спочатку він використовувався для датування подій минулого по кільцях дерев. В останні роки отримані найбільш довгі ряди експериментальних даних по вмісту ^{14}C в кільцях дерев відомого віку [8]. У різних модифікаціях метод працює для всіх вуглецевмісних зразків, включаючи навіть і неорганічні системи, наприклад, спелеологічні утворення (сталактити, сталагміти). З часу обґрунтування методу спектр застосування радіовуглецю в різних областях наук помітно розширився. Жоден інший радіоактивний ізотоп, окрім радіовуглецю, не є настільки цінним джерелом для отримання інформації в багатьох областях досліджень.

Експериментально встановлено, що постійні викиди ^{14}C на штатно працюючих АЕС призводять до коливання його концентрацій у рослинних і тваринних організмах поблизу станцій. Так, в рослинах, які ростуть на відстані 1 – 2 км від місця викиду, може міститися на 50% більше ^{14}C в порівнянні з пробами, відібраними на відстані 20 – 30 км [9].

Наприклад, була вивчена рослинність поблизу Ігналінської атомної станції (Литва). Дослідження білоруських вчених [10] показали, що концентрація радіовуглецю варіювала в 1978-1986 роках у межах 115-150 рМС. Зміна концентрації радіовуглецю пов'язана з викидами в атмосферу радіоактивних ізотопів у процесі операційного циклу ядерного реактора. На значній відстані від Ігналінської АЕС вміст ^{14}C в природних об'єктах знаходиться в межах 92-107 рМС [11].

Вимірювання концентрації ^{14}C у річних кільцях сосен в околицях Сибірського хімічного комбінату (Томська область, Росія) при дослідженні місцевого ефекту, пов'язаного з радіовуглецевим забрудненням від ядерних установок, показали, що в період з 1970-х рр. до теперішнього часу місцеві величини знаходяться на постійно високому рівні, перевищуючи фоновий рівень в середньому на 75% з деякими короткочасними відхиленнями [12].

Велика увага приділяється дослідженням поведінки радіовуглецю у Великобританії в зв'язку з забрудненням морського середовища при функціонуванні Британського ядерного реактора (Селлафілд, Англія). При роботі реактора Селлафілд радіоактивні відходи скидаються в Ірландське море і ^{14}C є головним компонентом цього забруднення. Фонові значення для нерозчиненого неорганічного вуглецю були отримані при вимірюванні вмісту радіовуглецю в мілководному басейні Буртонпорта (Північне море) і становили для 1997-1999 років 251 ± 1 Бк/кг. Середні значення вмісту радіовуглецю у водах і біоті в прибережній морській зоні у віддаленій частині від потенційно небезпечних джерел становлять $247,6 \pm 1$ Бк/кг [13].

Більше 60 зразків сосен навколо Чорнобильської АЕС були досліджені на вміст радіовуглецю для визначення просторового розподілу надлишкового ^{14}C в кільцях дерев з 1986 р. Максимальне значення вмісту надлишкового радіовуглецю було встановлено на рівні 124 рМС ($281,6$ Бк·кг $^{-1}$). Просторовий розподіл показав високу нерівномірність атмосферного ^{14}C залежно від напрямку вітру. Загальна кількість викиду ^{14}C в період з 26 квітня по 5 травня 1986 року була оцінена як 44 ТБк [14].

Ретроспективна оцінка викидів радіовуглецю поблизу ядерних об'єктів, а також прогноз можливих наслідків для природних, сільськогосподарських екосистем і людини можуть бути отримані при безпосередньому аналізі вмісту ^{14}C в річних кільцях дерев, що виростають в районах, прилеглих до АЕС. На основі отриманих даних стає можливим встановлення тих чи інших показників (маркерів) з метою вивчення величини і динаміки зазначених змін, у тому числі у ретроспективі, а також гігієнічної оцінки викидів у локальному та у глобальному масштабах.

Вивчення локального забруднення міського середовища за допомогою визначення вмісту радіовуглецю в однорічній рослинності. За даними проведених досліджень [15] було встановлено, що зміни концентрації вуглецю в однорічній рослинності є індикатором змін CO_2 , що надходить у повітря при спалюванні викопного палива. Радіовуглецевий аналіз при цьому можна використовувати як дуже чутливий інструмент

для встановлення величини забруднення відпрацьованими газами у промислових центрах, біля автомагістралей або в забруднених районах великих міст.

Результати показали, що однорічні трави, які ростуть біля автомагістралей з інтенсивним рухом, мають високий ступінь збіднення ($\Delta^{14}\text{C}$) – від $-26,1 \pm 5,4$ (‰) до $+72,5 \pm 8,5$ (‰). Водночас умовно чисті трави показали значення в діапазоні від $+92,4 \pm 6,1$ (‰) до $+135,1 \pm 7,0$ (‰) (Eric Lichtfouse, Michel Lichtfouse, 2004 р.).

На підставі розрахунків також було встановлено, що рослинність біля автомагістралей здатна накопичувати вуглець викидів автотранспорту у величині, близькій до 12,6%, що відповідає викопному вуглецю [3].

Визначення вмісту біомаси у відновлюваних джерелах енергії (ВДЕ) та біопластиках (біологічне походження поліефірних смол). В даний час в усьому світі спостерігається підвищений інтерес до використання в різних галузях економіки поновлюваних джерел енергії (ВДЕ). Це пов'язано зі змінами, що відбуваються в енергетичній політиці світових держав, де чільне місце займає перехід на енергозберігаючі та ресурсозберігаючі технології.

На сьогодні вміст радіовуглецю в свіжій біомасі становить близько 107,5 рМС (2011 р.) [16]. Поєднання викопного вуглецю з наявним на теперішній час в будь-яких матеріалах призведе до зменшення вмісту радіовуглецю в об'єкті (ефект розбавлення). Якщо при цьому його розбавити нафтопродуктами у співвідношенні 1:1, то вміст радіовуглецю становитиме близько 53 рМС.

Таким чином, радіовуглецевий аналіз успішно використовується як найточніший метод встановлення відсотку біогенної фракції вуглецю у біопаливах та інших біогенних матеріалах, наприклад, біопластмасах.

Визначення вмісту біодизелю в суміші побудоване на тих же уявленнях, що й радіовуглецеве датування, але без розрахунку віку. Якщо аналізований матеріал є сумішшю сучасного радіовуглецю і викопного вуглецю (який не містить радіовуглець), то отримані значення рМС безпосередньо корелюють з кількістю біодизелю, присутнього у зразку.

Прямий радіовуглецевий аналіз біоматеріалів, наприклад пластмас, які є розчинними в ароматичних розчинниках, проводиться аналогічно аналізу біопалива, проте синтез бензолу є більш точним.

Визначення вмісту біогенної фракції в біопаливах. За останні 10 років стався значний зсув в енергетичній політиці, спрямований на просування біомаси як палива, чому сприяло усвідомлення технічної раціональності спільного спалювання біомаси на існуючих вугільних електростанціях. Великі проекти спільного спалювання різних видів палива реалізуються в Польщі, Нідерландах і Великобританії.

В контексті розширення використання біопалива на транспорті в усьому світі виникла необхідність точного визначення пропорцій палива. Для вивчення паливних сумішей, що містять різний відсоток відновлюваних компонентів використовується радіо-

вуглецевий аналіз як найбільш точний та досконалий метод дослідження.

Радіовуглецевий аналіз може бути використаний для визначення наявності сучасного біологічного компонента в паливній суміші. Його застосовують в усіх випадках використання двохкомпонентного палива, де один зі складових отриманий з сучасного матеріалу рослинного чи тваринного походження, а інший походить з корисних копалин.

Біопаливо виготовляється з рослинної чи тваринної сировини, продуктів життєдіяльності, органічних промислових відходів, тобто містить у своєму складі велику кількість сучасного вуглецю. Біологічні види палива (біопаливо) – це тверде, рідке та газове паливо, виготовлене з біологічно відновлювальної сировини (біомаси), яке може використовуватися як паливо або компонент інших видів палива.

Сировина			
Рослинного походження	Тваринного походження	Бактеріального походження	Побутові відходи
<ul style="list-style-type: none"> - деревина - лушпиння - солома - сільськогосподарські культури (ріпак) 	<ul style="list-style-type: none"> - тверді відходи тваринництва - відходи забою худоби 	<ul style="list-style-type: none"> - продукти життєдіяльності гідролізних, кислотоутворюючих та метанутворюючих бактерій 	<ul style="list-style-type: none"> - целюлозовмісні відходи (папір, картон, харчові відходи) - вторинні пластмаси
Види переробки			
Біоконверсія (волога)	Хімічна переробка	Механічна переробка	Теплова (суха) переробка
<ul style="list-style-type: none"> - ферментація - зброджування 	<ul style="list-style-type: none"> - етерифікація - каталіз - екстракція 	<ul style="list-style-type: none"> - висушування - подрібнення - пресування 	<ul style="list-style-type: none"> - піроліз - газифікація - спалювання
Види палива			
Тверде	Рідке	Газоподібне	
<ul style="list-style-type: none"> - паливні гранули (пеллети) - паливні брикети - деревне вугілля - комбіновані 	<ul style="list-style-type: none"> - біодизель - диметилловий ефір - біоетанол - біометанол - біобутанол 	<ul style="list-style-type: none"> - біогаз - біометан - біоводень 	

Рисунок 1. Види біопалива та способи його отримання з біомаси.

Згідно з даними Євростату [17], якщо в 2004 році в ЄС 7,9% електроенергії було отримано за рахунок ВДЕ, то у 2011 році цей показник сягнув вже 13%. За прогнозами Європейської ради з відновлюваної енерге-

тики, до 2040 року відновлювані джерела зможуть забезпечити 50% виробництва енергії у світі. Відповідно до рішення Європарламенту частка ВДЕ в енергобалансі ЄС у 2020 році повинна скласти 20%, у 2040 році

– 40%. Лідерами у використанні ВДЕ в ЄС є Норвегія (64,7%), Швеція (46,8%), Латвія (33,1%) і Фінляндія (31,8%). Одну з провідних позицій за рівнем розвитку практично всіх видів ВДЕ посідає Німеччина. У 2004 році в Німеччині був прийнятий спеціальний закон («EGG»), який передбачає розширення частки ВДЕ в електроенергетиці до 2020 року до 35%, 2030 року – до 50%. У 2011 році цей показник склав 20% [18].

Останні декілька років характеризувалися поступовим розвитком сектора біоенергетики і в Україні. Зростання цін на природний газ робить використання біомаси в якості палива дедалі привабливішим. Приведення правового регулювання сфери альтернативних джерел енергії відповідно до правових норм Європейського Союзу стає пріоритетом розвитку енергетичної сфери України як складової національної безпеки. Посилення прогресу держави в процесі адаптації національного законодавства і практики

у сфері екології та природокористування відповідно до міжнародних зобов'язань України вимагає відповідного законодавчого врегулювання. Одним з головних зобов'язань України по ВДЕ є приведення національного законодавства у відповідність до вимог Директиви Європейського Парламенту та Ради (RED – Renewable Energy Directive) 2009/28/ЄС від 29.04.2009 р. про сприяння використанню енергії відновлюваних джерел. Зареєстровані і розробляються два проекти в секторі біоенергетики – «Енергія біомаси» і «Енергія біогазу» в рамках Національного проекту «Енергія природи». Наприкінці 2012 року Україною прийнято зобов'язання в рамках Енергетичного Співтовариства досягти 11% ВДЕ в структурі загального енергоспоживання в 2020 році [19]. Однак на сьогодні внесок ВДЕ в енергетику складає всього 2% відповідно до енергобалансу України.

Висновки

Оскільки радіовуглець є довгоживучим і мобільним радіонуклідом в навколишньому середовищі його можна визнати одним з ключових радіонуклідів при оцінці безпеки у зв'язку зі значними відносними дозовими навантаженнями від ^{14}C (в порівнянні з іншими радіонуклідами) для майбутніх людських поколінь. Враховуючи здатність радіовуглецю брати участь у біологічних процесах всіх живих організмів та розповсюдженість у геосфері, його можна ефективно використовувати в якості маркера антропогенних змін навколишнього середовища.

Отримання та аналіз інформації щодо причин виникнення та характеру протікання різноманітних природних та штучних процесів необхідні для розвитку сучасної науки. Наявність розгорнутої в часі інформації (наприклад, щодо вмісту радіовуглецю у зразках деревини відомого віку) про стан природних процесів з урахуванням антропогенного впливу дозволить не тільки досліджувати закономірності їх розвитку, але й спрогнозувати ці процеси.

Проведення моніторингу вмісту ^{14}C в об'єктах навколишнього середовища, розташованих у різних за віддаленістю від техногенних радіоактивних об'єктів (АЕС) районах, а також визначення забруднення від об'єктів паливно-енергетичного комплексу (ТЕС), що працюють на викопних видах палива, є одним з фундаментальних завдань гігієни та екології. Такі дослідження дозволять зрозуміти особливості накопичення радіонуклідів, визначити фактори, що впливають на забруднення навколишнього середовища і розробити рекомендації з ліквідації забруднень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Yankovich T.L. International study on the validation of models for the environmental transfer of tritium and carbon-14 / T.L. Yankovich, J. Koarashi, S.B. Kim, P.A. Davis // *Applied Radiation and Isotopes*. 2008. – V.66. – P. 1726-1729.
2. Кузьмин Я.В. Радиоуглерод как универсальный инструмент изучения природы и общества / Я.В. Кузьмин // – *Наука в Сибири*. – №30-31. – С. 12-14.

3. Lichtfouse E. ^{14}C of grasses as an indicator of fossil fuel CO_2 pollution / E. Lichtfouse, M. Lichtfouse, M. Kashgarian // Environ. Chem. Lett. 2004 – P. 1007-1013.
4. P.L. Leung A survey of environmental ^{14}C levels in Hong Kong / P.L. Leung, M.J. Stokes // Radiocarbon // Vol.37. – №2. 1995. – P. 505-508.
5. Dijs I.J. Quantitative determination by ^{14}C analysis of the biological component in fuels / I.J. Dijs, E. van der Windt, L. Kaihola, K. van der Borg // Radiocarbon // Vol 48. – №3. 2006. – P. 315-323.
6. Bertell R. 2010 Recommendations of the ECRR The Health Effects of Exposure to Low Doses of Ionizing Radiation / R. Bertell, I. Schmitz-Feuerhake, M. Scott Cato, A. Yablokov // Regulators' Edition. – 258 p.
7. Василенко И.Я. Кинетика обмена и биологическое действие радиоактивного углерода / И.Я. Василенко, В.А. Осипов // – М.: Медицина. 2002. – 128 с.
8. Бузинний М.Г. Особливості розподілу радіовуглецю у фракціях деревини останнього сторіччя / М.Г. Бузинний М.Г. // Гігієна населених місць. №61. 2013. – 254-258
9. Григорьева Л.И. Радиационная нагрузка на человека в районе АЭС / Л.И. Григорьева // Ядерна та радіаційна безпека. 2010. – №1. – С. 19-24.
10. Мажейка Й. Методы определения радиоуглерода и трития в радиоактивных отходах и окружающей среде / Й. Мажейка, Р. Пятрошюс // Материалы IV Международной конференции, г. Томск, 4-8 июня 2013 г. – С. 95-102.
11. Erkki I. The Chernobyl accident and the Baltic Sea / I. Erkki // Boreal Environment Research. – 2007.–V.12. – P.1-20.
12. Несвитайло В.В. Дендрохроноиндикация удельной активности радиоуглерода в районе Сибирского химического комбината за период 1949-1993 гг. / В.В. Несвитайло, Н.Н. Ковалюх, М.Г. Бузынний // Докл. 2-й Международной конф. «После холодной войны: разоружение, конверсия и безопасность». – Томск. 1995. – С. 156-163.
13. Gulliver P. Transport of Sellafield-derived ^{14}C from the Irish Sea through the North Channel / P. Gulliver, G.T. Cook, A.B. MacKenzie, // Radiocarbon. 2001. – V.43, №2B. – P. 869-877.
14. Buzinny M. ^{14}C Analysis of Annual Tree Rings from the Vicinity of the Chernobyl NPP / M. Buzinny, I. Likhtarev, I.Los, N. Talerko, N. Tsigankov // Radiocarbon. – Vol.40. – №1. 1998. – P. 373-379.
15. Riley W.J. Where do fossil fuel carbon dioxide emissions from California go? An analysis based on radiocarbon observations and an atmospheric transport model / W.J. Riley, D.Y. Hsueh, J.T. Randerson // Journal of geophysical research. – Vol.113. 2008. – P. 1-16.
16. Stenström K.E. A guide to radiocarbon units and calculations / K.E. Stenström, G. Skog, E. Georgiadou // Internal Report Lund University. 2011. – P.1-17.
17. Pahl G. Biodiesel: Growing a new Energy Economy / Pahl G. // White River Jct. 2004. – P. 1012-1018.
18. Шевцова С.В. Анализ зарубежного опыта использования альтернативных видов энергии / С. В. Шевцова, Д. С. Жолудь // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – №6 (76). – 2010. – С. 49-53.
19. Славута Е.И. Перспективы и проблемы развития альтернативной энергетики в Украине / Е.И. Славута, В.В. Звягина // Энергетика: економіка, технології, екологія. – №2. 2011. – С. 95-102.

**РАДИОУГЛЕРОД КАК МАРКЕР СОВРЕМЕННЫХ
АНТРОПОГЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ**

Бузинний М.Г., Гуленко С.В., Михайлова Л.Л., Романченко М.О., Сахно В.І., Чирков В.С.

Рассмотрена возможность использования радиоуглерода в качестве индикатора техногенных изменений в окружающей среде и проанализированы основные направления применения радиоуглеродного анализа для оценки ее состояния. Приведены результаты ис-

следований по изучению глобальных и локальных изменений качества окружающей среды с помощью определения содержания радиоуглерода в различных объектах.

RADIOCARBON AS INDICATOR OF TECHNOLOGICAL CHANGES IN THE ENVIRONMENT

M. Buzinny, S. Gulenko L. Mykhailova, M. Romanchenko, V. Sakhno, V. Chyrkov

It was considered the possibility of radiocarbon using as indicator of technological changes in the environment. It was analyzed the main fields of application of radiocarbon analysis. It was shown the results of studies on global and local changes in the quality of the environment using radiocarbon test in different objects.

УДК 614.8.086.52;613.648.4;628.4.047;546.296;614.876

ОЦІНКА ВМІСТУ ПРИРОДНИХ РАДІОНУКЛІДІВ У ЗАЛИШКАХ ВИРОБНИЧОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНОГО КОМБІНАТУ

*Павленко Т.О., Аксьонов М.В., Шабуніна Н.Д., Фризюк М.А.,
Тарасюк О.Є., Ковтонюк Н.Л., Семенюк Н.Д., Федоренко О.В., Михайленко О.В.
ДУ "Інститут гігієни та медичної екології ім. О.М. Марзєєва НАМН України", м. Київ*

Вступ. Залишки окремих виробництв, які здійснюють переробку корисних копалин, можуть мати значний вміст природних радіонуклідів (ПРН).

Необхідність здійснення регулюючого контролю таких підприємств вперше була визначена в 2010 році у вимогах Міжнародного агентства з атомної енергії (МАГАТЕ) (NORM – Naturally Occurring Radioactive Materials) [1]. Ці вимоги базувалися на висновках Міжнародної комісії з радіологічного захисту (МКРЗ), яка вважає, що шкоду здоров'ю може нанести будь-який рівень радіаційного впливу ("безпорогова концепція") [2]. Практично ці вимоги реалізовані у новій версії "Основних стандартів безпеки" (BSS – Basic Safety Standards) МАГАТЕ [3] та останній редакції директиви Євратому 2013/59/EURATOM [4]. Ці документи встановлюють більш жорсткі вимоги до обмеження опромінення техногенно-підсиленними джерелами природного походження (ТПДПП) у виробничих умовах та зобов'язують ввести регулюючий контроль щодо підприємств та окремих технологічних процесів, якщо активність радіонуклідів уранового і торієвого ряду перевищує $1 \text{ Бк} \cdot \text{г}^{-1}$ або активність калію-40 перевищує $10 \text{ Бк} \cdot \text{г}^{-1}$.

Це означає, що для цих підприємств або технологічних процесів запроваджується обов'язкове ліцензування.

На сьогодні в українських нормативних документах (Норми радіаційної безпеки (НРБУ-97) та Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України (ОСПУ-2005)) регулюючий контроль за залишками з підвищеним вмістом ПРН не встановлений [5-7]. Згідно з ОСПУ-2005, для ТПДПП визначені тільки вимоги до дозових обмежень опромінення на робочих місцях: "... якщо дози опромінення робітників перевищують 5 мЗв в рік та не можуть бути зменшені, робітники переводяться до категорії "персонал". Інших вимог у нормативних документах до регулюючого контролю підприємств України, залишки виробничої діяльності яких мають підвищений вміст ПРН, не визначено.

Таким чином, обмеження опромінення населення, яке обумовлено підвищеним вмістом ПРН у залишках діяльності підприємств з переробки корисних копалин, та створення і розробка вимог до їх ефективного контролю є актуальною та однією з першочергових задач сучасної системи протирадіаційного захисту в Україні.