

УДК 613.31:546.13

## ОБОСНОВАНИЕ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО РАСЧИСТКЕ РЕКИ КОНОПЛЯНКА

СОРОКА Ю. Н.<sup>1</sup>, к.т.н., доц.,  
РЕЦ Ю. Н.<sup>2\*</sup>, аспирант,  
ЧЕСАНОВ В. Л.<sup>3</sup>, к.т.н., доц.

<sup>1</sup>Кафедра экологии и охраны окружающей среды, Государственное высшее учебное заведение «Днепропетровский государственный технический университет», Днепропетровская улица, 2, г. Каменское, Днепропетровская область, 51918 Телефон: +38 (05695) 38523, e-mail: yuriy\_sor@ukr.net

<sup>2\*</sup>Кафедра экологии и охраны окружающей среды, Государственное высшее учебное заведение «Днепропетровский государственный технический университет», Днепропетровская улица, 2, г. Каменское, Днепропетровская область, 51918 Телефон: +38 (05695) 38523, e-mail: smsgv1978@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-9793-1738

<sup>3</sup>Кафедра безопасности жизнедеятельности, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24а, г. Днепр, Украина, тел. +38 (0562) 756-34-57, e-mail: chesanow.v@yandex.ru

**Аннотация.** *Цель.* Оценка дозовой нагрузки на работающих при выполнении работ по расчистке русла р. Коноплянка, что необходимо для безопасного выполнения работ. *Методика.* Для целей оценки радиационного воздействия на работающих была разработана методика расчета эффективной дозы, которая учитывала следующие пути облучения рабочих: внешнее облучение персонала и рабочих; внутреннее облучение от вдыхания радионуклидов ряда урана и актиноурана и тория; внутреннее облучение от радона и продуктов его распада; внутреннее облучение при пероральном поступлении радионуклидов. *Результаты.* Рассмотрены вопросы радиационной опасности мероприятий по расчистке р. Коноплянка, которая была в течение длительного времени заиленная и засыпана отходами, содержащими природные радионуклиды ряда урана. Разработана методика расчета доз облучения работающих на территориях, загрязненных природными радионуклидами. Проведенные исследования и расчеты показали, что годовая эффективная доза при выполнении работ по расчистке р. Коноплянка для недопущения подтопления хвостохранилищ составит 113,178 мкЗв, в том числе внешнее облучение - 94,86 мкЗв, внутреннее облучение - 18,318 мкЗв. В связи с этим, выполнение работ не приведет к повышенному облучению работников и можно условия работы квалифицировать как «допустимые» (класс 2). Особые меры по обеспечению радиационно-безопасных условий ведения работ по расчистке р. Коноплянка для недопущения подтопления хвостохранилищ не нужны. *Научная новизна.* В работе предложена методика расчета доз облучения работающих на территориях, загрязненных природными радионуклидами. *Практическая значимость.* Проведены расчеты дозовых нагрузок работающих при расчистке р. Коноплянка, загрязненной природными радионуклидами ряда урана, и сделан вывод об отсутствии опасности при проведении работ.

*Ключевые слова:* эффективная доза, внутреннее облучение, внешнее облучение, радиоактивные отходы переработки урановых руд р. Коноплянка

## ОБГРУНТУВАННЯ РАДІАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ ПРОЄКТУВАННІ ЗАХОДІВ ПО РОЗЧИЩЕННЮ РІЧКИ КОНОПЛЯНКА

СОРОКА Ю. М.<sup>1</sup>, к.т.н., доц.,  
РЕЦЬ Ю. М.<sup>2\*</sup>, аспирант,  
ЧЕСАНОВ В. Л.<sup>3</sup>, к.т.н., доц.

<sup>1</sup>Кафедра екології та охорони навколишнього середовища, Державний вищий навчальний заклад «Дніпровський державний технічний університет», Дніпробудівська вулиця, 2, м. Кам'янське, Дніпропетровська область, 51918 Телефон: +38 (05695) 38523, e-mail: yuriy\_sor@ukr.net

<sup>2\*</sup>Кафедра екології та охорони навколишнього середовища, Державний вищий навчальний заклад «Дніпровський державний технічний університет», Дніпробудівська вулиця, 2, м. Кам'янське, Дніпропетровська область, 51918 Телефон: +38 (05695) 38523, e-mail: smsgv1978@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-9793-1738

<sup>3</sup>Кафедра безпеки життєдіяльності, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 756-34-57, e-mail: chesanow.v@yandex.ru

**Анотація.** *Ціль.* Оцінка дозового навантаження на працюючих при виконанні робіт з розчищення русла р. Коноплянка, що необхідно для безпечного виконання цих робіт. *Методика.* Для цілей оцінки радіаційного впливу на працюючих була розроблена методика розрахунку ефективної дози, яка урахувала наступні шляхи опромінення робітників: зовнішнє опромінення персоналу та робітників; внутрішнє опромінення від вдихання радіонуклідів ряду урану і актиноурану та торія;

внутрішнє опромінення від радону та продуктів його розпаду; внутрішнє опромінення при пероральному надходженні радіонуклідів. **Результати.** Розглянуто питання радіаційної небезпеки заходів з розчищення р. Коноплянка, яка була протягом тривалого часу замулена і засипана відходами, що містять природні радіонукліди ряду урану. Розроблено методику розрахунку доз опромінення працюючих на територіях, які забруднені природними радіонуклідами. Проведені дослідження і розрахунки показали, що річна ефективна доза при виконанні робіт з розчищення р. Коноплянка для недопущення підтоплення хвостосховищ становитиме 113,178 мкЗв, у тому числі зовнішнє опромінення - 94,86 мкЗв, внутрішнє опромінення - 18,318 мкЗв. У зв'язку з цим, виконання робіт не призведе до підвищеного опромінення працівників і можна умови роботи кваліфікувати як «допустимі» (клас 2). Особливі заходи щодо забезпечення радіаційно-безпечних умов ведення робіт з розчищення р. Коноплянка для недопущення підтоплення хвостосховищ не потрібні. **Наукова новизна.** У роботі запропоновано методику розрахунку доз опромінення працюючих на територіях, які забруднені природними радіонуклідами. **Практична значимість.** Проведено розрахунки дозових завантажень на працюючих при розчищенні р. Коноплянка, забрудненої природними радіонуклідами ряду урану, і зроблено висновок про відсутність небезпеки при проведенні робіт.

**Ключові слова:** ефективна доза внутрішнє опромінення зовнішнє опромінення радіоактивні відходи переробки уранових руд р. Коноплянка

## BASIS OF RADIATION SAFETY MEASURES IN PROJECTING CLEARANCE RIVER KONOPLYANKA

SOROKA Y. N.<sup>1</sup>, *Cand. Sc.(Tech.), Assoc. Prof.*,  
RETS Y. N.<sup>2\*</sup>, *a graduate student*,  
CHESANOW V. L.<sup>3</sup>, *Cand. Sc.(Tech.), Assoc. Prof.*

<sup>1</sup>Department of Ecology and Environment, State Higher Educational Institution "Dnipro State Technical University" Dniprobudivska Street 2, Kamenskoye, Dnipropetrovsk region, 51918 Telephone +38 (05695) 38523, e-mail: yuriy\_sor@ukr.net

<sup>2\*</sup>Department of Ecology and Environment, State Higher Educational Institution "Dnipro State Technical University" Dniprobudivska Street 2, Kamenskoye, Dnipropetrovsk region, 51918 Telephone +38 (05695) 38523, e-mail: smsgv1978@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-9793-1738

<sup>3</sup>Department of Life Safety, State Higher Education Establishment «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernishevskogo st., Dnipro 49600, Ukraine, phone +38 (0562) 756-34-57, e-mail: chesanow.v@yandex.ru

**Abstract. Purpose.** Evaluation of radiation exposure to workers during the work on clearing the Konoplyanka River., which is necessary for the safe performance of work. **Methods.** For the purposes of assessment of radiation impact on the method of calculating the effective dose was developed by employees, which considered the following ways of working exposure: external exposure of staff and workers; internal exposure by inhalation of radionuclides number of uranium and thorium and actinouranium; internal exposure from radon and its decay products; internal exposure by oral intake of radionuclides. **Results.** The problems of radiation hazard events on clearing the Konoplyanka River., who was for a long time silting and covered with waste containing naturally occurring radionuclides uranium series. The method of calculating the doses employed in areas contaminated by natural radionuclides. Studies and calculations showed that the annual effective dose during the work on clearing the g .. Linnet to prevent flooding of the tailings will be 113.178  $\mu$ Sv, including external exposure - 94.86  $\mu$ Sv, internal exposure -18.318  $\mu$ Sv. In connection with this, works will not result in increased exposure of workers and the working conditions can be qualified as "acceptable" (class 2). Special measures to ensure radiation safety conditions of conducting works on clearing the g .. Linnet to prevent flooding of the tailings are not needed. **Scientific novelty.** We propose a method of calculating the doses employed in areas contaminated by natural radionuclides. **Practical significance.** The calculations of dose downloads working at clearing the Konoplyanka River, contaminated with natural radionuclides of uranium series, and concluded that there is no danger at work.

**Keywords:** effective dose, internal exposure, external radiation, radioactive waste processing of uranium ore, the Konoplyanka River

### Вступ

**Радіоекологічна проблема р. Коноплянка.** Рукав р. Коноплянка у минулому був правобережним рукавом р. Дніпро. Після зведення на березі р. Дніпро сховища промислових відходів «Дніпровське», верхова частина рукава повністю засипана відвалами металургійного виробництва, низова частина відсічена насипною глухою греблею-переїздом на о. Гречаний (о. Дика Коса), територія якого граничить з Дніпровсько - Орільським Державним заповідником (о. Корчуватий).

Підземні води в районі розташування хвостосховищ, впливають на склад поверхневих вод р. Дніпро і р. Коноплянка. Одним з основних джерел хімічного і

радіонуклідного забруднення підземних вод в заплаві р. Коноплянка є хвостосховище відходів переробки уранових руд «Дніпровське». Невдало вибране місце формування хвостосховища «Дніпровське» привело до забруднення підземних алювіальних вод і поверхневих вод р. Дніпро і Коноплянки, забрудненню рекреаційних зон м. Кам'янське, пос. Таромське, Сухачівка, Карнаухівка і значно посилило і без того дискомфортну екологічну ситуацію правобережжя р. Дніпро.

Особливу небезпеку представляє те, що радіоактивні відходи переробки уранових руд знаходяться у водонасиченому стані. У більшій частині об'єму відходів міститься вільна вода, що утворила техноген-

ний водоносний горизонт. Техногенний горизонт сформований в межах чаші та огорожуючих дамб хвостосховища «Дніпровське», а також в прилеглих до нього шламонакопичувачах ДКХЗ та ДМК. Ступінь хімічного забруднення техногенних вод характеризується як надзвичайно високий.

Окрім розвантаження в р. Коноплянка забруднених підземних вод, в річку скидаються промислові, зливові і побутові стоки, атмосферними опадами змиваються компоненти забруднення з денної поверхні і осідають забруднюючі речовини викидів в атмосферу. Найбільш високий показник забруднення відмічений в створі хвостосховищ, найбільш низький - у відгородженому старому руслі Коноплянки і в гирлі обвідного каналу, де за рахунок добового коливання рівнів води, води р. Коноплянки змішуються з дніпровськими водами.

Таким чином, розвантаження забруднених підземних вод, злив забруднень з денної поверхні, скиди промислових підприємств забруднюють поверхневі води р. Коноплянка та поверхневі води р. Дніпро в місці розташування гирла дренажного каналу (р. Коноплянка).

Ґрунти в районі хвостосховищ характеризуються помірно небезпечним, небезпечним і надзвичайно небезпечним ступенем забруднення хімічними речовинами.

Окремою проблемою є радіоактивне забруднення ґрунтів, в значній мірі викликане незадовільним зберіганням радіоактивних відходів. В даний час хвостосховища являються джерелами забруднення ґрунтів в результаті вітрового розносу пилу, що вміщує радіонукліди.

В межах хвостосховищ відбувається міграція радіонуклідів з товщі відходів уранового виробництва і надходження їх в підземні води. Сумарний показник забруднення радіонуклідами змінюється від 0,68 до 3,24 Бк/дм<sup>3</sup>, що характеризує підземні води майже повсюдно як радіоактивно забруднені. Основний вклад в сумарний показник радіонуклідного забруднення підземних вод вносять полоній-210 та свинець-210.

У р. Коноплянку і далі в р. Дніпро розвантажуються підземні радіоактивно-забруднені води від хвостосховищ відходів уранового виробництва.

Радіонуклідний склад річкової води р. Коноплянка згідно НРБУ-97, не перевищує допустимих значень, але сумарний показник забруднення радіонуклідами змінюється від 1,42 до 2,22 Бк/дм<sup>3</sup>, що перевищує допустимі значення для питної води та дає підстави вважати р. Коноплянку повсюдно забрудненою радіонуклідами.

Основний внесок до радіонуклідного забруднення річки вносять свинець-210 (45-57 % загального забруднення) і полоній-210 (21-40 % загального забруднення).

У той же час, значні концентрації свинцю-210 і полонію-210 відмічено за межами створу хвостосховища, що свідчить і про інші джерела радіонуклідного забруднення води р. Коноплянка.

Вода р. Коноплянка не придатна для питних і рекреаційних цілей. Вона може бути обмежено використана для технічних цілей.

З метою поліпшення екологічного стану м. Дніпродзержинськ розроблено проект по розчищенню русла р. Коноплянка. Це було передбачене у плані першочергових заходів на період до 2009р., затвердженому розпорядженні Кабінету Міністрів України 12 листопада 2008р. №1425-р.

Розчищення та поглиблення русла р. Коноплянки (дренажного каналу) знизить рівні води в ньому до проектної відмітки 51,4 м. Таке зниження рівня води в р. Коноплянка сприятиме зниженню рівнів ґрунтових вод на оточуючій території і знизить рівень ґрунтових вод нижче основи відкладення радіоактивних відходів в хвостосховищі «Дніпровське». Разом з тим, розчищення русла річки пов'язана з виїмкою мулу і ґрунтів і складуванням їх на березі річки. З огляду на підвищений вміст в них природних радіонуклідів, гостро стоїть питання радіаційного опромінення працюючих.

### Мета досліджень

Метою досліджень була оцінка дозового навантаження на працюючих при виконанні робіт з розчищення русла р. Коноплянка, що необхідно для безпечного виконання цих робіт.

### Методика досліджень

Для цілей оцінки радіаційного впливу на працюючих була розроблена методика розрахунку ефективної дози.

Методика повинна урахувати рівні радіоактивного забруднення і шляхи опромінення робітників. На забруднених ділянках потенційними шляхами опромінення є наступні: зовнішнє опромінення персоналу та робітників; внутрішнє опромінення від вдихання радіонуклідів ряду урану і актиноурана та торія; внутрішнє опромінення від радону та продуктів його розпаду; внутрішнє опромінення при пероральному надходженні радіонуклідів.

*Зовнішнє опромінення персоналу та робітників*

Річні дозові навантаження на персонал та робітників від зовнішнього опромінювання на відкритій місцевості розраховуються по наступній формулі:

$$E_{ext} = f_c \left( H(10)_s - H(10)^u \right) \times T_w, \quad (1)$$

де  $E_{ext}$  - ефективна доза за рік, Зв;  $f_c$  - дозовий коефіцієнт перерахунку еквівалентної дози в ефективну дозу,  $f_c=0,6$ ;  $H(10)_s$  - потужність еквівалентної дози гамма-випромінювання на робочому майданчику, Зв-год<sup>-1</sup>;  $H(10)^u$  - фонові потужності еквівалентної дози гамма-випромінювання, Зв-год<sup>-1</sup>;  $T_w$  - тривалість опромінювання персоналу, год. Референтна тривалість опромінювання персоналу  $T_w=1700$  год. [1-2].

Внутрішнє опромінення від вдихання радіонуклідів ряду урану і актиноурана та торія

Для оцінки ефективної дози опромінювання працівників важливим є вивчення шляху надходження радіонуклідів в атмосферу, величини медіанного по активності аеродинамічного діаметру (АМАД) і складу аерозолів, референтного типу системного надходження радіонуклідів.

При роботах на земній поверхні, де надходження радіонуклідів в атмосферу обумовлене, в основному, рухом транспорту, розвантажувально-перевантажувальними роботами, дією вітру, рекомендовано застосування величини АМАД рівного 5 мкм [3-5]. Ефективна доза опромінювання працюючих унаслідок вдихання аерозолів, які містять природні радіонукліди, визначається по наступній формулі:

$$E_{inh} = V_w \cdot \sum \sum C_{r,s}^{inh} \cdot K_r^{inh} \cdot T_w, \quad (2)$$

де  $E_{inh}$  - ефективна доза опромінювання працюючих унаслідок вдихання аерозолів, Зв;  $K_r^{inh}$  - дозовий коефіцієнт для радіонукліда  $r$ , Зв·Бк<sup>-1</sup>;  $C_{r,s}^{inh}$  - концентрація радіонукліда у пилу для радіонукліда  $r$  при знаходженні робітника на робочому місці  $S$ , Бк·м<sup>-3</sup>;  $V_w$  - референтний об'єм дихання працівників,  $V_w=1,2$  м<sup>3</sup>·час<sup>-1</sup>.

У табл.1 приведені значення дозових коефіцієнтів для радіаційно-значущих радіонуклідів ряду урану, торія і актиноурана [4,6].

$$C_{r,s}^{inh} = (C_{soil,r,s} - C_{soil}^U) \cdot S_{dust}, \quad (3)$$

де  $C_{soil,r,s}$  - активність радіонукліду  $r$  у пилу ґрунту на майданчику  $S$ , Бк·кг<sup>-1</sup>;  $C_{soil}^U$  - фонові активності радіонукліду  $r$  у ґрунті, Бк·кг<sup>-1</sup>;  $S_{dust}$  - референтне значення концентрації частинок в повітрі,  $S_{dust} = 5 \cdot 10^{-8}$  кг·м<sup>-3</sup>.

Внутрішнє опромінення від радону та продуктів його розпаду

Загальна ефективна доза для працюючих на робочому майданчику визначається наступним чином [5,6]:

$$E_{Rn-222j} = g_{ecc(Rn-222)j} \times \sum (C_{Rn-222,s} - C_{Rn-222,s}^U) \times F_{Rn-222s} \times T_w \quad (4)$$

де  $E_{Rn-222,j}$  - ефективна доза від вдихання радону та продуктів його розпаду для працюючих, Зв;

$C_{Rn-222,s}$  - середньорічна концентрація <sup>222</sup>Rn в атмосферному повітрі на робочому майданчику, Бк·м<sup>-3</sup>;  $C_{Rn-222}^U$  - фонові концентрації <sup>222</sup>Rn в атмосферному повітрі, Бк·м<sup>-3</sup>. Якщо фонові концентрації включаються в моделі спільно з радоном від видобутку руд, то в розрахунках приймається  $C_{Rn-222}^U=0$ ;  $F_{Rn-222,s}$  - фактор рівноваги між радоном <sup>222</sup>Rn і продуктами його розпаду на робочому майданчику, який забруднений внаслідок видобутку уранових руд,  $F_{Rn-222,s} = 0,4$ ;  $g_{ecc(Rn-222)}$  - дозовий коефіцієнт для працюючих при експозиції продуктів розпаду радону  $g_{ecc(Rn-222)}=7,8 \cdot 10^{-9}$  (Sv·м<sup>3</sup>·Bq<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>).

Середньорічна концентрація радону на робочому, рівному майданчику визначається наступним чином:

$$C_{Rn-222,s} = 11 \times (J_{Rn-222,i} - J_{Rn-222}^U) \times \ln(1 + 1,7 \times F_i) + 377 \sum_{i=1}^n Q_{Rn-222,i} \times \left( \frac{a_i}{r_{i,s}} \right)^{1,58} \quad (5)$$

де  $J_{Rn-222,i}$  - середньорічна ексхаліяція радону на робочому майданчику, забрудненому внаслідок видобутку уранових руд, Бк·м<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup>;

$J_{Rn-222}^U$  - фонові ексхаліяції радону на території, Бк·м<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup>;

Якщо  $J_{Rn-222,i}$  включає в моделі фракцію внаслідок забруднення при видобутку руд, то  $J_{Rn-222}^U = 0$ ;

$F_i$  - площа робочого майданчика, га.

Емісія  $Q_{Rn-222,i}$  з майданчика, забрудненого внаслідок видобутку уранових руд, визначається за такою формулою:

$$Q_{Rn-222,i} = 10 \times (J_{Rn-222,i} - J_{Rn-222}^U) \times F_i \quad (6)$$

де  $Q_{Rn-222}$  - середньорічна емісія <sup>222</sup>Rn з території, забрудненої внаслідок видобутку уранових руд.

Середньорічна ексхаліяція <sup>222</sup>Rn з робочого майданчика визначається активністю <sup>226</sup>Ra з використанням коефіцієнта перетворення.

$$J_{Rn-222,i} = (C_{Ra-226,i} - C_{Ra-226}^U) \times b_i \quad (7)$$

де  $C_{Ra-226,i}$  - середньорічна активність <sup>226</sup>Ra в матеріалі робочого майданчика, Бк·г<sup>-1</sup>;

$C_{Ra-226}^U$  - фонові активності <sup>226</sup>Ra в ґрунті, Бк·г<sup>-1</sup>;  $b_i$  - коефіцієнт перетворення, що зв'язує ексхаліацію <sup>222</sup>Rn з активністю <sup>226</sup>Ra в матеріалі майданчику і потужністю забрудненого, глинистого шару,  $b_i = 0,5$ .

Поправочний коефіцієнт  $a_i$  розраховується наступним чином:

$$a_i = k \cdot k_j(r, F) \quad (8)$$

де  $k$  - безрозмірний поправочний коефіцієнт на топографічні та метеорологічні умови місцевості, де розташована робоча площадка;

$k=k_f = 1,25$  для рівної поверхні;

$k=k_m = 3,0$  для гірської місцевості.

$k_j(r, F)$  - безрозмірний поправочний коефіцієнт, що враховує відхилення геометрії джерела як функцію від площі робочої площадки  $F$  і відстані  $r$  від найближчої межі майданчика.

При відстані  $r = 20$ м і площі робочого майданчика від 0,1га до 100га поправочний коефіцієнт може бути визначений таким чином:

$$k_j(r = 20m, F_i) = 0,35 F_i^{-0,31} \text{ при } F_i \leq 1га, \text{ чи} \quad (9)$$

$$k_j(r = 20m, F_i) = 0,35 F_i^{-0,38} \text{ при } F_i > 1га$$

Внутрішнє опромінення при пероральному надходженні радіонуклідів

Пероральне надходження радіонуклідів можливо як у виді випадкового заковтування часток радіоактивного матеріалу (хвостів), так і надходження, наприклад, із забруднених рук при виконанні будівельних, земляних і сільськогосподарських робіт на забруднених робочих майданчиках та на хвостосховищах. Ефективна доза робітників від перорального надходження радіонуклідів на робочому майданчику розраховується за формулою:

$$E_{ing,Soil,j} = U_{Soil,j} \times T_w \times \sum_r (C_{Soil(0,5),r,s} - C_{Soil(0,5),r,s}^u) \times g_{ing,r,j} \quad (10)$$

де  $E_{ing,Soil,j}$  - ефективна доза від перорального надходження радіонукліду  $r$  на робочому майданчику  $S$ , Зв;

$C_{Soil(0,5),r,s}$  - активність радіонукліду  $r$  в дрібній фракції зерна (діаметр частинок  $<0,5$  м) верхнього шару ґрунту на робочому майданчику  $S$  (Бк $\times$ кг $^{-1}$  (0–30 см)), Бк $\times$ кг $^{-1}$ ;

$C_{Soil(0,5),r,s}^u$  - фонові значення активності радіонукліду  $r$ , Бк $\times$ кг $^{-1}$ .

Якщо  $C_{Soil(0,5),r,s}$  включають забруднені фракції внаслідок гірничої діяльності, то  $C_{Soil(0,5),r,s}^u = 0$ .

$U_{soil,j}$  - надходження ґрунту через органи травлення для робітників, кг $\times$ год;

$g_{ing,r,j}$  - дозовий коефіцієнт перорального надходження для радіонукліду  $r$  та робітників, Зв $\times$ Бк $^{-1}$ .

*Результати дослідження ефективних доз опромінення робітників при виконанні робіт з розчищення р. Коноплянка*

За нижчеподаній методикою були розраховані ефективні дози опромінення працюючих при розчищенні р. Коноплянка. Загальна ефективна доза на тих, що працюють визначається таким чином:

$$E_{total} = E_{ext} + E_{inh} + E_{Rn-222,j} + E_{ing,Soil,j} \quad (11)$$

Активності природних радіонуклідів були прийняті як середні значення їх у ґрунті берегової лінії і в річковому мулі. Ці значення активності природних радіонуклідів були одержані за результатами польових досліджень, проведених в районі р. Коноплянка. Ці результати корелюють з даними, наведеними у звіті МАГАТЕ [8] та роботах [9-12].

Потужність еквівалентної дози гамма-випромінювання визначалася як середнє значення з 693 вимірювань. Фонове значення потужності еквівалентної дози гамма-випромінювання приймалося за даними «Доповіді про стан ядерної та радіаційної безпеки в Україні у 2009 році» [7]. Результати розрахунку ефективних доз опромінення робітників при виконанні робіт з розчищення р. Коноплянка приведені у табл. 1.

Таблиця 1

**Результати розрахунку ефективних доз опромінення працюючих при розчищенні р. Коноплянка / The results of calculation of effective doses working at clearing the Konoplyanka River**

№ з/п	Шлях опромінення робітників	Ефективна доза, мкЗв
1	Зовнішнє опромінення робітників	94,86
2	Внутрішнє опромінення від вдихання радіонуклідів ряду урану	0,358
3	Внутрішнє опромінення від радону та продуктів його розпаду	15,22
4	Внутрішнє опромінення при пероральному надходженні радіонуклідів	2,738
5	Загальна ефективна доза	113,178

З 6 травня 2014р. введено в дію Державні санітарні норми та правила «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу» [13]. Відповідно до неї, на всіх підприємствах оцінюється дія іонізуючого випромінювання. Ці вимоги до гігієнічної оцінки умов праці наведено в розділі 9 ДСНіПана. Основною вимогою є розрахунок ефективної дози опромінення і відповідно до цього оцінка умов праці за рівнем шкідливості та небезпечності при дії іонізуючих випромінювань.

На відміну від інших нерадіаційних факторів виробничого середовища особливістю гігієнічної оцінки факторів іонізуючого випромінювання є те, що подібні оцінки, як правило, мають принципово груповий характер. З урахуванням цієї відмінності в додатку 13 до цієї Гігієнічної класифікації праці наведена класифікація умов праці на робочих місцях працівників, здоров'я яких у процесі трудової діяльності може зазнати шкідливого впливу джерел іонізуючого випромінювання.

Проведені дослідження і розрахунки показали, що річна ефективна доза при виконанні робіт з розчищення р. Коноплянка для недопущення підтоплення хвостосховищ становитиме 113,178 мкЗв, у тому числі зовнішнє опромінення - 94,86 мкЗв, внутрішнє опромінення - 18,318 мкЗв.

У зв'язку з цим, виконання робіт не призведе до підвищеного опромінення працівників і можна умови роботи кваліфікувати як «допустимі» (клас 2).

Особливі заходи щодо забезпечення радіаційно-безпечних умов ведення робіт з розчищення р. Коноплянка для недопущення підтоплення хвостосховищ не потрібні.

### Наукова новизна і практична цінність

Запропоновано методику розрахунку доз опромінення працюючих на територіях, які забруднені природними радіонуклідами.

Проведено розрахунки дозових завантажень на працюючих при розчищенні р. Коноплянка, забрудненої природними радіонуклідами ряду урану, і зроблено висновок про відсутність небезпеки при проведенні робіт.

### Висновки

Розглянуто питання радіаційної небезпеки заходів з розчищення р. Коноплянка, яка була протягом тривалого часу замулена і засипана відходами, що містять природні радіонукліди ряду урану.

Розроблено методику розрахунку доз опромінення працюючих на територіях, які забруднені природними радіонуклідами

Проведені дослідження і розрахунки показали, що річна ефективна доза при виконанні робіт з розчищення р. Коноплянка для недопущення підтоплення хвостосховищ становитиме 113,178 мкЗв, у тому числі зовнішнє опромінення - 94,86 мкЗв, внутрішнє опромінення - 18,318 мкЗв.

У зв'язку з цим, виконання робіт не призведе до підвищеного опромінення працівників і можна умови роботи кваліфікувати як «допустимі» (клас 2).

Особливі заходи щодо забезпечення радіаційно-безпечних умов ведення робіт з розчищення р. Коноплянка для недопущення підтоплення хвостосховищ не потрібні.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. BfS-SW-09/11 Calculation Guide Mining. Calculation Guide for the Determination of Radiation Exposure due to Environmental Radioactivity Resulting from Mining. Department Radiation Protection and Environment. Salzgitter, 2011;
2. Норми радіаційної безпеки України : (НРБУ-97): [Електрон. ресурс]. – Режим доступа: [http://www.dnaop.com/html/43243/doc-ДНАОП\\_-97/](http://www.dnaop.com/html/43243/doc-ДНАОП_-97/);
3. IAEA, Generic Models for use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment, Safety Reports Series #19, IAEA, Vienna (2000);
4. Международные основные нормы безопасности для защиты от ионизирующих излучений и безопасного обращения с источниками излучения [Текст]: – Вена: МАГАТЭ, 1997. – 383с.;
5. Сорока, Ю.Н. Про розрахунок ефективних доз опромінення від майданчикових джерел радіоактивного забруднення території [Текст] / Ю.Н. Сорока // Охорона праці та навколишнього середовища на підприємствах гірничо-металургійного комплексу. Зб. наук. пр., вип. №1. - Кривий Ріг: НДІБТГ, 1999. – С.12-21.;
6. COUNCIL DIRECTIVE 2013/59/EURATOM of 5 December 2013, laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation, and repealing Directives 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom and 2003/122/Euratom). Official Journal of the European Union 2014;
7. Доклад о состоянии ядерной и радиационной безопасности в Украине в 2009-му году Государственный Комитет Ядерного регулирования Украины [Текст]: Киев. 2009.-93 с.;
8. Balonov, M. Radiological conditions in the Dnieper River basin : assessment by an international expert team and recommendations for an action plan./ Balonov M., Konoplev A., Levins D., Rangelova V., Zheleznyak M., Zhukova O., Bohorad V., Bulgakov A., Campbell R., Janke R., Kanivets V., Niehaus F., Samiei M., Soroka Y., Korovin Y, Lavrova T., Voitsekhoitch O., Tsaturov Y., — Vienna : International Atomic Energy Agency, 2006. pp. 185 — (ISSN 1020–6566) STI/DOC/1230 ISBN 92–0–104905–6;
9. Радоэкология Украины [Текст] / Г.Д. Коваленко. – Харьков.: ИД «ИНЖЕК», 2013.- 344с.
10. Коровин, В.Ю. Влияние радиоактивных отходов хвостохранилища «Днепровское» на окружающую среду / В.Ю.Коровин, Г.А. Семенец, В.Н. Лебедев // В кн.: Материалы 1-ой международной конференции «Сотрудничество для решения проблем отходов» (г. Харьков, 5–6 февраля 2004 г.) : [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://waste.ua/cooperation/2004/thesis/korovin.html> (25 января 2015);
11. Сорока, Ю.Н. Оценка возможности доизвлечения урана из радиоактивных отходов хвосто- хранилища «Западное» / Ю.Н. Сорока, А.И. Молчанов, А.А. Подрезов, Е.А. Каулько, В.Ю. Коровин и др.// В кн.: Материалы 8-ой международной конференции «Сотрудничество для решения проблем отходов» (г. Харьков, 23–24 февраля 2011 г.) : [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://waste.ua/cooperation/2011/theses/soroka.html> (25 января 2015);
12. Нормы радиационной безопасности Украины, дополнение: Радиационная защита от источников потенциального облучения (НРБУ-97/Д-2000). – Киев: МЗ Украины, 2000.– 84;
13. ДСанПіН «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Київ, 2014

### REFERENCER

1. BfS-SW-09/11 Calculation Guide Mining. Calculation Guide for the Determination of Radiation Exposure due to Environmental Radioactivity Resulting from Mining. Department Radiation Protection and Environment. Salzgitter, 2011;
2. Normi radiatsiyanoi bezpeki Ukraini : (NRBU-97) [Radiation Safety Standards of Ukraine (RSSU-97)]. (in Ukrainian). – Available at: [http://www.dnaop.com/html/43243/doc-ДНАОП\\_-97/](http://www.dnaop.com/html/43243/doc-ДНАОП_-97/);
3. IAEA, Generic Models for use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment, Safety Reports Series #19, IAEA, Vienna (2000);
4. *Mezhdunarodnyie osnovnyie normyi bezopasnosti dlya zaschityi ot ioniziruyuschih izlucheniy i bezopasnogo obrascheniya s istochnikami izlucheniya* [International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources]. Vienna, IAEA. 1997, 383 p. (in Ukrainian);

5. Soroka J.N. *Pro rozrahunok effektivnih doz oprominennya vid maydanchikovih dzherel radioaktivnogo zabrudnennya teritoriyi* [On calculation of effective doses of area sources of radioactive contamination]. Health and Environment at the enterprises of mining and metallurgical complex. Coll. Science. Pr., vol. №1. Kryvyi Rig NDIBTH, 1999. - pp.12-21. (in Ukrainian);
6. COUNCIL DIRECTIVE 2013/59/EURATOM of 5 December 2013, laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation, and repealing Directives 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom and 2003/122/Euratom). Official Journal of the European Union 2014;
7. *Doklad o sostoyanii yadernoy i radiatsionnoy bezopasnosti v Ukraine v 2009-mu godu Gosudarstvennyiy Komitet Yadernogo regulirovaniya Ukrainyi* [Report on Nuclear and Radiation Safety in Ukraine in 2009-th year, the State Nuclear Regulatory Committee of Ukraine]. Kiev. 2009. 93 p. (in Ukrainian);
8. Balonov, M. Radiological conditions in the Dnieper River basin : assessment by an international expert team and recommendations for an action plan./ Balonov M., Konoplev A., Levins D., Rangelova V., Zheleznyak M., Zhukova O., Bohorad V., Bulgakov A., Campbell R., Janke R., Kanivets V., Niehaus F., Samiei M., Soroka Y., Korovin Y., Lavrova T., Voitsekhovitch O. and Tsaturov Y., — Vienna : International Atomic Energy Agency, 2006. pp. 185 — (ISSN 1020–6566) STI/DOC/1230 ISBN 92–0–104905–6;
9. Kovalenko G.D. *Radioekologiya Ukrainy* [Radioecology of Ukraine]. Kharkiv: ID «INZhEK», 2013, 344p. (in Russian);
10. Korovin V.Yu., Semenets G.A. and Lebedev V.N. *Vliyanie radioaktivnyih othodov hvostohranilyscha «Dneprovskoe» na okruzhayushchuyu sredu. V kn.: Materialy 1-oy mezhdunarodnoy konferentsii «Sotrudnichestvo dlya resheniya problem othodov» (g. Harkov, 5–6 fevralya 2004 g.)* [Proceedings of the 1st International conference «Cooperation for solving problems of waste» (Kharkiv, 5–6 February 2004)] - Available at: <http://waste.ua/cooperation/2004/thesis/korovin.html> (accessed 25 January 2015). (in Russian);
11. Soroka J.N., Molchanov A.I., Podrezov A.A., Kaul'ko E.A., Korovin V.J., Pogorelov J.N., Merkulov V.A., Valjaev A.M. *Otsenka vozmozhnosti doizvlecheniya urana iz radioaktivnyih othodov hvosto- hranilyscha «Zapadnoe»*. In: *Materialy 8-oy mezhdunarodnoj konferentsii «Sotrudnichestvo dlja reshenija problem othodov» (g. Har'kov, 23–24 fevralja 2011 g.)* [Proceedings of the 8th International conference «Cooperation for solving problems of waste» (Kharkiv, 5–6 February 2004)]. Available at: <http://waste.ua/cooperation/2011/theses/soroka.html> (accessed 25 January 2015).;
12. *Normy radiatsionnoy bezopasnosti Ukrainyi, dopolnenie: Radiatsionnaya zaschita ot istochnikov potentsialnogo oblucheniya (NRBU-97/D-2000)* [Radiation Safety Standards of Ukraine, in addition: Radiation protection of sources of potential exposure (NRBU-97 / A-2000)]. - Kiev: Health Ministry of Ukraine, 2000. 84 p. (in Ukrainian);
13. *DSanPIN «GIgIEnIchna klasifikatsiya pratsi za pokaznikami shkidlivosti ta nebezpechnosti faktoriv virobничого середовища, vazhkosti ta napruzhenosti trudovogo protsesu»* [STATE STANDARDS «Hygienic classification of work in terms of hazard and danger environment factors, severity and intensity of the work process» ]. Kiev, 2014 (in Ukrainian).

*Статья рекомендована к публикации д-ром. техн. наук, проф. А. С. Беликовым (Украина)*

Дата поступления рукописи в редколлегию 20.09.2016