
ЕПІДЕМІОЛОГІЧНІ ТА ДОЗИМЕТРИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

УДК 614.876:622.349.5

Ю. В. Бончук*

*Державна установа “Національний науковий центр радіаційної медицини
Національної академії медичних наук України”,
вул. Мельникова, 53, м. Київ, 04050, Україна*

ЗАСТОСУВАННЯ БІОФІЗИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ ДЛЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ДОЗИМЕТРИЧНОГО КОНТРОЛЮ ВНУТРІШНЬОГО ОПРОМІНЕННЯ ПРИ ВИДОБУТКУ І ПЕРЕРОБЦІ УРАНОВОЇ РУДИ

Розглядається застосування біофізичних вимірювань вмісту ^{238}U у пробах сечі для індивідуального дозиметричного контролю внутрішнього опромінення працівників урановидобувної та уранопереробної промисловості. Для різних сполук урану і періодичності збору біопроб розраховані похідні рівні дослідження, що ґрунтуються на вимогах ОСПУ щодо необхідності детектування річних доз внутрішнього опромінення 1 мЗв.

Ключові слова: урановидобувна та уранопереробна промисловість, радіонукліди урану, індивідуальний дозиметричний контроль, внутрішнє опромінення.

Індивідуальний дозиметричний контроль (ІДК) персоналу урановидобувної і уранопереробної промисловості є складовою частиною загальної системи радіаційного контролю на підприємствах паливно-енергетичного комплексу України. У відповідності до Основних санітарних правил забезпечення радіаційної безпеки України (ОСПУ) [1] “ІДК внутрішнього опромінення є обов’язковим для осіб з числа персоналу, у яких річна очікувана

* Бончук Юрій Васильович, e-mail: bonchuk@rpi.kiev.ua
© Бончук Ю. В., 2012

доза внутрішнього опромінення, пов'язана з їх професійною діяльністю, в нормальних або аварійних умовах може перевищувати 1 мЗв”.

Забезпечення контролю рівнів внутрішнього опромінення від джерел іонізуючого випромінювання відповідно до вимог Санітарного законодавства України є однією з найбільш важливих та складних серед комплексу заходів з радіаційної безпеки. Для розв'язання цієї проблеми необхідно створити методичні засади щодо визначення, контролю та реєстрації доз внутрішнього опромінення персоналу урановидобувного комплексу України.

Метою дослідження є визначення рівнів вмісту ^{238}U у пробах сечі людини, які відповідають надходженню радіонуклідів урану (та супутніх радіонуклідів), що формують очікувані річні ефективні дози внутрішнього опромінення 1 мЗв. Значення таких рівнів (рівнів дослідження) повинні залежати від сполук урану, що надходять до організму, та періодичності збору біопроб.

Матеріал та методи дослідження. Спектральний склад іонізуючого випромінювання радіонуклідів урану істотно ускладнює або робить практично неможливим пряме визначення (за допомогою лічильників випромінювання людини) вмісту цих радіонуклідів у тілі людини. Це обумовлює використання вимірів вмісту радіонуклідів урану у біологічних пробах (зокрема, у пробах сечі) для ідентифікації фактів надходження радіонуклідів урану і визначення рівнів опромінення людини, сформованих у результаті такої інкорпорації. Для виконання дозових оцінок застосовується моделювання біокінетики інкорпорованих радіонуклідів урану в організмі людини у відповідності до [2].

Результати та їх обговорення. Для виконання розрахунків використано радіонуклідний склад природного урану, наведений у табл. 1. Частка ^{235}U у складі урану може відрізнитись від наведеної у табл. 1 і характеризує рівень збагачення (або збіднення) урану.

Надходження зазначених радіонуклідів урану супроводжується надходженням радіонуклідів, які утворюються у ланцюгах радіоактив-

Таблиця 1. Радіонуклідний склад природного урану

Радіонуклід	Масова частка, %	Питома активність, кБк/г U
^{234}U	0,0054	12,5
^{235}U	0,71	0,57
^{238}U	99,28	12,3

ного розпаду ^{235}U і ^{238}U (^{234}U є елементом ланцюга радіоактивного розпаду ^{238}U). Крім того, в уранових рудах зустрічається також ^{232}Th . Наприклад, у рудах, які видобуваються на уранових шахтах Державного підприємства “Східний гірничо-збагачувальний комбінат” (ДП “СхідГЗК”), співвідношення масової частки ^{232}Th до природного урану коливається від 1,4 до 1,8. Отже, слід врахувати також і ^{232}Th , а також його дочірні радіонукліди.

З розгляду виключено радіонукліди радону, а також радіонукліди, які у ланцюгах радіоактивного розпаду трьох зазначених радіонуклідів, утворюються у результаті розпаду радону (тобто знаходяться у ланцюгах розпаду після радіонуклідів радону). Таким чином, розглядаються лише радіонукліди урану, протактинію, торію, актинію та радію із вказаних ланцюгів розпаду, а саме: ^{238}U , ^{235}U , ^{234}U , $^{234\text{m}}\text{Pa}$, ^{231}Pa , ^{234}Th , ^{232}Th , ^{231}Th , ^{230}Th , ^{228}Th , ^{227}Th , ^{228}Ac , ^{227}Ac , ^{228}Ra , ^{226}Ra , ^{224}Ra , ^{223}Ra .

При виконанні розрахунків передбачається досягнення рівноваги у ланцюгах радіоактивного розпаду. За такими даними відносні активності радіонуклідів (у порівнянні з активністю ^{238}U) при надходженні будуть складати значення, що представлені у табл. 2.

Для виконання розрахунків розглянуто інгаляційне надходження радіонуклідів у складі різних хімічних сполук, яким відповідає різна “розчинність” (типи системного надходження F, M або S). Для радіонуклідів урану відповідність між хімічними сполуками і “розчинністю” встановлюється таким чином [2]:

- речовини, які швидко переходять в рідини тіла (типу F, до якого належить більшість шестивалентних сполук урану, наприклад UF_6 , UO_2F_2 і $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$);
- речовини з проміжною швидкістю переходу в рідини тіла (типу M, до якого належать UO_3 , UF_4 , UCl_4 та більшість інших шестивалентних сполук);

Таблиця 2. Відношення активності радіонукліда до активності ^{238}U

Радіонуклід	Відношення активності радіонукліда до активності ^{238}U
^{234}U , $^{234\text{m}}\text{Pa}$, ^{234}Th , ^{230}Th , ^{226}Ra	1
^{232}Th , ^{228}Th , ^{228}Ac , ^{228}Ra , ^{224}Ra	0,22
^{235}U , ^{231}Pa , ^{231}Th , ^{227}Ac , ^{223}Ra	0,046
^{227}Th	0,045

- речовини, які повільно розчинні і повільно переходять в рідину тіла (типу S, до якого належать UO_2 , U_3O_8).

Рекомендованим типом матеріалу для радіонуклідів урану є тип M, тобто сполуки проміжної “розчинності”. Проте для конкретних робіт (коли сполуки є відомими) повинний бути вибраний відповідний тип матеріалу. Рекомендованими розмірами часточок (AMAD) для умов робочих місць є 1 та 5 мкм. Однак при наявності лише механічного впливу на породи, які містять радіонукліди урану, AMAD може бути більшим (наприклад, 10 мкм). Навпаки, для робіт з термічним чи хімічним впливом на матеріали, розміри аерозольних часточок можуть бути значно меншими. Тому розрахунки виконані для більш широкого спектру розмірів аерозольних часточок — для AMAD від 0,01 до 10 мкм.

За даними про співвідношення радіонуклідів при надходженні проведеної оцінки відносного внеску радіонуклідів у сумарну дозу внутрішнього опромінення. При виконанні таких оцінок слід прийняти до уваги, що структура таких внесків суттєво залежить від “розчинності” сполук (тобто типу матеріалу).

За такими вихідними умовами для сполук типу F найбільший внесок до сумарної дози внутрішнього опромінення формується ^{227}Ac (майже 96%). Приблизно по 2% буде сформовано ^{238}U і ^{234}U .

Для сполук типу M майже 42% сумарної дози внутрішнього опромінення буде сформовано ^{230}Th , приблизно по 10% припадає на ^{232}Th і ^{227}Ac , більше 8% — на ^{228}Th , майже по 7% — на ^{234}U і ^{226}Ra , приблизно по 6% — на ^{231}Pa і ^{238}U .

Якщо сполуки є повільно розчинними (тип S), то і тоді найбільший внесок до сумарної дози внутрішнього опромінення буде сформований ^{230}Th — більше 25%. Лише для таких сполук значний внесок (більше третини сумарної дози) будуть давати радіонукліди урану: ^{234}U — майже 19%, ^{238}U — більше 16%. Майже 20% сформує ^{228}Th . Далі йдуть: ^{232}Th — більше 9%, ^{227}Ac — більше 5%, ^{231}Pa — 3%.

Вищевикладені варіанти наведені для отримання уявлення про те, наскільки різними є складові формування доз внутрішнього опромінення у залежності від типів сполук на робочих місцях. Можливою є ситуація, коли наявні результати вимірювань можуть бути сформовані за рахунок різних видів надходження (хронічне, однократне) різних типів сполук (погано або швидко “розчинних”). Наприклад, можлива ситуація регулярного (хронічного) надходження сполук проміжної розчинності (тип M) з невеликими абсолютними значеннями, на тлі якої спостерігаються суттєво більші однократні надходження швидко

“розчинних” сполук (тип F). Для встановлення похідних рівнів дослідження розглянуті лише припущення про надходження сполук одного й того ж постійного типу (F, M або S).

За даними про тип системного надходження інгальованого матеріалу (*TM*) і розміри аерозольних часточок (*AMAD*) виконано моделювання біокінетичних процесів і розраховано динаміку добового виведення ^{238}U з сечею (або динаміку добового вмісту ^{238}U у пробах сечі). Побудовані функції виведення $u^{AMAD, TM}(t)$ є часткою активності радіонукліда, що виводиться з сечею через час t після надходження, відносно активності, що надійшла. Для цілей ретроспективної дозиметрії внутрішнього опромінення використано функції “ефективна доза на одиницю вмісту/виведення радіонукліда” — $z^{AMAD, TM}(t)$, одержувану таким чином [3]:

$$z^{AMAD, TM}(t) = e^{AMAD, TM} / u^{AMAD, TM}(t),$$

де $e^{AMAD, TM}$ — ефективна доза на одиницю інгальційного надходження радіонукліда, розрахована для типу системного надходження *TM* і *AMAD* інгальованого матеріалу, Зв·Бк⁻¹; $u^{AMAD, TM}(t)$ — функція добового виведення радіонукліда з сечею, розрахована для інгальційного надходження 1 Бк радіонукліда (для тих же *TM* і *AMAD*), Бк·Бк⁻¹.

Функції $z^{AMAD, TM}(t)$ дозволяють безпосередньо перейти від вмісту радіонукліда в органі або пробі до ефективної дози внутрішнього опромінення, використовуючи характеристики інгальційного надходження (тип системного надходження інгальованого матеріалу, *AMAD*, час після надходження). Як показано у [3, 4], функції $z^{AMAD, TM}(t)$ мають суттєво меншу (на відміну від функцій $u^{AMAD, TM}(t)$ і значень $e^{AMAD, TM}$) варіабельність.

Функції $z^{AMAD, TM}(t)$, які є сумарними ефективними дозами внутрішнього опромінення на 1 Бк вмісту ^{238}U у добових пробах сечі у залежності від часу після однократного надходження, наведені на рис. 1. Такі ж функції для хронічного надходження (у залежності від часу після його початку) наведено на рис. 2. Зазначені функції враховують внесок до сумарних ефективних доз внутрішнього опромінення усіх радіонуклідів, представлених у табл. 2.

Отримані функції використано як базові для розрахунку похідних рівнів дослідження для детектування річних доз внутрішнього опромінення 1 мЗв. Для цих розрахунків використано рекомендації про встановлення похідних рівнів дослідження [5], що враховують періодичність контролю. Рекомендованою періодичністю відбору добових проб

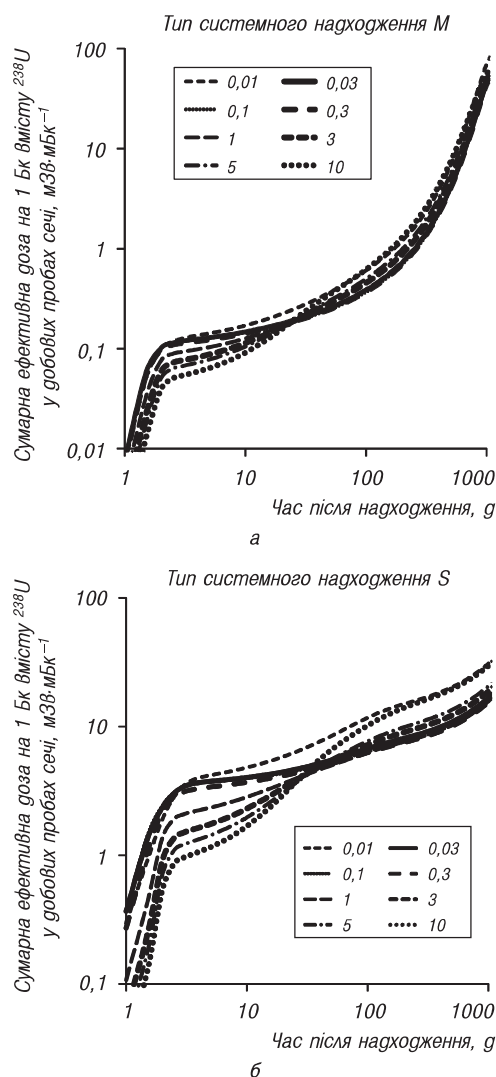


Рис. 1. Ефективна доза внутрішнього опромінення на одиницю вмісту ^{238}U у добових пробах сечі у залежності від часу після однократного надходження (AMAD від 0,01 до 10 мкм)

сечі для вимірювання в них вмісту радіонуклідів урану є 30 діб (для швидкокорозинних сполук) і 90 діб (для сполук з проміжною “розчинністю” і повільно розчинних сполук урану). Виходячи із таких припущень, отримано такі значення похідних рівнів дослідження для вмісту ^{238}U у добових пробах сечі:

- для швидкокорозинних сполук — 5 мБк;
- для сполук з проміжною “розчинністю” — 1 мБк;
- для повільно розчинних сполук — 0,3 мБк.

Вміст ^{238}U у добових пробах сечі, який у 20 разів перевищує вказані значення, може бути ознакою перевищення ліміту ефективної дози (20 мЗв·рік $^{-1}$).

Висновки

Застосування нових інтерпретаційних підходів у ретроспективному аналізі (зокрема, функцій “доза на одиницю вмісту радіонукліда в органі/біопробі”) дає можливість зменшити невизначеність оцінок доз внутрішнього опромінення працівників урановидобувної і уранопереробної промисловості.

З використанням функцій “доза на одиницю вмісту радіонукліда в органі/біопробі” розраховано похідні рівні

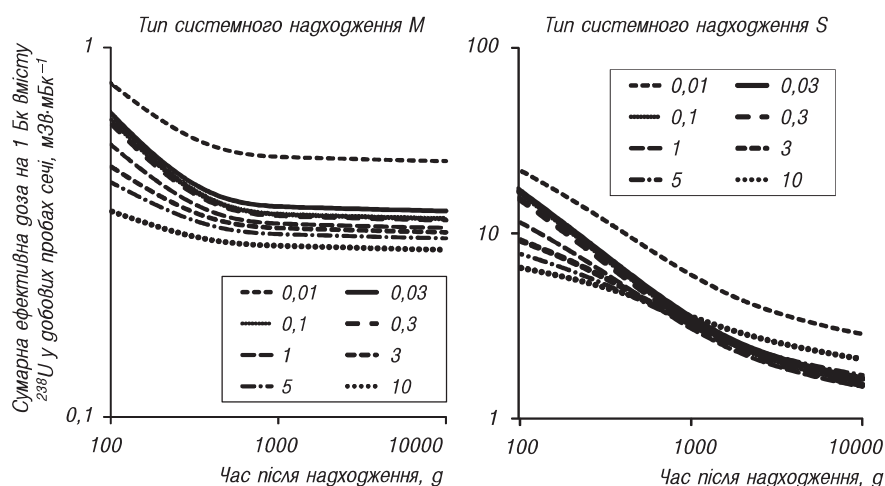


Рис. 2. Ефективна доза внутрішнього опромінення на одиницю вмісту ^{238}U у добових пробах сечі у залежності від часу після початку хронічного надходження (AMAD від 0,01 до 10 мкм)

дослідження для вмісту ^{238}U у добових пробах сечі, що побудовані за вимогою ОСПУ про необхідність детектування річних доз внутрішнього опромінення 1 мЗв. Зазначені похідні рівні дослідження встановлено для різних типів сполук урану з урахуванням відповідної періодичності контролю.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України. Державні санітарні правила 6.177-2005-09-02. — К. : [б. в.], 2005. — 136 с.
2. ICRP Publication 69. Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides: Part 3. — Oxford : Pergamon Press, 1995. — 74 p.
3. Berkovski V. Dose per unit content' functions: a robust tool for the interpretation of bioassay data / V. Berkovski, Yu. Bonchuk, H. Ratia // Radiat. Prot. Dosim. — 2003. — Vol. 105 (1–4). — P. 399–402.
4. Бончук Ю. В. Аналіз стану і напрямки модернізації індивідуального дозиметричного контролю внутрішнього опромінення персоналу категорії А на АЕС України / Ю. В. Бончук, Г. Г. Ратія. // Проблеми радіаційної медицини та радіобіології: зб. наук. праць / ДУ “НЦРМ АМН України”. — 2010. — Вип. 15. — С. 38–49.
5. Assessment of occupational exposure due to intakes of radionuclides: Safety guide. Safety standards series, RS-G-1.2. — Vienna : International Atomic Energy Agency, 1999. — 85 p.

Стаття надійшла до редакції 22.05.2012.

Ю. В. Бончук

*Государственное учреждение “Национальный научный центр радиационной
медицины Национальной академии медицинских наук Украины”,
ул. Мельникова, 53, г. Киев, 04050, Украина*

**ПРИМЕНЕНИЕ БИОФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ
ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО
КОНТРОЛЯ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ ПРИ ДОБЫЧЕ
И ПЕРЕРАБОТКЕ УРАНОВОЙ РУДЫ**

Рассмотрено применение биофизических измерений содержания ^{238}U в пробах мочи для индивидуального дозиметрического контроля внутреннего облучения работников уранодобывающей и ураноперерабатывающей промышленности. Для различных соединений урана и периодичности сбора биопроб рассчитаны производные уровни исследования, основанные на требованиях ОСПУ о необходимости детектирования годовых доз внутреннего облучения 1 мЗв.

Ключевые слова: уранодобывающая и ураноперерабатывающая промышленность, радионуклиды урана, индивидуальный дозиметрический контроль, внутреннее облучение.

Yu. V. Bonchuk

*State Institution “National Research Center for Radiation Medicine
of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine”,
Melnykov str., 53, Kyiv, 04050, Ukraine*

**APPLICATION OF BIOPHYSICAL MEASUREMENTS FOR THE
ORGANIZATION OF INDIVIDUAL MONITORING FOR INTERNAL
EXPOSURE DURING MINING AND PROCESSING OF URANIUM ORE**

Employing biophysical measurements of ^{238}U content in urine samples to monitor individual internal exposure of workers in uranium mining and processing industry is considered. According to the Main Sanitary Rules of Ukraine requirement to detect annual internal dose of 1 mSv, derived investigation levels were calculated for different uranium compounds and periodicity of bioassay sampling.

Key words: uranium mining and processing industry, uranium radionuclides, individual monitoring, internal exposure.