

**МІНІСТЕРСТВО ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ ТА ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ
УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНА ЕКОЛОГІЧНА АКАДЕМІЯ ПІСЛЯДИПЛОМНОЇ ОСВІТИ
ТА УПРАВЛІННЯ**



СОРОКА ЮРІЙ МИКОЛАЙОВИЧ

УДК 504.055

**НАУКОВІ ОСНОВИ ЗАБЕСПЕЧЕННЯ
ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ ПОВОДЖЕННІ
З МАТЕРІАЛАМИ З ВМІСТОМ
ПРИРОДНИХ РАДІОНУКЛІДІВ**

Спеціальність 21.06.01 - екологічна безпека

Автореферат
дисертації на здобуття вченого ступеню
доктора технічних наук

Київ - 2021

Дисертація є кваліфікаційною науковою працею на правах рукопису.
Робота виконана у Дніпровському державному технічному університеті на кафедрі екології та охорони навколишнього середовища (м. Кам'янське)

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор
Зберовський Олександр Владиславович
Дніпровський державний технічний університет,
Міністерства освіти і науки України, завідувач кафедри екології та охорони навколишнього середовища

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Павличенко Артем Володимирович
завідувач кафедри екології та технології захисту навколишнього середовища
Національного технічного університету
«Дніпровська політехніка»

доктор фіз.-мат. наук, старший науковий співробітник,
лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки,
Ващенко Володимир Миколайович
Національний авіаційний університет,
завідувач НДР аероекології

доктор технічних наук, старший науковий співробітник,
Ольховик Юрій Олександрович
Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України»,
начальник відділу

Захист дисертації відбудеться “29” квітня 2021 р. об 11:00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.880.01 у Державній екологічній академії післядипломної освіти та управління за адресою: 03035, м. Київ, вул. Митрополита Василя Липківського, 35. корп. 2

З дисертацією можна ознайомитись у науковій бібліотеці Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління за адресою: 03035, м. Київ, вул. Митрополита Василя Липківського, 35. корп. 2 та на сайті www.dea.edu.ua

Автореферат розісланий “27” березня 2021 року

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради Д 26.880.01



Т.Г.Іващенко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Вимоги щодо забезпечення екологічної безпеки на підприємствах, де існує можливість опромінення персоналу чи населення радіоактивним матеріалом природного походження (РМПП), визначається сучасними нормативними документами Міжнародного агентства з атомної енергії (МАГАТЕ) та відповідними директивами ЄВРОАТОМА. Останньою редакцією «Основних стандартів безпеки» МАГАТЕ (далі BSS) визначено, що регулювання діяльності працівників з потенційним опроміненням РМПП практично не відрізняється від регулювання діяльності зі «штучними» (за визначенням НРБУ-97 – «індустріальними») джерелами опромінення.

Директивою ЄС 2013/59/ЄВРАТОМ від 05.12.2013 передбачається, що держави-члени ЄС повинні забезпечити ідентифікацію класів або типів діяльності, які передбачають використання РМПП та застосування яких приводить до опромінення працівників або осіб з населення, яким не можна знехтувати з точки зору радіаційного захисту. Нижченаведений список промислових секторів, що включають використання РМПП, в тому числі в ході досліджень та відповідних допоміжних процесів, має враховуватись при застосуванні Статті 23 Директиви, а саме: видобування рідкоземельних елементів з монацитів; видобування сполук торію та виробництво продуктів з вмістом торію; оброблення руди ніобію/танталу; видобування нафти та газу; промислова галузь видобування та обробки циркону та цирконію; виробництво фосфатних добрив; первинне видобування заліза та інші.

Окрім цього Директива вимагає, що вимоги щодо захисту від природних джерел випромінювання необхідно в повному обсязі інтегрувати у загальні вимоги безпеки, а не розглядати окремо у конкретному документі. Зокрема, галузі промисловості, які здійснюють оброблення радіоактивних матеріалів природного походження, повинні регулюватись в рамках тієї самої нормативно-правової бази, в рамках якої регулюються також інші види діяльності.

Існуюча на даний час в Україні нормативно-правова база щодо радіаційної безпеки та протирадіаційного захисту населення та персоналу підприємств, що здійснюють діяльність з використанням РМПП, в тому числі при поводженні з технологічним обладнанням, що має забруднення РМПП, на теперішній час представлена лише розділами № 16 - 19 «Основних санітарних правилах забезпечення радіаційної безпеки України» та частково НРБУ-97. Відповідно до Наказу Міністерства охорони здоров'я України (МОЗ) від 08.04.2014 № 248 введено в дію Державні санітарні норми та правила «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Відповідно до неї, на всіх підприємствах у випадках, передбачених законодавством, оцінюється дія іонізуючого випромінювання.

З метою покращення ситуації, що склалася в Україні з забезпеченням радіоекологічного та радіаційного захисту та з метою імплементації в національне законодавство України положень Директиви ЄС 2013/59/ЄВРАТОМ від 05.12.2013, прийнято Розпорядження КМ України №110-р від 18.02.15 «Про схвалення розроблених Державною інспекцією ядерного регулювання планів імплементації

деяких актів законодавства ЄС», що значно підвищує роль та актуальність проблеми радіоекологічної захисту населення та довкілля в Україні. Таким чином, розробка наукових основ забезпечення екологічної безпеки при поводженні з матеріалами з вмістом природних радіонуклідів є актуальною науково-прикладною проблемою, вирішенню якої присвячена дана дисертація.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана відповідно до плану науково-дослідних робіт Дніпровського Державного технічного університету (ДДТУ) у 2015-2020 р.р. за темами у яких автор брав участь як виконавець - «Моніторинг та оцінка впливу промислових підприємств на довкілля міста Дніпродзержинська» (№ ДР 0114U006556) та «Дослідження рівня екологічної безпеки техногенно навантажених територій Дніпропетровської області» (№ ДР 0115U006872). Окремі результати досліджень були отримані у 2004-2009 р.р. в рамках НДР за темами «Наукове обґрунтування оптимальних обсягів радіаційного моніторингу навколишнього середовища та помешкань населення в районі розміщення хвостосховищ відходів переробки уранових руд», шифр АМН Ф.03.05, (№ ДР 01050U02729) та «Вивчити вміст радону й продуктів його розпаду в шахтах Кривбасу й захворюваність підземних гірників раком легенів», шифр ХД 14.02.0008.95, (№ ДР 195U019827). Деякі результати отримані у 2001-2008 р.р. при виконанні НДР у якості керівника за проектами УНТЦ № 1160 «Дослідження ступеня радіаційного забруднення навколишнього середовища в місцях, де велось виробництво уранового концентрату, і розробка рекомендацій по реабілітації забруднених територій» і № 3290 «Обґрунтування шляхів зменшення переходу природних радіонуклідів у місцях добування і переробки урану».

Крім того, деякі результати були отримані у 1996-2000 роках при виконанні у якості керівника міжнародних проектів з МАГАТЕ (проекти № IAEA project t№ 8736/R0 «Radiation pollution studying of territories, infringed at mining and milling of ores, with the increased contents natural radionuclides, in Dniprovsky – Krivorojsky region», Co-ordinated Research Project IAEA «Site characterization techniques used in environmental restoration activities», 1995-1999 та IAEA project UKR 9/013 «Environmental Impact Assessment of Mining and Milling»), також регіональному проекту ЕС TACIS N G 4.2/93 - NUCREG 9308 «Assessment of Urgent Measures to be taken for Remediation at Uranium Mining and Milling Tailings in the CIS», 1996-1999.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є створення наукових основ та розробка практичних рішень з підвищення рівня екологічної безпеки населення та довкілля при поводженні з матеріалами з вмістом природних радіонуклідів.

Для досягнення мети дослідження були поставлені такі завдання:

- провести аналіз світового та вітчизняного досвіду організації екологічної захищеності населення та довкілля при поводженні з матеріалами з вмістом природних радіонуклідів;
- обґрунтувати принципи радіоекологічного захисту навколишнього середовища у місцях видобутку і переробки руд та при поводженні з матеріалами, які вміщують природні радіонукліди;
- дослідити вплив діяльності гірничодобувних підприємств на забруднення довкілля природними радіонуклідами;

- вивчити вплив радону на робітників, населення та забруднення навколишнього середовища в районі підприємств з видобутку та переробки руд та матеріалів;

- проаналізувати технологічні відходи промислового виробництва з вмістом природних радіонуклідів та провести дослідження з виявлення їх впливу на забруднення рекультиваційного покриття та навколишнього середовища;

- запропонувати стратегію та напрямки реабілітації навколишнього середовища на підприємствах, де були роботи з матеріалами з вмістом природних радіонуклідів та розробити пропозиції для цих підприємств щодо обґрунтування системи екологічного моніторингу природних радіонуклідів в компонентах навколишнього середовища;

- удосконалити методичну та нормативну бази, які підвищують ефективність екологічної безпеки на підприємствах, де існує можливість опромінення персоналу чи населення радіоактивним матеріалом природного походження.

Об'єктом дослідження є процеси формування, розповсюдження і оцінювання впливу радіоактивних матеріалів природного походження на довкілля, населення та персонал виробничих підприємств.

Предметом дослідження є методи, способи і засоби контролю та зниження радіаційного забруднення навколишнього середовища при поводженні з матеріалами з вмістом природних радіонуклідів.

Методи дослідження. В дисертаційній роботі використовувався комплекс наукових методів, що включав:

аналіз науково-технічної літератури, світового та вітчизняного досвіду – при формулюванні наукової проблеми та оцінці рівня екологічної захищеності населення та довкілля при поводженні з матеріалами з вмістом природних радіонуклідів;

експериментальні методи дослідження при польових вимірюваннях потужності еквівалентної дози гамма-випромінювання та еквівалентної рівноважної об'ємної активності радону та торону за допомогою радіометра РГА-09;

лабораторні методи альфа-спектрометрії для вимірювання ізотопів урану (^{234}U , ^{235}U , ^{238}U), альфа- і бета-радіометрії для визначання ізотопів ^{210}Po , ^{210}Pb і ^{230}Th , гамма-спектрометрія для вимірювання ексхаляції радону та використання твердотілих трекових детекторів для вимірювання об'ємної активності радону в повітрі;

методи екологічного моніторингу, моделювання та прогнозування для аналізу, оцінки та подальшого управління екологічною безпекою на підприємствах, де є роботи з радіоактивним матеріалом природного походження.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у розвитку наукових основ забезпечення екологічної безпеки при поводженні з матеріалами, вміщуючими природні радіонукліди, у одержанні на основі теоретичних узагальнень і результатів експериментальних досліджень закономірностей із встановлення параметрів небезпеки радіаційного забруднення шляхом розрахунку доз опромінення та оцінки радіаційного ризику для працівників та населення. При цьому:

уперше:

– запропоновано методологію аналізу ризику територій, що зазнали радіаційного забруднення природними радіонуклідами для прийняття рішень з питань реабілітації, яка є науковим підґрунтям прийняття управлінських рішень з визначення рівня очищення від радіаційного забруднення будівель і території та забезпечення радіоекологічної безпеки населення та навколишнього середовища;

– оцінено вплив ексхаляції радону на радіоактивне забруднення територій та приміщень і запропоновано норматив щільності потоку радону з поверхні території для типового будівництва не вище $80 \text{ мБк}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$, використання якого на територіях, на яких є вірогідність широкої зміни рівня ексхаляції радону з поверхні землі, суттєво підвищує рівень радіоекологічної безпеки населення;

– визначені залежності радіаційних параметрів безпеки в залізорудних шахтах від забруднення рудникового повітря радоном і природними радіонуклідами і створена класифікація таких шахт за рівнем радіаційної безпеки, яка є основою для створення системи радіаційного контролю в цих шахтах;

– розроблено точний і простий у виконанні метод вимірювання щільності потоку радону за допомогою пристрою для експозиції сорбенту (активоване вугілля) на поверхні, що еманує, з подальшим аналізом його на гамма-спектрометрі, що дозволяє проводити вимірювання інтегрального рівня ексхаляції радону від $4 \text{ мБк}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$ при похибці вимірювання не більше 20%.

удосконалено:

– методологію та основні параметри системи радіоекологічного моніторингу підприємств з видобутку та переробки руд та матеріалів, збагачених природними радіонуклідами, у якій єдиним інструментом для оцінки рівня забруднення від підприємства приймаються фонові значення визначених параметрів, оскільки це єдиний критерій якості для таких об'єктів;

– стратегію та напрямки реабілітації навколишнього середовища на підприємствах, де були роботи з матеріалами з вмістом природних радіонуклідів, що забезпечує радіоекологічну безпеку населення та навколишнього середовища та дотримання національних норм радіаційної безпеки, а також норм ЄС та рекомендацій МАГАТЕ;

набули подальшого розвитку:

– методична та нормативна бази визначення рівня екологічної безпеки на підприємствах, де існує можливість опромінення персоналу чи населення радіоактивним матеріалом природного походження, що дозволяє врахувати складні процеси радіоактивного забруднення довкілля та підвищує точність розрахунку доз опромінення персоналу і населення, що в свою чергу знижує ризики захворювань та підвищує якість життя людини.

Практичне значення отриманих результатів

Результати дослідження впроваджено в практику робіт з екологічного захисту населення і навколишнього середовища при видобутку і переробці руд, при поводженні з матеріалами з вмістом природних радіонуклідів, які використовуються у вигляді наступних офіційних нормативно-методичних документів:

– Санитарные правила ликвидации, консервации и перепрофилирования предприятий по добыче и переработке радиоактивных руд (СП ЛКП-91.

- Министерство здравоохранения СССР.1991. Издание официальное. М.-1991.-76 с.
- ДСП 3.3.1.038-99 Підприємства чорної металургії. Державні санітарні правила. - К., 1999. – 129 с.
 - Контроль радіаційної обстановки на залізорудних шахтах України - Настанова міністерства промислової політики України.// СОУ-Н МПП 17.240-046:2005. Мінпромполітики України. 2005. Видання офіційне. 14 с.
 - МВ 6.6.1.2.6.-136-2007 Методичні вказівки щодо радіаційно-гігієнічного регламентування проведення робіт на об'єктах колишнього Придніпровського хімічного заводу (ПХЗ). Видання офіційне. К. - 2007. - 31 с.
 - Профілактика професійного раку легень серед гірників, які зайняті підземним видобуванням радійвміщуючої залізної руди. (Методичні рекомендації) К., 2010. – 33 с.

Результати дисертаційних досліджень використано у проектах:

Проект «Розчищення р. Коноплянка з виконанням робіт для недопущення підтоплення хвостосховищ», Том 3, Радіаційна безпека, Книга 1, Пояснювальна записка, м. Жовті Води, 2015.

Проект«Забезпечення екологічно безпечного захоронення відходів та небезпечних хімічних речовин, ліквідація шламонакопичувача у балці Ясинова за адресою: вул. Горобця С.Х., 1К, м.Кам'янське. Реконструкція», Радіаційна безпека, Пояснювальна записка м. Жовті Води, 2019.

Результати дисертаційної роботи стосовно обґрунтування наукових досліджень на територіях забруднених при добуванні та переробці уранових руд впроваджено на ДП "БАР'ЄР" для оцінки рівня радіаційного забруднення території колишнього Придніпровського хімічного заводу природними радіонуклідами ряду урану з метою встановлення меж радіаційно - забруднених ділянок, які не проявлені зовні, що надає можливість оцінити екологічний ризик виникнення аварії та розробити технічні рішення для своєчасно попередження аварійних ситуацій.

Результати теоретичних і експериментальних досліджень дисертації використовуються в навчальному процесі Дніпровського державного технічного університету при проведенні лекційних та практичних занять з дисциплін «Радіоекологія» та «Інструментальний контроль навколишнього середовища».

Особистий внесок здобувача полягає у визначенні актуальності проблеми дослідження, виконанні завдання з аналітичного огляду інформації у розвитку радіаційної та екологічної безпеки населення та довкілля при добуванні та переробці руди та матеріалів, вміщаючих природні радіонукліди у світі, розробці сучасних методів радіоекологічного моніторингу підприємств. Автор самостійно визначив мету і розробив програми досліджень, обґрунтував методологічні принципи та методичні прийоми до вирішення поставлених завдань, сформулював принципи радіаційної та екологічної безпеки населення та довкілля при поводженні з матеріалами, вміщаючими природні радіонукліди в Україні.

Основні наукові положення, що містяться в дисертації, отримані автором самостійно і опубліковані одноосібно [5,8,11-13,20, 21, 27-29, 36-37, 42, 47, 57, 63, 75, 79, 81-82, 92-93, 97].

Внесок автора у наукові праці, які виконані у співавторстві, полягав:

- у формуванні ідеї, постановці мети та завдань щодо досліджень радіоактивного забруднення природними радіонуклідами територій [1, 3-4, 17, 22, 24, 25, 38-40, 43, 46, 53, 55-56, 61, 64, 67, 69, 71, 78, 84, 87, 95, 101];
- у розробленні методики розрахунку дозових навантажень на населення та робітників, виконанні розрахунків, інтерпретації результатів досліджень та формуванні висновків [10, 14, 35, 50, 60];
- у розробці методології оцінки ризиків небезпеки територій, забруднених природними радіонуклідами, узагальненні результатів, формуванні висновків [19, 32, 34, 45, 47-48, 66, 77];
- у формуванні мети та завдань радіоекологічного моніторингу, узагальненні результатів та оформленні висновків [15, 23, 26, 33, 72-74, 76, 83, 98-100, 103-104];
- у плануванні експериментів, розробленні методики і програми досліджень рівнів радону та торону у навколишньому середовищі, обробленні результатів та формуванні висновків [2, 6-7, 9, 16, 18, 30-31, 41, 49, 51-52, 54, 58-59, 62, 65, 68, 70, 85-86, 88-91, 94, 102, 105].

Апробація роботи. Основні положення та результати дисертації були представлені, доповідались та обговорювались на симпозіумах, науково-практичних конференціях, наукових нарадах: Die 25 Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz, 28-30 September 1993, Binz auf Rugen; Fifth International Conference «Radioactive waste management Environmental Remediation» ICEM' 95, (September 3-7, 1995, Berlin, Germany); «Экологические аспекты загрязнения окружающей среды». Международная научно-практической конференция (г.Киев, 26-28 марта, 1996); «Нормативно-правові аспекти оцінки і прогнозу екологічного стану довкілля адміністративних областей та адміністративних районів України». Науково-технічна конференція. (Крим, м. Алушта, 2-5 червня 1997); International Conference on Radioactive Waste Disposal (DisTec 2000) (Berlin, September 4-6, 2000. – Germany); Міжнародні науково-технічні конференції «Екологія і здоров'я людини. Охорона водного і повітряного басейнів. Утилізація відходів» (Щолкіно, Крим, 2001, 2005); XIV з'їзд гігієністів України. 19-21 травня 2004 року (Дніпропетровськ, 2004); International symposium «Uranium production & Raw materials for Nuclear Fuel Cycle. Supply and demand, economics, the Environment and energy security» (Vienna, Austria 20-24 June 2005); Міжнародні конференції «Екологічна безпека: Проблеми і шляхи вирішення.» (Алушта, Крим, 2005-2013, Харків. 2014-2018); International Conference «Radon In Environment 2010» (Zakopane, Poland, 2010); VII Всеукраїнська наукова конференція «Проблеми гідрології, гідрохімії, гідро екології», присвячена 100-річчю від дня заснування Національної академії наук України (23-24 листопада 2018 р., м. Київ).

Публікації: За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 105 наукових праць, у тому числі 1 монографія, 49 статей у наукових фахових виданнях України, з них 12 статей включені до міжнародних наукометричних баз Scopus та Web of Science, 18 статей у інших вітчизняних та міжнародних періодичних виданнях, 1 патент України, 30 тез доповідей у збірниках матеріалів конференцій та у 5 нормативно-методичних документах.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, шести розділів (які містять 32 рисунки і 74 таблиць), висновків, списку використаних джерел і 8 додатків. Матеріали дисертації викладено на 320 сторінках друкованого тексту. Список використаних джерел містить 295 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми та сформульована її мета, задачі, предмет і об'єкт дослідження, подана наукова новизна отриманих результатів та їх практичне значення, представлені наукові положення, що виносяться на захист, а також відомості про практичне значення та публікації за темою дисертації.

Перший розділ присвячено огляду та аналізу науково-технічної літератури про сучасні методи радіаційного та екологічного захисту населення та довкілля при поводженні з матеріалами з вмістом природних радіонуклідів.

Визначено труднощі при поводженні з відходами при видобутку і переробці руд та матеріалів, які вміщують природні радіонукліди

Оцінено сучасний стан моніторингу радіаційного забруднення навколишнього середовища в місцях видобутку і переробки руд та матеріалів. Відзначені недоліки у реабілітації забруднених природними радіонуклідами територій. Відзначено значний вклад в розробку радіаційної безпеки населення та довкілля при добуванні та переробці руди, збагаченої природними радіонуклідами таких вчених як Мосінец В.М., Лисиченко Г.В., Коваленко Г.Д., Барбашев С.В., Авдєєв О.К., Громок Л.І., Кретинин А.В., Мельниченко В.М., Гагауз П.Г., Гладир В.В. Лось І.П., Павленко Т.О., Бузинний М.Г., Беднарик О.М., Яковлєв С.В. та багатьох інших. В першому розділі визначено і обґрунтовані мета, предмет, об'єкт та основні завдання роботи та вибрані напрямки їх вирішення. За результатами, наведеними у розділі, сформульовано методологію досліджень (рис.1.).

У другому розділі представлено методичні основи екологічного захисту навколишнього середовища при поводженні з матеріалами та рудами, які вміщують природні радіонукліди.

Наведено, що стосовно до радіаційно-забруднених територій застосовується підхід, заснований на дозах опромінення. Дозовий підхід повною мірою відповідає світовій практиці прийняття рішень про реабілітацію територій на основі концепції ризику. Приведена методологія оцінки доз опромінення населення та робітників з урахуванням цілей використання територій, що зазнали радіоактивного забруднення та шляхів опромінення. На забруднених ділянках потенційними шляхами впливу природних радіонуклідів на людину запропоновано використовувати наступні:

- пряме надходження ґрунту через органи травлення;
- інгаляція пилу;
- споживання питної води забрудненої внаслідок міграції радіонуклідів з ґрунту у водоносні горизонти;

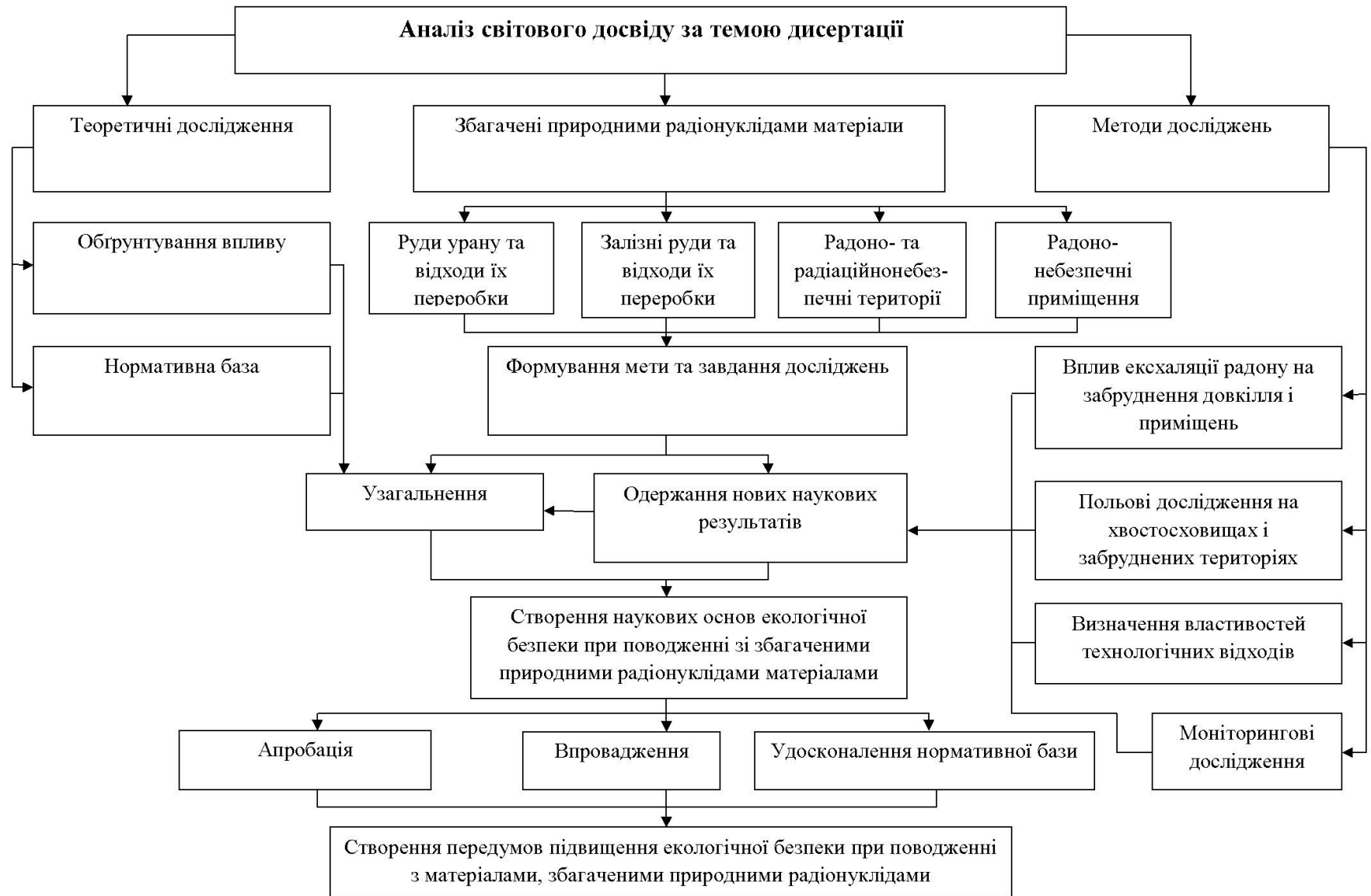


Рис.1 Методологія проведення дисертаційних досліджень

- забруднення шкіри при знаходженні на забруднених ділянках;
- споживання місцевої сільськогосподарської продукції;
- надходження внаслідок еманції радіоактивних газів (радон, торон) в приміщення будівель та навколишнє середовище;
- зовнішнє опромінення від радіонуклідів, що містяться в ґрунті.

Залежно від шляхів опромінення і сценаріїв, які можуть бути в кожному конкретному випадку, визначають ефективні дози опромінення персоналу або населення. Виходячи з цього, розраховані величини ризику для різних варіантів доз опромінення працівників та населення (табл.1).

Таблиця 1

Розрахункові значення індивідуального ризику для
працівників і населення.

Величина ефективної дози, мЗв·рік ⁻¹	Ризики працівників (персоналу) при отриманні ефективної дози, рік ⁻¹	Ризики населення при отриманні ефективної дози, рік ⁻¹
0,01	$4,2 \cdot 10^{-7}$	$5,7 \cdot 10^{-7}$
0,3	$1,3 \cdot 10^{-5}$	$1,7 \cdot 10^{-5}$
1,0	$4,2 \cdot 10^{-5}$	$5,7 \cdot 10^{-5}$
5,0	$2,1 \cdot 10^{-4}$	$2,8 \cdot 10^{-4}$
10,0	$4,2 \cdot 10^{-4}$	$5,7 \cdot 10^{-4}$
25,0	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$

Наведено, що при ефективній дозі 10 мкЗв · рік⁻¹ буде нехтуваний ризик і це в жодному разі прийнятно. При ефективній дозі рівній 0,3 мЗв · рік⁻¹ досягається величина прийнятного ризику для населення, а при величині ефективної дози 1 мЗв · рік⁻¹ він сягатиме межі індивідуального ризику.

Наведено, що при оптимізації захисту слід застосувати підхід, який включає оцінку опромінення працівників в ході діяльності з очищення території та оцінку довготривалого опромінення населення після очищення (реабілітації) і звільнення від регулюючого контролю. Додатково доведено, що потрібно також розглядати сценарій, коли працівник працює на даній території після реабілітації. Дана оцінка повинна не перевищувати для працівників та населення граничних доз, визначених регулюючим органом.

Відповідно до методології аналізу та управління ризиками на радіаційно - забруднених територіях встановлена наступна категоризація:

1. Доза E_1 дорівнює 10 мкЗв · рік⁻¹ і менш, тобто зневажливо малому рівню ризику (R_1 рівняється $4 \cdot 10^{-5}$ за життя для населення і $2 \cdot 10^{-5}$ для працівників), при якому джерела радіаційного ризику виводяться зі сфери контролю, як такі, що не чинять будь-якого значимого впливу на здоров'я населення.

2. Доза E_2 дорівнює 0,3 мЗв · рік⁻¹ - відповідає граничній дозі для необмеженого використання майданчиків.

3. Доза E_3 дорівнює 1 мЗв · рік⁻¹. У цьому випадку можливе обмежене використання території за умови неперевищення межі дози для населення при рекомендованому способі землекористування.

4. Доза E_4 дорівнює $10 \text{ мЗв} \cdot \text{рік}^{-1}$ - визначається з умови можливого (потенційного) перевищення дози опромінення критичної групи населення. У табл. 2 наведено критерії втручання для радіаційно - забруднених територій.

Таким чином обрентовано застосування методології аналізу та управління ризиками для екологічного захисту навколишнього середовища при видобутку і переробці матеріалів та руд з підвищеним вмістом природних радіонуклідів.

Таблиця 2

Критерії втручання для радіаційно - забруднених територій

Рівень втручання	Функціональне призначення території		
	Землі населених пунктів, селитебна зона	Землі санітарно - захисних зон підприємств і зон спостереження	Землі проммайданчиків підприємств та їх об'єктів.
Втручання не потрібно	Доза менше $0,3 \text{ мЗв} \cdot \text{рік}^{-1}$. Межа індивідуального ризику менше $1,7 \cdot 10^{-5} \text{ рік}^{-1}$	Ефективна доза менше $1,0 \text{ мЗв} \cdot \text{рік}^{-1}$. Межа індивідуального ризику менше $5,7 \cdot 10^{-5} \text{ рік}^{-1}$	Ефективна доза менше $5,0 \text{ мЗв} \cdot \text{рік}^{-1}$. Межа індивідуального ризику менше $2,1 \cdot 10^{-4} \text{ рік}^{-1}$
Потрібне обрентування втручання. Детальне радіаційне обстеження території та об'єктів підприємства, організація радіоекологічного моніторингу, обрентування застосування обмеження діяльності, виконання захисних і реабілітаційних заходів	Ефективна доза більше $1,0 \text{ мЗв} \cdot \text{рік}^{-1}$. Індивідуальний ризик перевищує $5,7 \cdot 10^{-5} \text{ рік}^{-1}$	Ефективна доза більше $1,0 \text{ мЗв} \cdot \text{рік}^{-1}$ за будь-які послідовні п'ять років. Індивідуальний ризик перевищує $5,7 \cdot 10^{-5} \text{ рік}^{-1}$	Ефективна доза більше $5,0 \text{ мЗв} \cdot \text{рік}^{-1}$. Індивідуальний ризик перевищує $2,1 \cdot 10^{-4} \text{ рік}^{-1}$. Деякі об'єкти вимагають захисних заходів.
Втручання обов'язкове. Постійний радіоекологічний контроль і моніторинг. Організація робіт з дезактивації території та ліквідації радіоактивних відходів видобування та переробки руд та матеріалів.	Ефективна доза більше $5,0 \text{ мЗв} \cdot \text{рік}^{-1}$. Індивідуальний ризик перевищує $2,8 \cdot 10^{-4} \text{ рік}^{-1}$. Окремі елементи території або об'єкти довкілля містять радіоактивні відходи видобування та переробки руд та матеріалів.	Ефективна доза більше $5,0 \text{ мЗв} \cdot \text{рік}^{-1}$. Індивідуальний ризик перевищує $2,8 \cdot 10^{-4} \text{ рік}^{-1}$. Окремі елементи території або об'єкти довкілля містять радіоактивні відходи видобування та переробки руд та матеріалів.	Ефективна доза більше $10,0 \text{ мЗв} \cdot \text{рік}^{-1}$. Індивідуальний ризик перевищує $4,2 \cdot 10^{-4} \text{ рік}^{-1}$. Окремі елементи території або об'єкти довкілля містять радіоактивні відходи видобування та переробки руд та матеріалів.

Виконання реабілітаційних заходів на уранових об'єктах є завжди втручанням в нормальну життєдіяльність людей або в сферу соціально-побутових, культурних та господарських відносин на території об'єкта. Основою для прийняття рішення щодо доцільності проведення того чи іншого заходу є оцінка та порівняння загального збитку (соціального, економічного, здоров'ю), заподіяної цим заходом, з користю для здоров'я за рахунок відвернутої цим заходом дози опромінення. Найбільш визнаним в даний час є метод оптимізації радіаційного захисту від різних заходів на основі аналізу співвідношення витрати - вигода. Характерна особливість аналізу витрати - вигода полягає в тому, що фактори, які впливають на рішення і досліджуються в процесі оптимізації, виражаються в грошовому вираженні. У зв'язку з цим цей метод використовується за умови перетворення колективної дози на населення в її грошовий еквівалент, використовуючи при цьому вартість одиниці колективної дози.

Для аналізу оптимізації реабілітаційних заходів запропоновано використовувати наступне рівняння:

$$B = V - (P + X + Y + R) + N \quad (1)$$

де V - чиста користь від даної діяльності;

V - повна користь радіаційної природи (радіаційний збиток), що представляє собою грошовий еквівалент колективної дози, яка буде попереджена внаслідок застосування реабілітаційних заходів;

P - основні витрати на проведення реабілітаційних заходів;

X - грошовий еквівалент фізичних і радіаційних ризиків для населення і персоналу, що виникають внаслідок виконання реабілітаційних заходів;

Y - витрати на утилізацію радіоактивних відходів, які утворилися внаслідок проведення реабілітаційних заходів;

R - витрати на проведення радіаційного моніторингу при різних варіантах радіаційного захисту під час і після проведення реабілітаційних заходів;

N - грошовий еквівалент додаткової вигоди (користі) нерадіологічної природи, яка буде отримана внаслідок проведення реабілітаційних заходів.

Значення показника V визначається наступним чином:

$$V = \alpha \cdot S_E, \quad (2)$$

де S_E - відвернена колективна доза опромінення, людино \cdot Зв.

α - вартість одиниці колективної дози опромінення, грн \cdot людино $^{-1} \cdot$ Зв $^{-1}$.

Дана методологія була апробована на прикладі виконання реабілітаційних робіт в м. Жовті Води, де розглядалося три сценарії:

- очищення забрудненої території міста до залишкового значення потужності еквівалентної дози гамма випромінювання (ПЕД) на ній 0,40 мкЗв \cdot год $^{-1}$;

- очищення забрудненої території міста до залишкового значення ПЕД на ній 0,30 мкЗв \cdot год $^{-1}$;

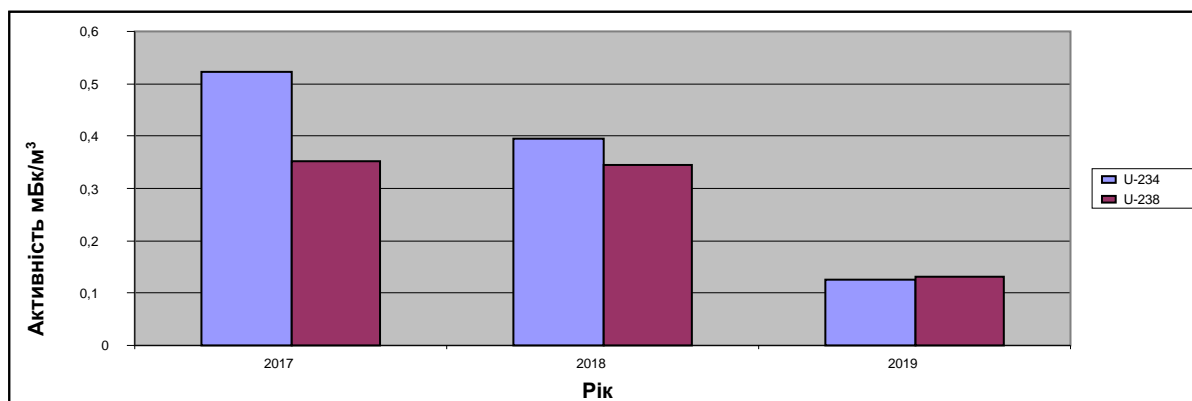
- очищення забрудненої території міста до фонових значень ПЕД.

Згідно виконаних розрахунків по цій методиці оптимізації радіаційного захисту доведено, що найбільша віддача вкладених коштів досягається при виконанні реабілітаційних заходів до залишкової потужності еквівалентної дози гамма випромінювання на реабілітованих території, що дорівнює 0,30 мкЗв \cdot год $^{-1}$. Відновлення забрудненої території до фонових значень неефективне і не відповідає принципу ALARA.

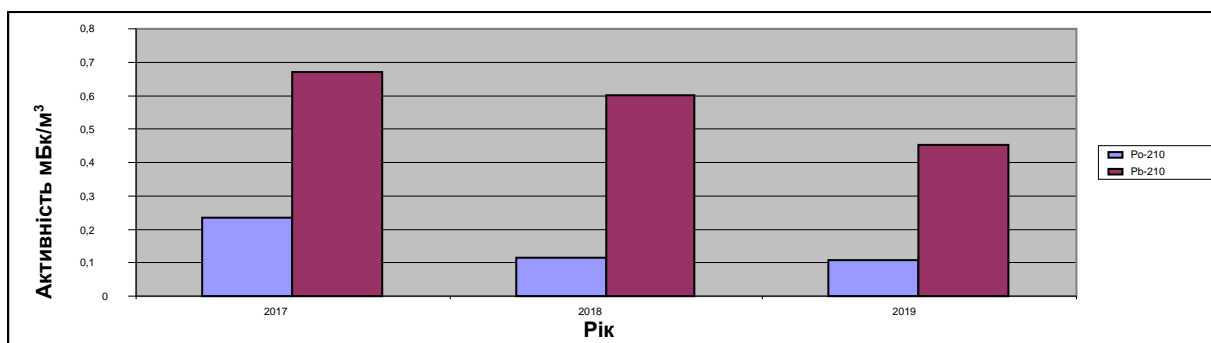
У третьому розділі наведено методики та результати проведення експериментальних досліджень з виявлення впливу діяльності підприємств на забруднення довкілля природними радіонуклідами. Експериментальні методи включали польові вимірювання потужності еквівалентної дози гамма - випромінювання на місцевості, у приміщеннях та гірничих виробках, а також дослідження еквівалентної рівноважної об'ємної активності радону та торону у повітрі. Також у польових умовах застосовувалась еманация та емісійна радонова зйомка та трекова дозиметрія радону. У лабораторних умовах активності гамма-випромінюючих радіонуклідів у відібраних пробах матеріалів (^{210}Pb , ^{230}Th , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K) вимірювалися на гамма-спектрометричному комплексі "ORTEC", а активності ^{238}U та ^{234}U - на α -спектрометричному комплексі "ORTEC".

Вимірювання активності ^{210}Pb та ^{210}Po виконувалися після хімічної підготовки на низькофоновому лічильнику альфа-бета випромінювання УМФ-2000.

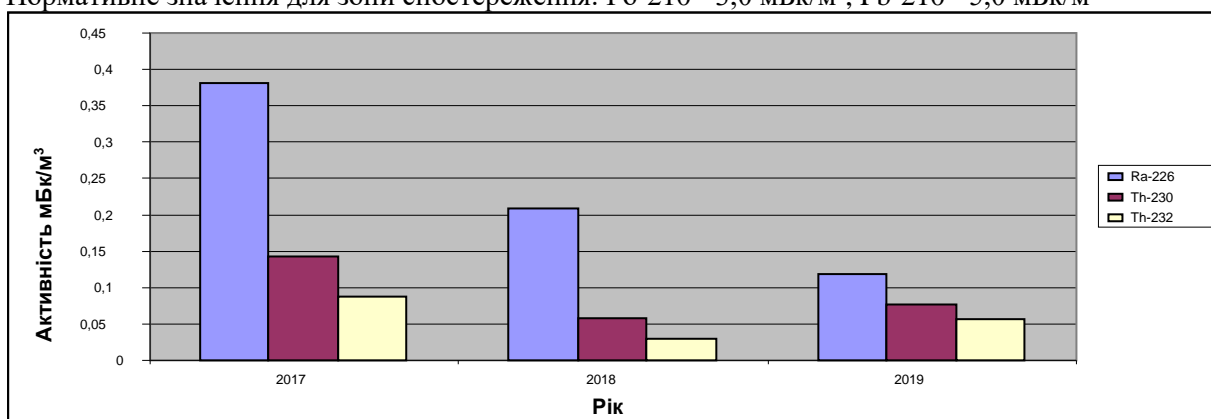
З 2009 по 2018 рік дослідження радіаційного забруднення повітря природними радіонуклідами ряду урану проводилися на Інгульській шахті ДП «СхідГЗК», а з 2016 року і у СЗЗ та зоні спостереження хвостосховища «Щ» у м. Жовті Води (рис.2).



Нормативне значення для зони спостереження: U-234 - 2,0 мБк/м³, U-238 - 3,0 мБк/м³



Нормативне значення для зони спостереження: Po-210 - 3,0 мБк/м³, Pb-210 - 5,0 мБк/м³



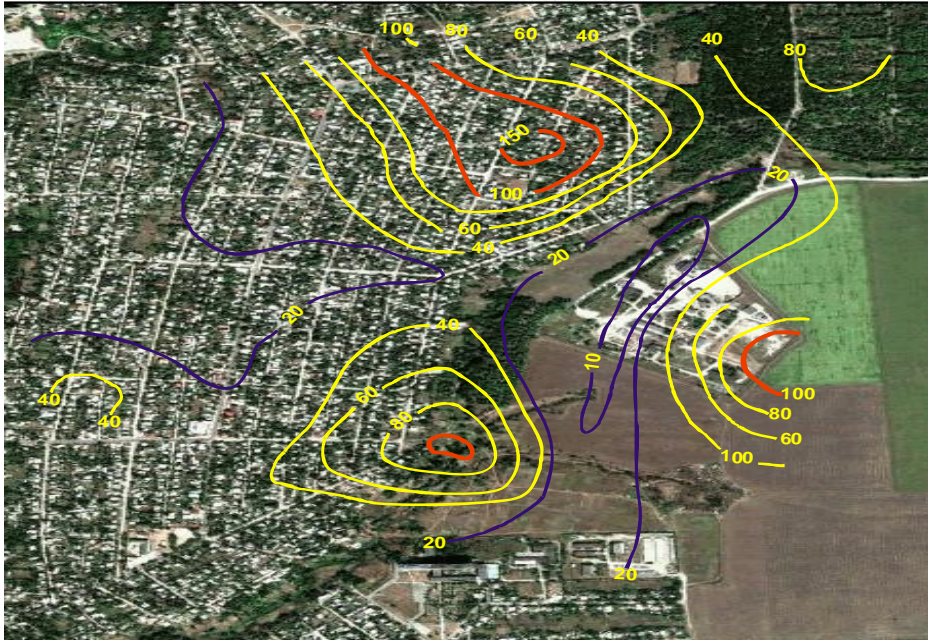
Нормативне значення для зони спостереження: Ra-226 - 0,7 мБк/м³, Th-230 - 0,4 мБк/м³, Th-232 - 0,4 мБк/м³

Рис. 2. Моніторинг річної об'ємної активності природних радіонуклідів в повітрі в 2016-2019 роках у точці спостереження (х. Козацький) у зоні спостереження хвостосховища «Щ».

За весь час спостережень було зафіксовано кілька одиничних перевищень допустимих концентрацій, причому середньорічні рівні об'ємної активності ПРН не

перевищували допустимих і знаходяться на рівні фонових. Забруднення ґрунту, рослинності також знаходиться на рівні фонових значень.

Проведено за допомогою метода трекової дозиметрії дослідження впливу викидів радону з вентиляційного стовбура шахти «Центральна» на радонове забруднення території м. Кіровоград і території проммайданчика, а також у м. Жовті Води, де розташовується переробка уранових руд. Ізолінії інтегральної об'ємної активності радону у районі шахти «Центральна» приведені на рис. 3.



- ізолінії інтегральної об'ємної активності радону, Бк/м³

Рис. 3. Результати дослідження інтегральної об'ємної активності радону у районі шахти «Центральна».

Доведено, що при середньому фоновому значенні 13,2 Бк/м³, значення активності радону в досліджуваних районах в більш ніж чотири рази перевищують фонові значення та джерело викиду радону потрібно враховувати в складі систем радіаційного моніторингу.

Першим підприємством в Україні, зайнятим видобутком і переробкою уранових руд, було гірниче підприємство «Первомайське». Підприємство було розташоване у Кривому Розі і розробляло Первомайське родовище уранових руд. В кінці 60-х років видобуток уранових руд на підприємстві припинилася, а на шахті «Об'єднана» тривав видобуток залізних руд. На початку 1998 року на гірничому підприємстві було закінчено видобуток залізних руд і розпочато роботи по його ліквідації. Загальна площа території гірничого підприємства, що підлягає рекультивації, складає 68,5 га. В результаті діяльності уранодобувного підприємства відбулося забруднення навколишнього середовища. Воно обумовлено наступними факторами: просипи руди, забруднена шахтна вода, вилуговування природних радіонуклідів з руд, неконтрольоване використання відходів для інших цілей і пилове забруднення. Сумарна альфа-активність рудно-ґрунтової суміші коливається від 313 Бк·кг⁻¹ до 4,06·10⁵ Бк·кг⁻¹, вміст Ra-226 – от 110 до 5,35·10⁴ Бк·кг⁻¹. По розташованій на території підприємства балці «Грядковата» протікає струмок, що

впадає в р. Саксагань. Для оцінки забруднення вод струмка були проведені дослідження проб води з нього після закінчення дощу шляхом відбору однієї з проб вище проммайданчика підприємства за течією струмка, інша – нижче проммайданчика. Результати аналізу проб води наведені в табл. 3.

Таблиця 3

Активність природних радіонуклідів в пробах води струмка балки «Грядковата» і р. Саксагань.

Місце відбору проби води	Активність природних радіонуклідів, мБк/л				
	$\Sigma\alpha$	^{238}U	^{226}Ra	^{210}Pb	^{210}Po
Вище проммайданчика	<400	33±2	45±11	<12	7±1,4
Нижче проммайданчика	2320±95 0	1200±260	90±18	<11	2±0,6
Р. Саксагань (Фон)	320±25	30±4	15±3	4±1	0,7±0,3
Р. Саксагань (Кресовское водосховище)	820±28	55±6	7±4	<11	1,1±0,5

Результати аналізу проб підтвердили факт забруднення води струмка природними радіонуклідами. Найбільш інтенсивно йде змив урану і радію, як найбільш небезпечних нуклідів, що мають високі міграційні властивості. В даний час підприємство (шахта «Першотравнева») переведено в режим гідрозахисту, тобто виконує відкачування води з метою захисту розташованого поруч кар'єра від затоплення і забудови території міста від підтоплення та за чинною схемою забруднені шахтні води подаються на хвостосховище ВАТ «Північний ГЗК», розташоване на відстані 7 км від шахти.

В четвертому розділі розглянуті проблеми опромінення робітників та населення радоном. Процес виділення радону або торону з поверхні гірських порід, ґрунту, води, рослинності в атмосферу називається ексхалляцією. Кількісно ексхалляція визначається щільністю потоку радону або торону і виражається в одиницях активності радіоактивного газу, що виділяється з одиниці поверхні в одиницю часу.

Розроблено точний і простий у виконанні метод вимірювання щільності потоку радону за допомогою пристрою (рис.4) для експозиції сорбенту (активоване вугілля) на поверхні, що еманує, з подальшим аналізом його на гамма-спектрометрі. Пропонований метод відрізняється від відомих трьома принциповими особливостями:

- активоване вугілля експонується у відкритій касеті, яка має зв'язок з атмосферою, що дозволяє вимірювати повний потік радону (конвекційна + дифузійна складові), а не тільки його дифузійну складову;
- виключається пересипання вугілля відразу після експонування, що запобігає втраті сорбованої радону;
- вугілля експонується не на самій вимірюваної поверхні, а на відстані 0,5 см, що дає можливість уникнути забруднення вугілля і зменшити зміну коефіцієнта сорбції при вимірюванні сильно зволжених ґрунтів.

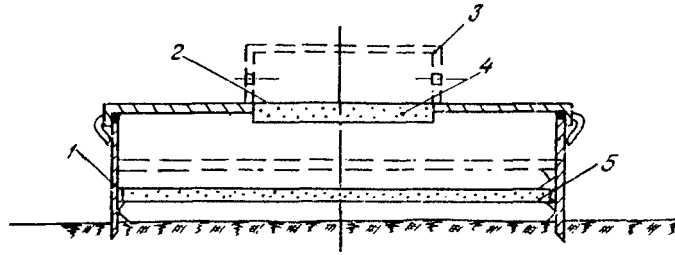


Рис. 4 Пристрій для вимірювання щільності потоку радону

1 - корпус; 2 - протипиловий фільтр; 3 – захисна кришка, що встановлюється під час дощу; 4-запобіжний вугільний патрон; 5 – вимірювальна касета з сорбентом

За результатами спектрометричних вимірювань активності ^{222}Rn щільність потоку R_s , $\text{Бк}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$ визначається за формулою

$$R_s = \frac{q_{Rn}}{S_g \cdot T_{ex} \cdot k_{sor}} \quad (3)$$

де q_{Rn} – активність ^{222}Rn в вимірюваному активованому вугіллі, Бк.

S_g - площа вимірювальної касети з сорбентом, м^2 ;

k_{sor} - коефіцієнт сорбції радону активованим вугіллям, відн. од.

T_{ex} - час експозиції, с.

Проведені експериментальні дослідження коефіцієнту сорбції радону активованим вугіллям для кожної використовуваної марки вугілля. У лабораторних умовах визначався коефіцієнт сорбції активованого вугілля марки СКТ. Попередньо знаходили оптимальну товщину шару вугілля, що впливає на загальну кількість активованого вугілля, необхідного для ефективної сорбції радіоактивних газів, що віддаються ділянкою поверхні.

За результатами вимірювань встановлено (рис. 5), що оптимальна товщина шару вугілля $0,7 \text{ г}\cdot\text{см}^{-2}$.

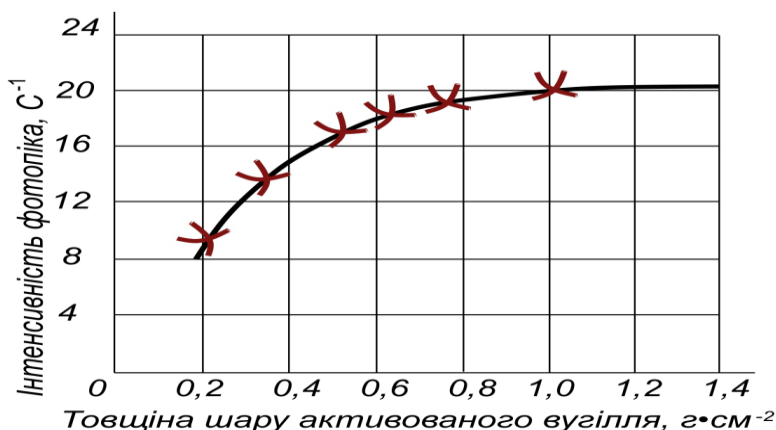


Рис. 5. Залежність ефективності сорбції активованого вугілля від його товщини.

Подальше збільшення шару вугілля не призводить до істотного збільшення кількості сорбованого радону і в подальшому використовували шар встановленої

товщини. що дозволяє при коефіцієнті сорбції 98,5% всього ^{222}Rn проводити моніторингові вимірювання інтегрального рівня ексхаляції від $4 \text{ мБк}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$ при похибці вимірювання не більше 20%.

Найважливішим фактором надходження радону в житлові будинки, як довели проведені дослідження, є аномальна ексхаляція радону з поверхні ґрунтів. В одному з селищ, де розташовано підприємство з видобутку та переробки вольфрамових руд, було проведено радонові дослідження в житлових будинках, які показали, що найвищі концентрації радону-222 відзначені в декількох будинках селища складають від 10 000 до 56 990 $\text{Бк}\cdot\text{м}^{-3}$.

Проведеними дослідженнями за допомогою розробленого методу вимірювання щільності потоку радону у комплексі з вимірюванням потужності дози гамма-випромінювання(рис.6) доведено, що аномальні концентрації радону обумовлені впливом тільки ексхаляції радону з поверхні ґрунтів. Вимірювання щільності потоку радону-222 з земної поверхні біля цих будинків виявили наявність потужного "радонового факела", який обумовлений зоною геологічного розлому. Значення щільності потоку радону-222 тут перебували в інтервалі від 0,2 до 2,2 $\text{Бк}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$ (рис.7).

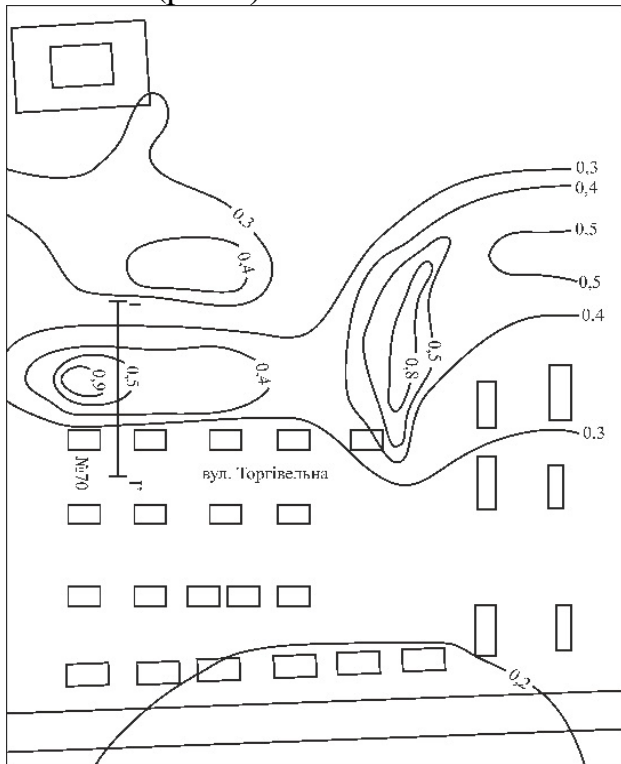


Рис.6 Ізолінії рівнів потужності дози гамма-випромінювання на території частини селища, $\text{мкЗв}\cdot\text{год}^{-1}$

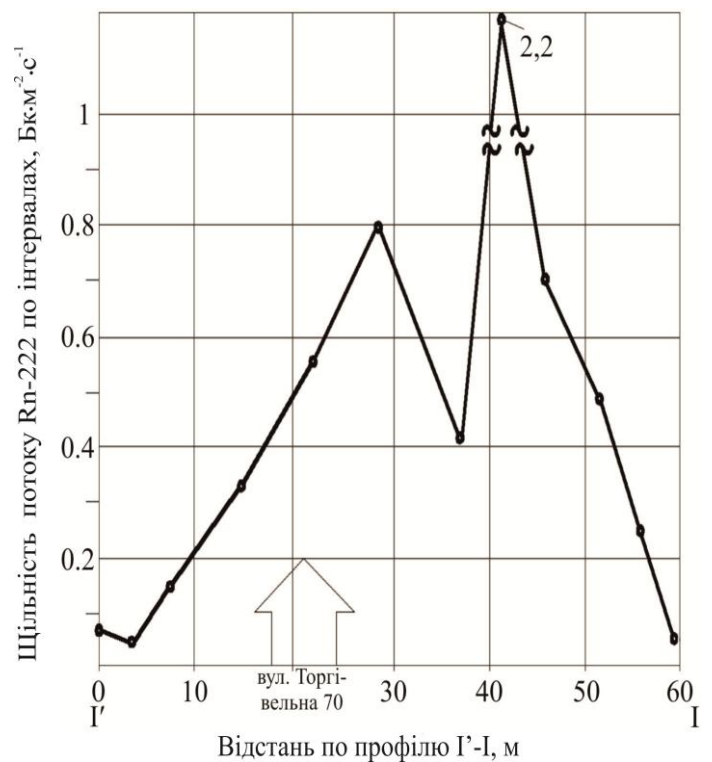


Рис. 7 Щільність потоку по профілю I-I згідно рис.6

Для оцінки впливу ексхаляції радону на забруднення навколишнього середовища і можливе підвищення вмісту радону у житлових приміщеннях були проведені дослідження із застосуванням розробленого методу в різних районах видобутку і переробки уранових руд (табл. 4.). Як показали дослідження, значення щільності потоку радону змінюються в дуже широких діапазонах і це необхідно

враховувати як при рекультивації цих забруднених територій, так і при будівництві на них.

Таблиця 4

Значення щільності потоку радону з територій у районах
видобутку і переробки уранових руд

Район вимірювання	Тип ґрунту або порід	Щільність потоку радону, мБк·м ⁻² ·с ⁻¹
1	2	3
1. м. Жовті Води, Дніпропетровська обл.		
1.1 Техногенно-порушена ділянка, відведена під забудову	Чорнозем	17-36
1.2 Рекультивована територія шахти «Ольховська»	Суміш ґрунтів	25-553
1.3 Поверхня підпільного простору одного зі старих приватних будинків	Суміш ґрунтів	25-58
1.4 Поверхня хвостосховища «КБЖ»	Хвости	50-3000
2. м. Кіровоград, Інгульський рудник		
2.1 Поверхня відвалу порожніх порід	Скальні породи	34-39
2.2 Поверхня відвалу позабалансових руд	Руди	224-326
2.3 Фонове вимірювання	Суглинок	20
3. смт. Смоліне, Кіровоградська область Смолінський рудник.		
Колишня територія відвалу, призначена для будівництва	Суміш скельних порід і ґрунту	32-112
4. м. Дніпродзержинськ, Дніпропетровська область, Придніпровський хімічний завод		
4.1 Поверхня хвостосховища «С». Секція 1.	Хвости	1000
4.2 Поверхня хвостосховища «С». Секція 2.	Хвости, покриті шаром фосфогіпсу	300
4.3 Поверхня законсервованого хвостосховища на території ПХЗ	Захисне рекультиваційне покриття	32-1500
4.4 Незабруднена поверхню землі на території ПХЗ	Чорнозем	9-18
5. м. Брест. Білорусь Станція перевантаження уранових руд		
5.1 Об'єкт 802	Суміш порід і піску	30-1002
5.2 Об'єкт «Західний»	Суміш порід і піску	25-260
5.3 Фоновий вимір	Пісок	17
6. м. Кривий Ріг, Дніпропетровська область Шахта «Першотравнева»		
6.1 Територія колишньої шахти «2/6»	Техногенний ґрунт	93-4050
6.2 Територія шахти «Північна-Вентиляційна»	Техногенний ґрунт	43-860
6.3 Фонове вимірювання	Чорнозем	28

За результатами вимірювань в польових умовах значень ексхаляції радону очікувану ЕРОА радону в повітрі житлових приміщень першого поверху майбутніх будівель можна визначити за формулою

$$E_{Rn} = [C_a + \frac{(3,6 \cdot 10^3 \cdot q_{Rn} \cdot K_c)}{\lambda_v \cdot H}] \cdot F \quad (4)$$

де E_{Rn} – ефективна рівноважна об'ємна активність радону в приміщенні, Бк·м⁻³;
 C_a - концентрація радону в атмосферному повітрі, що використовується для провітрювання, Бк·м⁻³;
 q_{Rn} – щільність потоку радону з ґрунту, Бк·м⁻²·с⁻¹;
 H – висота приміщення, м;
 λ_v – швидкість повітрообміну, ч⁻¹;
 K_c – коефіцієнт зміни потоку підлогою і фундаментом;
 F – коефіцієнт рівноваги в приміщенні який дорівнює відношенню еквівалентної рівноважної об'ємної активності радону в повітрі до реальної об'ємної активності радону.

Формула застосована для рівноважного стану в припущенні відсутності потоку радону з будівельних конструкцій. Виходячи з нормованої умови обов'язкових дій для середньорічної ЕРОА ²²²Rn в повітрі приміщень, що дорівнює 50 Бк·м⁻³, середньої концентрації радону в атмосферному повітрі України, яка дорівнює 10 Бк·м⁻³, висоти приміщення 3 м і значень $F = 0,4$, $K = 1$, $\lambda_v = 0,7$ ч⁻¹ середньорічна щільність потоку радону з ґрунту обмежена значенням 40 мБк·м⁻²·с⁻¹. Запропоновано норматив щільності потоку радону з поверхні території для типового будівництва не вище 80 мБк·м⁻²·с⁻¹, використання якого на територіях, на яких є вірогідність широкої зміни рівня ексхалції радону з поверхні землі, суттєво підвищує рівень радіоекологічної безпеки населення. У табл. 5 наведена розроблена класифікація ділянок територій для забудови за ступенем радононебезпеки

Таблиця 5

Класифікація ділянок територій, що забудовуються,
за ступенем радононебезпеки

Категорія	Щільність потоку радону з поверхні землі, мБк·м ⁻² ·с ⁻¹	Вимоги до території, призначеної для будівництва	Вимоги до конструкції будівель
I	1-40	Можлива забудова без обмежень	–
II	40-80	Будівництво будівель повинно вестися за умови ретельного радіаційного контролю території	Виведення сантехнічних мереж в окремі вентилязовані канали з герметизацією місць введення труб в житлові приміщення. Ізоляція підлоги першого поверху за допомогою рулонних полімерних матеріалів. Вентиляція підвальних приміщень.
III	80-200	Будівництво будівель і споруд здійснюється тільки за спеціальними проектами з проведенням оптимізації радіаційного захисту	Перший поверх бажано використовувати під магазини, пункти громадського харчування, гаражі. Всі приміщення повинні бути обладнані примусовою

Категорія	Щільність потоку радону з поверхні землі, МБк·м ⁻² ·с ⁻¹	Вимоги до території, призначеної для будівництва	Вимоги до конструкції будівель
			вентиляцією
IV	> 200	Забороняються всі види будівництва	–

Проведено дослідження радіаційних факторів у шахтах Криворізького залізорудного басейну і доведено, що на більшості шахт басейну є радонова проблема. Доведено, що перевищення нормативного значення по еквівалентній рівноважній об'ємній активності (ЕРОА) радону-222 в рудничній атмосфері основних робочих місць спостерігалось на 6 з 8 обстежених шахт.

Виконано класифікацію залізорудних шахт басейну за ступенем радонової небезпеки, за якою всі шахти розділені на три категорії: радонобезпечні, помірно радононебезпечні і радононебезпечні (табл.6). До радонобезпечних віднесені шахти, в яких річна ефективна доза для робочих основних професій не перевищує 1 мЗв за сумою радіаційно-небезпечних факторів. До помірно радононебезпечних віднесені шахти з річною ефективною дозою на гірників більше 1, але менше 5 мЗв. До радононебезпечних віднесені шахти з річною ефективною дозою на гірників більше 5 мЗв.

Таблиця 6

Класифікація шахт Кривбасу щодо радіаційної небезпеки для працюючих

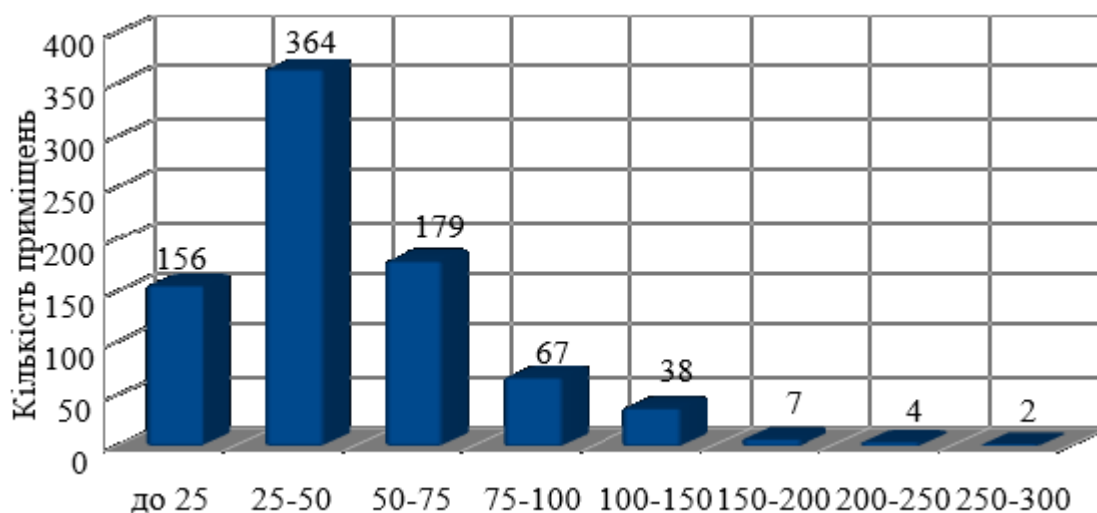
Категорія шахт	Річна ефективна доза, мЗв	Назва шахти	Ефективна річна доза на категорію працюючих на шахті, мЗв
Радонобезпечні	До 1 мЗв	«Першотравнева»	1,088
		«Жовтнева»	0,586
Помірно радононебезпечні	Від 1 мЗв до 5 мЗв	«Гвардійська»	2,773
		«Гігант»	4,288
		ім. Кірова	4,228
Радононебезпечні	Понад 5 мЗв	«Гвардійська»	5,651
		«Ювілейна»	14,142
		Тернівська (Ім. Леніна)	6,712

Результатами досліджень доведено необхідність здійснення постійного радіаційного контролю на більшості шахт басейну. Рекомендовано на неуранових шахтах, де ефективна доза виробничого опромінення від техногенно-підсилених джерел природного походження може перевищити 1 мЗв·рік⁻¹, здійснювати радіаційний контроль не рідше 2-х разів на рік (в зимові і літні місяці). За результатами цього контролю рекомендовано розробляти і реалізовувати заходи, спрямовані на зниження, як окремих компонент, так і сумарної дози опромінення.

Крім того, розглянуті проблеми опромінення населення радоном в приміщеннях старого урановидобувного міста, яким є місто Жовті Води (Дніпропетровської області), де міське будівництво відбувалося одночасно з розвитком гірничого виробництва. Обстеження проводилися в старій частині міста в

2-х-3-х поверхових будинках, компактно розташованих в семи міських кварталах, побудованих в 50-х-60-х роках поблизу шахти. У ході робіт встановлено, що в 35,8% приміщень, обстежених в холодний період року і в 50,3%, обстежених в теплий період, значення ЕРОА радону-222 перевищують гігієнічний регламент – 100 Бк·м³. Максимальні виміряні інтегральні значення ЕРОА радону-222 склали 294 Бк·м³ (холодний період) і 447 Бк·м³ (теплий період). Перевищення регламенту більш ніж у два рази відзначено в 4,4% житлових приміщень міста, обстежених в холодний період року і в 17,7%, обстежених в теплий період.

Значення ЕРОА радону-222 в квартирах, під якими відсутні підвальні приміщення, вище, ніж в квартирах, під якими вони є. Доведено, що радон, накопичуючись в підвалах, частково виходить через підвальні двері та вентиляційні вікна (там, де вони є). При відсутності ж підвальних приміщень та монолітної стяжки під дерев'яними підлогами потік радону з ґрунту безперешкодно потрапляє в підпідлоговий простір, а потім через негерметичні стики в підлогах і через підлогові вентиляційні отвори проникає всередину приміщень першого поверху. Розроблено спосіб радоноізоляції будівель, який застосовується при проведенні протирадонових заходів у приміщеннях м. Жовті Води, де є перевищення нормативних рівнів радону. В 2013 році було обстежено близько 850 приміщень міста з будинками нової забудови (70-х років і пізніше), де раніше обстеження не проводилися. Результати радонових вимірювань в приміщеннях наведені на рис.8.



Розподіл ЕРОА Rn-222 по інтервалах, Бк·м³

Рис. 8 Розподіл рівнів ЕРОА радону-222 в приміщеннях нових будівель міста

Представлені дані показують, що кількість житлових приміщень з перевищенням нормативу 100 Бк·м³ по ЕРОА радону-222 становить близько 5% (~ 50 приміщень) від обстежених приміщень.. Максимальне виміряне значення ЕРОА радону-222 для житлових приміщень становить 269 Бк·м³. Порівняння отриманих результатів у будинках нової забудови з результатами попередніх обстежень в старій частині міста, де кількість перевищень нормативу по радону приміщень

становило 51%, свідчить про відносно благополучну радіаційну ситуацію в районі нової забудови в західній частині міста.

В п'ятому розділі запропоновано методичні підходи з радіаційного регламентування поведження з техногенно-підсиленими джерелами природного походження.

Небезпека для працівників при поведженні з мінеральною сировиною і матеріалами залежить від питомої активності в них природних радіонуклідів, кількості цих матеріалів на робочому місці, тривалості роботи з ними, запиленості повітря в зоні дихання, вентиляції приміщень і ряду інших параметрів. Для забезпечення радіаційної безпеки працівників в умовах виробництва, включно планування виду, обсягів і періодичності радіаційного контролю при поведженні з мінеральною сировиною і матеріалами, а також заходів щодо протирадіаційного захисту населення, запропонована їх класифікація за трьома класами.

Критеріями класифікації є загальна питома активність природних альфа-випромінюючих радіонуклідів в мінеральній сировині і матеріалах і потужність поглиненої в повітрі дози на відстані 0,1м від них (табл. 7).

Таблиця 7

Класифікація мінеральної сировини і матеріалів

Клас	Критерії	
	Питома активність природних альфа-випромінюючих радіонуклідів, кБк·кг ⁻¹	Потужність поглиненої в повітрі дози, мкГр·час ⁻¹
Перший	<10 ⁰	<0,5
Другий	>10 ⁰ ; <10 ¹	>0,5; <5,0
Третій	>10 ¹ ; <10 ²	>5,0; <50

При пошуку, видобутку та переробці корисних копалин, сировини або матеріалів утворюються технологічні відходи з підвищеним вмістом природних радіонуклідів (ТВПРН). Вони розрізняються за агрегатним станом, питомою активністю, радіонуклідним складом, вмістом солей, іншими фізико-хімічними властивостями, які мають значення для вибору способів переробки, зберігання або захоронення ТВПРН. Тверді ТВПРН підрозділяються на сипучі і фрагментарні.

Запропоновано класифікацію твердих сипучих і фрагментарних технологічних відходів з підвищеним вмістом природних радіонуклідів.

Сипучі тверді ТВПРН - забруднений природними радіонуклідами матеріал (грунти, шлами, фосфогіпс, хвости, пил з системи газоочистки та інше), в якому концентрація радіоактивних нуклідів рівномірно розподілена. Вони зазвичай низькі по концентрації радіонуклідів, але відносно великі за обсягом.

Для твердих сипучих ТВПРН встановлюються рівні звільнення від контролю.

Рівні звільнення від контролю - значення, які виражені в одиницях питомої активності, при яких або нижче яких техногенно-підсилені джерела природного походження (забруднене обладнання, відходи) можуть бути звільнені від регулюючого контролю. У табл. 8 запропоновані розроблені рівні звільнення твердих сипучих ТОПРН від контролю.

Для твердих фрагментарних ТВПРН (обладнання та його частини, труби, металоконструкції, великі фрагменти будівельних відходів) пропонується встановити наступні вимоги щодо рівнів звільнення від контролю:

- потужність поглиненої дози на відстані 0,1 м не більше ніж $0,26 \text{ мкГр} \cdot \text{год}^{-1}$;
- відсутність нефіксованого забруднення природними альфа-випромінюючими радіонуклідами;
- рівні звільнення від контролю для твердих фрагментарних ТВПРН (одиночного фрагмента) для всіх радіонуклідів рядів ^{238}U , ^{232}Th та ^{235}U – 1000 Бк, крім радіонуклідів ^{238}U , ^{234}U , ^{235}U , для яких встановлюються норматив - 10000 Бк.

Таблиця 8

Рівні звільнення від контролю твердих сипучих ТВПРН природних радіонуклідів рядів ^{238}U , ^{235}U та ^{232}Th .

Радіонуклід	Період напіврозпаду	Тип розпаду	Рівні звільнення, Бк· кг ⁻¹
Ряд ^{238}U			
^{238}U	$4,77 \cdot 10^9$ років	α	1000
^{234}U	$2,45 \cdot 10^5$ років	α	1000
^{230}Th	$7,70 \cdot 10^4$ років	α	500
^{226}Ra	1600 років	α	250
^{210}Pb	22,3 роки	β	250
^{210}Po	138,4 днів	α	750
Ряд ^{232}Th			
^{232}Th	$1,4 \cdot 10^{10}$ років	α	250
^{228}Ra	5,75 років	β	250
^{228}Th	1,913 років	α	250
Ряд ^{235}U			
^{235}U	$7,038 \cdot 10^8$ років	α	1000
^{231}Pa	$3,276 \cdot 10^4$ років	α	600
^{227}Ac	21,773 років	α	600

Протирадіаційний захист населення вважається забезпеченим, якщо середня річна ефективна доза опромінення критичної групи населення не перевищує $0,3 \text{ мЗв} \cdot \text{рік}^{-1}$ ($300 \text{ мкЗв} \cdot \text{рік}^{-1}$) за рахунок поточної діяльності підприємства чи організації.

Одним з уранових об'єктів СхідГЗК, які мають вплив на навколишнє середовище, є хвостосховище «КБЖ», в якому розміщені відходи переробки уранових руд. На території хвостосховища «КБЖ» було збудовано науковий полігон з дослідження рекультивації, на якому територія хвостосховища була покрита рекультиваційним шаром різної товщини. Для оцінки впливу ТВПРН хвостосховища «КБЖ» на навколишнє середовище була запропонована методика комплексного радіометричного дослідження.

Дана методика включала в себе виконання наступних видів досліджень:

- Еманацияна зйомка;
- Площинна емісійна радонова зйомка;
- Відбір проб ґрунту і їх аналіз на вміст природних радіонуклідів;
- Вибіркова дозиметрична зйомка;

- Вимірювання радону та продуктів його розпаду в атмосфері над хвостосховищем.

Встановлено, що концентрація радону, а також значення ЕРОА радону в повітрі над хвостосховищем «КБЖ» незначно, але перевищують фонові значення для міста Жовті Води (Табл.9).

Таблиця 9

Виміряні середні значення радону та продуктів його розпаду в атмосфері над хвостосховищем «КБЖ» і на території м. Жовті Води

Місто вимірювання	Концентрація радону, Бк·м ⁻³	Еквівалентна рівноважна об'ємна активність радону, Бк·м ⁻³	Коефіцієнт рівноваги, F
Точка А	30	-	-
Точка Б	50	12,5	0,25
Точка В	52	9,4	0,18
Точка Г	31	7,1	0,23
Точка Д	136	12,9	0,09
Середнє значення на території хвостосховища «КБЖ»	60	10,5	0,18
Центр м.Жовті Води	8,1	6,5	0,8

За результатами доведено, що при вимірах на території хвостосховища відзначені високі концентрації радону, що досягають 250 Бк·м⁻³, що свідчить про інтенсивне виділення радону з хвостосховища. Коефіцієнт рівноваги для атмосфери над хвостосховищем значно менше, ніж в місті Жовті Води.

За результатами емісійної радонової зйомки хвостосховища "КБЖ" були отримані наступні значення щільності потоку радону:

- оголені хвости - 123,2 Бк·м⁻²·с⁻¹;
- покриті карти хвостосховища – от 0,58 до 2,63 Бк·м⁻²·с⁻¹;

непорушена територія в районі хвостосховища «КБЖ»- від 0,048 до 0,055 Бк·м⁻²·с⁻¹. Дослідженнями, проведеними за профілями рекультивацийного шару хвостосховища «КБЖ» доведено, що має місце забруднення його природними радіонуклідами (табл.10).

Таблиця 10

Вміст природних радіонуклідів за профілями рекультивацийного покриття на хвостосховищі «КБЖ», Бк·кг⁻¹

Глибина відбору проби, см	²¹⁰ Pb	²²⁶ Ra	²³⁸ U
Шурф Б (карта 4)			
15-25	90±13	23±2	45±14
57-59	176±25	42±3	550±55

Глибина відбору проби, см	^{210}Pb	^{226}Ra	^{238}U
59-61	140±23	30±3	1187±110
61-63	182±23	30±3	1018±95
63-65	340±36	132±6	1786±164
65 (Хвости)	11709±626	8316±179	1174±335
Шурф В (карта 3а)			
0-2	68±12	30±2	23±11
58-60	121±17	108±4	40±16
60-62	100±15	43±3	94±27
85-87	147±15	11±2	23±10
87-89	167±17	18±2	34±7
89-91	158±13	23±2	21±9
91-93	180±17	80±3	16±10
93-95	437±30	215±7	44±16
95 (Хвости)	14384±843	11045±313	1690±470
Шурф Г (карта 5)			
0-2	160±10	67±2	45±5
13-18	72±12	24±2	52±19
28-30	107±14	27±2	39±16
50-52	163±16	220±3	46±16
52-54	146±14	282±2	54±16
54-56	163±19	248±2	40±15
56-58	193±17	212±2	53±17
58-60	478±35	156±6	74±14
Хвости	3315±220	3287±95	1454±159

За результатами польових експериментів по карті 4 (шурф Б) отримані дані, які свідчать про те, що спостерігається міграція урану за профілем рекультиваційного шару, обумовлена капілярним підняттям його з вологою. Високе забруднення шару свинцем-210 пояснюється, в основному, газовим переносом і розпадом радону і, відповідно, накопиченням продуктів його розпаду в шарі. Висока швидкість міграції урану може привести до виходу його на поверхню і, відповідно, до критичного забруднення існуючого покриття.

У шурфі В (карта 3а) основне забруднення свинцем-210 зосереджено в шарі піску, який виконує роль капіляророзривного шару і перешкоджає міграції ПРН в покриття. Решта радіонуклідів практично не переміщуються по шару піску знизу вгору. Підвищений вміст ПРН у верхньому шарі піску (шар 60-62 см) обумовлений міграцією їх із забрудненого суглинку, який був використаний в процесі виконання першого етапу рекультиваційних робіт.

На карті 5 (шурф Г) спостерігається сильне забруднення рекультиваційного шару ^{210}Pb , що обумовлено міграцією радону, і відповідно, розпадом його в шарі. Протягом більш, ніж 18 років відбулося забруднення практично на всю потужність шару. На потужність близько 10 см забруднилася ґрунт ^{226}Ra , ^{238}U . Поверхнєве

забруднення шару природними радіонуклідами обумовлено процесами дефляції, які спостерігалися на хвостосховищі в період з 1982 по 1996 року.

У шостому розділі розглянуто методологію системи радіоекологічного моніторингу на підприємствах з видобутку та переробки руд та матеріалів, збагачених природними радіонуклідами та використання її на підприємствах.

Для підприємств з видобутку і переробки руд та матеріалів, збагачених природними радіонуклідами встановлюється два види радіаційного моніторингу: моніторинг джерела та моніторинг навколишнього середовища. Моніторинг джерела на підприємствах здійснюється в місцях газоаерозольних викидів та місцях виробництва рідких скидів.

Моніторинг навколишнього середовища на підприємствах, де є поводження з рудами та матеріалами з вмістом природних радіонуклідів – це система регулярних тривалих спостережень у просторі і часі, що проводяться за певною програмою та дозволяє отримувати інформацію про стан навколишнього середовища. Результатами моніторингу є числові значення спостережуваної величини, визначені з деякою погрішністю. Порівняння результатів моніторингу, проводять як з результатами визначення фонових значень тих же параметрів, так і з результатами попередніх спостережень. Обґрунтована система радіоекологічного моніторингу і контрольованих параметрів для підприємств з видобутку та переробки матеріалів та руд з підвищеним вмістом природних радіонуклідів

Розглянуто радіаційний стан на території колишнього уранового виробництва ВО «Придніпровський хімічний завод», яке функціонувало протягом періоду з 1949 р по 1991 р. та запропоновано стратегію реабілітації цієї території. Аналіз результатів експериментальних досліджень стану радіоактивного забруднення території та основних виробничих цехів колишнього уранового виробництва (№103, №104, № 2Б, №6) показав, що накопичені значні обсяги радіоактивних матеріалів та відходів і вони є джерелами як реального, так і потенціального радіаційного забруднення. Запропоновано стратегію реабілітаційних заходів на території колишнього ВО «Придніпровський хімічний завод», яка включає дезактивацію металевих і будівельних конструкцій, рекультивацію забруднених територій і хвостосховищ та ряд інших заходів по підвищенню екологічної та радіаційної безпеки. Основні об'єкти та напрямки їх реабілітації наведені на рис.9.

Промисловий майданчик колишнього ВО «ПХЗ» володіє розвиненою інфраструктурою і є привабливим для розвитку нових інвестиційних проектів. Сформульовано основні стратегічні цілі реабілітації і розвитку промислового майданчика колишнього ВО «ПХЗ» при забезпеченні екологічної безпеки:

Стратегічна мета 1: Реабілітація промислового майданчика.

Стратегічна мета 2: Інноваційний розвиток промислового майданчика.

Стратегічна мета 3: Екологічна безпека

На рис.10 наведено запропонований на основі матеріалів дослідження екологічного та економічного стану промислового майданчика SWOT - аналіз промислового майданчика колишнього ВО «ПХЗ».

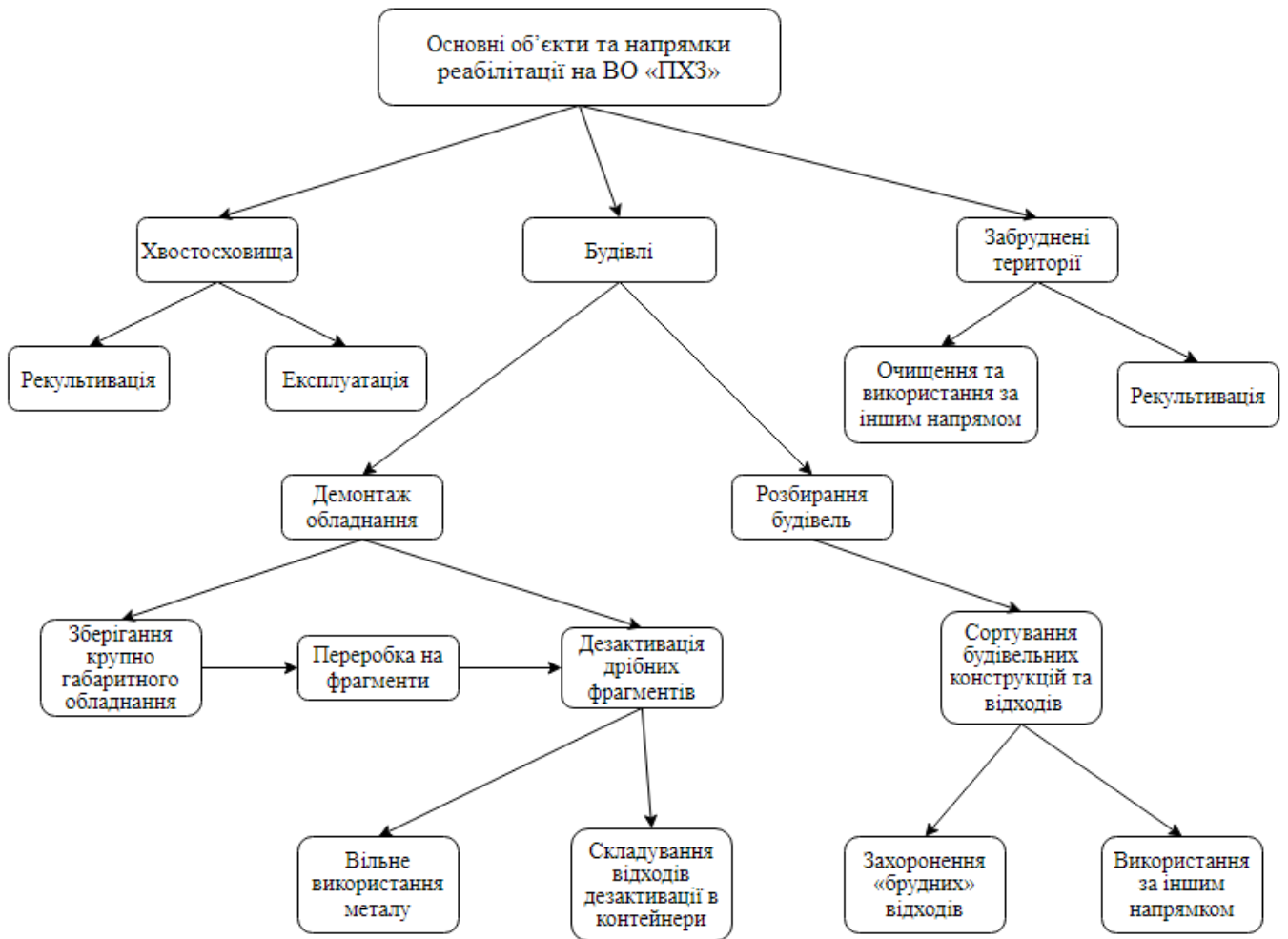


Рис. 9. Основні об'єкти і напрями реабілітації на ВО «ПХЗ»

Запропонована Стратегія, що включає конфігурацію стратегічних та оперативних цілей, здатна в довгостроковій перспективі на 10-20 років не тільки зберегти в економічно привабливому світлі територію колишнього уранового виробництва ВО «Придніпровський хімічний завод», але й уникнути прогнозованих на сьогоднішній день радіаційних та екологічних ризиків.

Приведені результати радіоекологічного моніторингу скиду шахтних вод ТОВ «Схід-Руда» з 2005 по 2014 роки. Доведено, що концентрації ^{238}U за десять років в шахтній воді зменшилася в три рази що є наслідком ведення активних гірничодобувних робіт. У хвостосховищі, куди вода скидується, вона очищається водно-болотною рослинністю від природних радіонуклідів і скидається в річку в осінньо-зимовий період відповідно до встановлених контролюючими органами вимог. На місці контролю в р. Інгулець в 1 км вище водозбору Карачунівського водосховища концентрація ^{238}U змінюється в досить широких межах, але не перевищує встановлених рівнів.

Виконані радіоекологічні дослідження та розрахунки дозових навантажень довели, що виконання робіт з прокладки каналізаційного напірного колектора для перекачування освітленої води з шламонакопичувача в б. Ясинова до хвостосховища «Сухачівське-2» дасть значний екологічний ефект, що полягає в регулюванні кислотності, поліпшенні якості та хімічного складу води у

хвостосховищі «Сухачівське-2» внаслідок розведення її більш чистою водою з шламонакопичувача в б. Ясинова і зменшення при цьому внаслідок вітрового розносу, та відповідно, і хімічного і радіоактивного забруднення атмосфери, ґрунтового покриву, рослинності.

Сильні сторони	Слабкі сторони
<ol style="list-style-type: none"> 1. Високий рівень економічного розвитку 2. Розвинена інфраструктура залізничного, автомобільного, трубопровідного транспорту. 3. Розвинені зовнішньоекономічні зв'язки. 4. Збережено науковий потенціал в області гідрометалургії і хімічних технологій. 5. Достатня кількість кваліфікованих трудових ресурсів. 6. Високий рівень забезпеченості водою, електроенергією, каналізацією. 7. Можливість утилізації промислових рідких відходів в хвостосховищі 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Радіоактивне та хімічне забруднення атмосферного повітря, ґрунтів і ґрунтових вод промислового майданчика 2. Радіоактивне забруднення будівель і будівельних конструкцій. 3. Необхідність реабілітації промислового майданчика 4. Висока ресурсо і енергоємність виробництва. 5. Значна зношеність інженерної інфраструктури. 6. Відсутність переробки та утилізації радіоактивних твердих відходів переробки уранових руд. 7. Незначна частка малого та середнього бізнесу в структурі підприємств на території промислового майданчика.
Можливості	Загрози
<ol style="list-style-type: none"> 1. Створення договору про зону вільної торгівлі з ЄС. 2. Розвиток технологій використання промислових відходів у виробництві будматеріалів. 3. Розвиток новітніх сучасних технологій дезактивації НКТ та іншого обладнання з промайданчика. 4. Розвиток нових підприємств в дезактивованих будівлях і на території промайданчика 5. Розвиток гідрометалургії виробництва рідкісних і рідкісноземельних елементів 6. Перспективне будівництво сміттєспалювального заводу. 7. Державна підтримка створення промислових і наукових парків на промисловому майданчику. 8. Інноваційний розвиток системи контейнерного зберігання токсичних відходів. 	<ol style="list-style-type: none"> 9. Прогнозоване значне скорочення трудових ресурсів в найближчі 10 років. 10. Відсутність сучасної нормативної бази по реабілітації колишніх уранових об'єктів. 11. Неефективна державна політика в галузі управління радіоактивними і токсичними відходами. 12. Несприятливий бізнес-клімат в Україні. 13. Відсутність державної та місцевої фінансової підтримки. 14. Дуже високі, необґрунтовані ціни на енергоносії, воду, газ в Україні з загрозою підвищення їх надалі.

Рис. 10. SWOT - аналіз промислового майданчика колишнього ВО «ПХЗ».

ВИСНОВКИ

За результатами дисертаційного дослідження вирішено актуальну наукову проблему створення наукових основ забезпечення екологічної безпеки при поводженні з матеріалами, збагаченими природними радіонуклідами, в якій враховуються вплив природних радіонуклідів на людину та на процес радіаційного забруднення навколишнього середовища, оцінюються ризики для населення та робітників та розроблені система радіоекологічного моніторингу та реабілітації, що є передумовою та підґрунтям ефективного управління екологічною безпекою.

В результаті дисертаційних досліджень отримано наступні результати:

1. На основі аналізу сучасних міжнародних підходів проведено критичний аналіз існуючої системи і принципів радіаційної безпеки населення та навколишнього середовища при поводженні з радіоактивним матеріалом природного походження (РМПП), включно видобуток та переробку руд з підвищеним вмістом природних радіонуклідів в Україні.

2. Розроблено методологію і обґрунтовано методики розрахунку доз опромінення населення та робітників, які включали в себе аналіз і узагальнення світового досвіду та підходу до ймовірних сценаріїв опромінення при поводженні з радіоактивним матеріалом природного походження та створено наукові засади радіаційно - обґрунтованого захисту навколишнього середовища у місцях видобутку і переробки руд та матеріалів, які вміщують природні радіонукліди на базі сучасної методології ризику.

3. Обґрунтовано методологію проведення радіоекологічних досліджень, яка передбачає як теоретичні, так і експериментальні дослідження впливу радіоактивних матеріалів природного походження, зокрема, застосування радіометричних та спектрометричних методів аналізу як на промислових підприємствах, так і у житлових агломераціях.

4. На основі дослідження впливу діяльності гірничодобувного підприємства ДП «СхідГЗК» на забруднення навколишнього середовища природними радіонуклідами встановлено, що за весь час спостережень було зафіксовано кілька одиничних перевищень допустимих концентрацій, причому середньорічні рівні об'ємних активностей ПРН не перевищували допустимих і знаходяться на рівні фонових. Встановлено, що активність радону в атмосферному повітрі на території м. Кіровоград (в районі шахти «Центральна») змінюється в дуже широких межах від 8,9 до 152,8 Бк/м³, при середньому значенні 51,5 Бк/м³, що більш ніж у чотири рази перевищують фонові значення.

5. Вивчено процеси сорбції радону на активоване вугілля і за результатами досліджень встановлена оптимальна товщина шару вугілля, яка дорівнює 0,7 г·см⁻² та розроблено точний і простий у виконанні метод вимірювання щільності потоку радону за допомогою пристрою для експозиції сорбенту (активоване вугілля) на поверхні, що еманує, з подальшим аналізом його на гамма-спектрометрі.

6. Встановлено, що ексхаляція радону з поверхні землі має визначальний вплив на формування радіоактивного забруднення територій та приміщень радоном та його продуктами розпаду і запропоновано норматив щільності потоку радону з поверхні території для будівництва не вище 80 мБк· м⁻²·с⁻¹.

7. Вперше досліджено радіаційну обстановку у залізорудних шахтах, визначено залежності радіаційних параметрів безпеки від забруднення рудничного повітря радоном та природними радіонуклідами, та створена класифікація цих шахт за рівнем радіаційної безпеки.

8. Встановлено, що в приміщеннях старого урановидобувного міста, яким є місто Жовті Води (Дніпропетровської області), де міське будівництво відбувалося одночасно з розвитком гірничого виробництва спостерігається перевищення гігієнічного регламенту ЕРОА радону-222 у $100 \text{ Бк}\cdot\text{м}^3$ в 35,8% приміщень, обстежених в холодний період року і в 50,3%, обстежених в теплий період. Розроблено рекомендації щодо проведення протирадонових заходів у приміщеннях.

9. За результатами експериментальних досліджень на науковому дослідницькому полігоні виявлено, що спостерігається міграція урану за профілем рекультиваційного шару, обумовлена капілярним підняттям його з вологою. Доведено, що високе забруднення рекультиваційного шару свинцем-210 та полонієм-210 пояснюється, в основному, газовим переносом і розпадом радону і, відповідно, накопиченням продуктів його розпаду в шарі.

10. Удосконалено методологію та основні параметри системи радіоекологічного моніторингу підприємств з видобутку та переробки руд та матеріалів, збагачених природними радіонуклідами, у якій єдиним інструментом для оцінки рівня забруднення від підприємства приймаються фонові значення визначених параметрів, оскільки це єдиний критерій якості для таких об'єктів.

11. Встановлено, що промислова діяльність на території колишнього уранового виробництва ВО «Придніпровський хімічний завод» привела до погіршення радіаційного стану та потребує реабілітаційних заходів. Запропоновано Стратегію реабілітації цієї території., сформульовано основні стратегічні цілі реабілітації і розвитку промислового майданчика колишнього ВО «ПХЗ», реалізація яких здатна в довгостроковій перспективі на 10-20 років не тільки зберегти в економічно привабливому світлі територію колишнього уранового виробництва ВО «Придніпровський хімічний завод», але й уникнути прогнозованих на сьогоднішній день радіаційних та екологічних ризиків.

12. Результати дисертаційної роботи стосовно обґрунтування наукових досліджень на територіях забруднених при добуванні та переробці уранових руд впроваджено на ДП «БАР'ЄР» для оцінки рівня радіаційного забруднення території колишнього Придніпровського хімічного заводу природними радіонуклідами ряду урану з метою встановлення меж радіаційно - забруднених ділянок, які не проявлені зовні, а також впроваджені в проекти з радіаційної безпеки при розчищенні р.Коноплянка та рекультивації шламонакопичувача у балці Ясинова ДП «Екоантилід» на території колишнього ВО "ПХЗ".

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Монографії

1. 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. Ranguelova, 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 Tsaturov, Y. — Vienna : International Atomic Energy Agency, 2006. 185 p.p — (ISSN 1020–6566) STI/DOC/1230 ISBN 92–0–104905–6 (Журнал реферується INIS Atomindex)

Статті у наукових фахових виданнях України

2. Сорока Ю.Н., Молчанов А.И. Житлове будівництво і проблеми зниження опромінювання населення від природних джерел іонізуючого випромінювання // Ойкумена. Український екологічний збірник, 1991, № 4, с.37-43.

3. Сорока Ю.Н., Молчанов А.И., Исаева Н.Г., Доброчасов М.В. Геохимические особенности миграции радионуклидов на участках захоронения".// Вопросы атомной науки и техники. Серия: Промышленная радиэкология и горное дело. 1994. вып. 2, с. 43-52.

4. Сорока Ю.Н., Исаева Н.Г., Молчанов А.И. Использование миграционных параметров радионуклидов при оценке условий хранения радиоактивных отходов. // Сб.: Радиационная и экологическая безопасность предприятий ядерно-топливного цикла". - Одесса: УкрЯО, вып. 1, 1995, с.81-92. (Журнал реферується INIS Atomindex)

5. Сорока Ю.Н. Основные направления решения проблемы реабилитации территории первого рудника по добыче урановых руд в Украине // Сборник научных трудов НГА Украины, №3, Том 5. Проблемы экологии горного производства и обеспечение безопасности жизнедеятельности. - Днепропетровск: РИК НГА Украины, 1998, с.57-60.

6. Радіаційна обстановка на шахтах Кривбасу / Гагауз П.Г., Куроченко О.М., Сорока Ю.Н., Молчанов О.И., Беднарик О.М. // Охорона праці на підприємствах гірничо-металургійного комплексу. Зб. наук. пр., вип. 1. - Кривий Ріг: НДІБТГ, 1998, - с. 3-9

7. Гагауз Ф.Г., Сорока Ю.Н., Молчанов А.И., Подрезов А.А., Беднарик О.Н. Характеристика радиационно-опасных факторов в шахтах Кривбасса // Сборник научных трудов НГА Украины, №5 / Проблемы аэрологии горно-добывающих предприятий. - Днепропетровск, 1999, с.142-147.

8. Сорока Ю.Н. Про розрахунок ефективних доз опромінення від майданчикових джерел радіоактивного забруднення території // Охорона праці та навколишнього середовища на підприємствах гірничо-металургійного комплексу. Зб. наук. пр., вип. №1. Кривий Ріг, НДІБТГ, 1999. - с.12-21.

9. Сорока Ю.Н., Молчанов А.И., Беднарик О.Н. О необходимости нормирования плотности потока радона на застраиваемых территориях // Ядерная и радиационная безопасность - 2000. - том 3. - № 1. - с.37-43. (Журнал реферується INIS Atomindex)

10. Методика расчета дозовых нагрузок на персонал производств, занятых работой с сырьем, содержащим повышенные концентрации естественных радионуклидов/

Сорока Ю.Н., Молчанов А.И., Беднарик О.Н., Кривошей Л.А., Гагауз Ф.Г. // Сборник научных трудов.- Севастополь: СИЯЭиП, 2000.- вып.3.- с. 132-137.

11. Сорока Ю.Н. Методические подходы к оптимизации радиационной защиты при выполнении реабилитационных мероприятий на урановых объектах // Сборник научных трудов НГА Украины №10.- Днепропетровск : РИК НГА Украины,2000.- С.108-114

12. Сорока Ю.Н. Особенности развития радиоэкологического мониторинга окружающей среды на урановых объектах// Сборник научных трудов НГУ Украины №14, том 1.- Днепропетровск : РИК НГУ Украины,2002.- С.159-167

13. Сорока Ю.Н. Поведение естественных радионуклидов при рекультивации хвостохранилищ на урановых объектах // Сборник научных трудов НГУ, №15, Том 1. -Днепропетровск: РИК НГУ, 2002,- с.181-190.

14. Оцінка відповідності шахтних вод, що скидаються шахтою "Першотравнева-Дренажна", вимогам нормативних документів України по радіаційному фактору./Сорока Ю.М., Молчанов О.І., Подрезов О.А., Боталов Л.О., Бузинний М.Г., Лось І.П., Циганков М.Я.// Охорона праці та навколишнього середовища на підприємствах гірничо-металургійного комплексу. Зб. наук. пр., вип. №4. _Кривий Ріг, НДІБТГ, 2002. - с.112-119.

15. Сорока М.Н., Сорока Ю.Н., Молчанов А.И. Контроль радиационного состояния демонтированного оборудования и материалов шахты «Первомайская»// Металлургическая и горнорудная промышленность.- №6, 2006,- с.111-114

16. Гладырь В.В., Торяник В.В., Сорока Ю.Н., Гладырь К.В. Управление радиационными параметрами шахт Криворожского железорудного бассейна и разработка средств и способов борьбы с радоном и ДПР// Разработка рудных месторождений. Научно-технический сборник, Выпуск 92, 2008, с.164-171

17. Сорока М. Н., Молчанов А. И., Сорока Ю. Н. Подрезов А. А. Радиационное обследование и оконтуривание территории, загрязненной низкоактивными отходами промышленного производства в г. Днепродзержинск. //Металлургическая и горнорудная промышленность, №5, 2008., стр.146-149.

18. Беликов А.С.,Чесанов В. Л., Сорока К.Ю., Сорока Ю.Н. Эффективность мероприятий по снижению радиационной нагрузки на школьников и дошкольное население города Сборник трудов ПГАСА Строительство, материаловедение, машиностроение, 2011-вып 60, с.85-89

19. Анищенко Л. Я., Бармина И. В., Свердлов Б. С., Сорока Ю. Н., Стратегия работы с общественностью на радиационно-опасных объектах Збірник наукових праць Випуск XXXIII Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки: зб. наук. пр. / УкрНДІЕП. – Х.: ВД «Райдер», 2011. – Вип. XXXIII. – с.272-288

20. Сорока Ю.Н. Радиационное регламентирование обращения с минеральным сырьем, материалами и отходами, содержащими техногенно – усиленные источники естественного происхождения //Збірник наукових праць НРУ-Д.: Національний гірничий університет.- 2012-№38- с.228-234

21. Сорока Ю.Н. Основные принципы радиационного мониторинга в районах размещения объектов добычи и переработки урановых руд//Збірник наукових праць НРУ-Д.: Національний гірничий університет.- 2012- №39- с195-206

22. Сорока Ю.Н., Рец Ю.Н., Гнутов В.А. Исследование и оценка радиозоологического состояния горнодобывающего предприятия ООО «Восток-Руда» //Збірник наукових праць НРУ-Д.: Національний гірничий університет.- 2013-№40- с.160-166
23. Сорока Ю. М., Рець Ю. М., Молчанов О. І., Сорока М.М. Визначення параметрів радіаційного стану навколишнього середовища в районі розташування Заводу по виробництву ядерного палива //Збірник наукових праць НРУ-Д.: Національний гірничий університет.-2013-№41- с.161-166
24. Сорока Ю. Н., Рец Ю.Н. Засыпка воронки обрушения отходами обогащения и шахтными породами с последующей рекультивацией поверхности// *Металлургическая и горнорудная промышленность*, 2013., №4,- с.79-82.
25. Четверик М.С., Бубнова Е.А., Сорока Ю.Н. Причины образования и направления ликвидации провалов от горных выработок //Геотехнічна механіка, 2013. випуск 111.,-с.190-202
26. Исследование хранилищ отходов переработки радиоактивных руд методом естественного импульсного электромагнитного поля земли в Днепродзержинске//Пикареня Д.С., Орлинская О.В., Сорока Ю.Н., Молчанов А.И.,Гапич Г.В./ Збірник наукових праць НРУ-Д.: Національний гірничий університет.-2013-№43- с.129-136
27. Сорока Ю. Н. Учет процедуры оценки риска при реабилитации радиационно-загрязненных территорий и зданий бывших урановых объектов ПО «ПХЗ» //Геотехнічна механіка, 2014. випуск 118.,-с.200-211
28. Сорока Ю. Н. Методический подход к категорированию радиационно-загрязненных территорий для рекультивации с позиции оценки риска. //Збірник наукових праць НРУ-Д.: Національний гірничий університет.-2014-№45- с.171-177
29. Сорока Ю.Н. Опыт радиозоологического мониторинга сброса шахтных вод предприятия ООО «Восток-Руда» //Геотехническая механика. Межвед. сб. научн. трудов. – Днепропетровск, 2015.- №124.-с. 249-262.
30. Галата А.В, Сорока Ю. Н., Огурцов А.П. Проведення радіоекологічного моніторингу за показниками рівню ЕРОА радону// Збірник наукових праць НРУ-Д.: Національний гірничий університет.-2015-№46- с.180-184
31. Молчанов А.И., Сорока Ю. Н., Руденко С.А., Сорока М.Н. Комплексные исследования радиационной обстановки в жилых и административных помещениях г. Желтые Воды //Збірник наукових праць НРУ-Д.: Національний гірничий університет.-2015-№47- с.161-165
32. Сорока Ю.Н., Чесанов В.Л. Методология анализа риска, как инструмент для принятия решений по вопросам реабилитации территорий, для бывшего предприятия по переработке урановых руд ПО «Приднепровский химический завод» //Строительство, материаловедение, машиностроение. Серия безопасность жизнедеятельности: Сб. научн. трудов. Вып 83. ГВУЗ «Приднепр.гос.академия стро-ва и архитектуры»,2015. - с.182-187
33. Рець Ю.М., Сорока Ю. Н. Санитарно-екологічна оцінка результатів моніторингу скидання шахтних вод при перепрофілюванні уранової шахти в залізорудну шахту//Збірник наукових праць НРУ-Д.: Національний гірничий університет.-2015-№48- с.244-253

34. Сорока Ю. М., Рец Ю.Н., Чесанов В.Л. Обоснование радиационной безопасности при проектировании мероприятий по расчистке реки Коноплянка // Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. научн. трудов. Вып. 93 / ГВУЗ «Приднепр. гос. академия стр-ва и архитектуры»; под общей редакцией В. И. Большакова – Днепр, 2016. –с 106-112
35. Сорока Ю. Н., Рец Ю.Н., Руденко С.А., Подрезов А.А. О необходимости учета опасности действия ионизирующего излучения при работе предприятий горной и металлургической отраслей // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. трудов.- Днепропетровск:- 2016.- №130.- с. 231-239.
36. Сорока Ю.Н. Стратегия реабилитации территории бывшего уранового производства ПО «Приднепровский химический завод» // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. трудов.- Днепропетровск:- 2017.- №132.- с. 229-237.
37. Сорока Ю.М. Комплексні рішення радіоекологічних проблем щодо захисту навколишнього середовища у районі другої секції хвостосховища «Сухачівське»/ Сорока Ю.М.// Екологічна безпека та технології захисту довкілля.-2019.-№2.-С.88-94

Статті Scopus та Web of Science

38. Сорока Ю.Н., Молчанов А.И., Кретинин А.В. Рекультивация территорий, загрязненных радиоактивными отходами // Атомная энергия. - 1993. - т.75, вып.2, с. 148-155.
39. Isayeva N.G., Soroka Y.N., Molchanov A.I. Study of radionuclide's migration parameters for waste repository performance evaluation // Proc. of Fifth International Conf. "Radioactive waste management and Environmental Remediation" ICEM'95, September 3-7, 1995, Berlin, Germany. - USA, ASME, 1995, v.1, p.p.723-727
40. Isayeva N.G., Soroka Y.N., Molchanov A.I. The state of environmental on former site of in-situ leaching uranium // Proc. of Fifth International Conf. "Radioactive waste management and Environmental Remediation". ICEM'95, September 3-7, 1995, Berlin, Germany. - USA, ASME, 1995, v.2, p.p.1507-1010.
41. Molchanov A., Soroka Y.. Radiation and Radon Survey of Akchatau (Kazakhstan) and experience with Radon Remedial Measures. Radiation Protection Dosimetry, vol. 78, No.3, 1998, p.p. 231-236.
42. Сорока Ю.Н. Рекультивационные мероприятия при добыче и переработке урановых руд в Украине// Горный журнал. №5. 2005. с.111-114
43. Voitsekhovitch, O., Soroka Y., and Lavrova T. (2006). Uranium mining and ore processing in Ukraine – radioecological effects on the Dnipro River water ecosystem and human health. Radioactivity in the Environment, 8, pp. 206-214
44. Molchanov A., Soroka Y., Buzinny M., Pavlenko T., Podrezov A., Soroka M. Dispersion of Radon in the Atmosphere around Old Uranium Mill Tailings. Nukleonika, 2010; 55(4):535-538
45. Сорока Ю. Н., Удод Е. В. Оценка системы вентиляции для Централизованного хранилища отработанных источников ионизирующего излучения/Ядерна та радіаційна безпека.- 2014.-№1(61),-с.45-50

46. Search and mapping of the old buried tailings with radioactive wastes at the urban territory/ O.Molchanov, Y. Soroka, A.Podrezov, M. Soroka// Radiation Protection Dosimetry, 2017 Nov 1;177(1-2):198-201.
47. Tymoshchuk, V., Tishkov, V., Soroka, Yu. (2018). Hydro and geomechanical stability assessment of the bund wall bottom slope of the Dniprovsk tailing dump. /Mining of Mineral Deposits, 12(1): 39-47.
48. Radiation protective activity during implementation of the state program for the protection of population of Zhovti Vody town /O.Molchanov, S.Rudenko, Y. Soroka, M. Soroka, K.Brechko// Radiation Protection Dosimetry, Volume 191, Issue 2, September 2020, Pages 129–132.
49. Radon in mines of Kryvyi Rih iron ore basin in Ukraine / O.Molchanov, A.Podrezov, K.Brechko, Y. Soroka, L. Ishcheko // Radiation Protection Dosimetry, Volume 191, Issue 2, September 2020, Pages 192–196.

Статті в інших виданнях

50. Сорока Ю.Н., Молчанов А.И. Санитарно-гигиеническое нормирование при рекультивации земель, нарушенных при добыче переработке руд // Сб.: Вопросы атомной науки техники. Сер. Геология и горное дело, 1990, вып.1, с. 34-39.
51. Сорока Ю.Н., Молчанов А.И. Об учете эксхалции радона при изыскательских работах и проектировании жилых зданий / Проектирование и инженерные изыскания, 1990 №6, с.17-19.
52. Молчанов А.И., Сорока Ю.Н., Удод В.В., Литвиненко С.И. Метод прямого измерения эксхалции радона и торона с эманулирующих поверхностей // Сб.: Технический прогресс в атомной промышленности. Сер. Горно-металлургическое производство, 1990, вып.5, с.14-16.
53. Мосинец В.Н., Сорока Ю.Н., Молчанов А.И. Жилищное строительство в районах расположения горных предприятий и вопросы радиационной безопасности // Горный журнал, - 1991.- №7. - с.58-60.
54. Сорока Ю.Н., Молчанов А.И. Обследование радиационной обстановки в районе действия ПО “Казвольфрам” // Цветная металлургия. - 1992. - №2. - с.62-66.
55. Состояние радиационной обстановки в г. Светловодске / Беднарик О.Н., Сорока Ю.Н., Черный Ф.Ф., и др. //Гигиена, токсикология, физиология труда и профессиональная патология в промышленности: Сб. научных трудов, Кривой Рог, 1995, с.286-292
56. Rudy C., Avdeev O., Soroka Y., Saversky S. et. al. Technologies for environmental restoration in Ukraine. // Planning for environmental restoration of radioactively contaminated sites in central and eastern Europe. - Vienna, IAEA-TECDOC-865, 1996, Vol.3, p. 243-279. (Журнал реферується INIS Atomindex)
57. Soroka Y. Identification and characterization of radioactively contaminated sites in Ukraine and planning for environmental restoration activities // Site characterization techniques used in environmental restoration activities. - Vienna: IAEA, 2000. IAEA-TECDOC-1148, p.201-218. (Журнал реферується INIS Atomindex)
58. Радиационная обстановка при добыче железной руды подземным способом в Криворожском железорудном бассейне / Беднарик О.Н., Выщипан В.Ф., Кривошей

Л.О., Сорока Ю.М., Гагауз Ф.Г. Молчанов О.І. // Гигиена населенных мест, вып.36, часть 1. - К.: УНГЦ, 2000, - с. 266-278.

59. Бузынный М.Г., Сорока Ю.Н. Сравнение двух методов измерения продуктов распада радона // Гигиена населенных мест. Сборник/ Институт гигиены и медицинской экологии АМН Украины. - Киев, 2003-Вып. 41. С.275-278.

60. Проблемы пролонгированного облучения населения в промышленных регионах Украины / Лось И.П., Сорока Ю.Н., Корнев В.Ю., Молчанов А.И., Павленко Т.А., Бузынный М.Г. // Гігієна населених місць. Збірник. Інститут гігієни та медичної екології АМН України. - Київ, 2004-Вып. 43. с. 303 –306

61. Molchanov A., Soroka Y., Isayeva N. Treatment of liquid effluent from uranium enterprises in Ukraine // Treatment of liquid effluent from uranium mines and mills. - Vienna: IAEA, 2004. IAEA-TECDOC-1419, p.245-266(Журнал реферується INIS Atomindex)

62. Оцінка можливості експрес-методу вимірювань свинцю-210 в повітрі. / Бузынный М.Г., Сорока Ю. М., Троян Л.В., Федоренко О.В., Подрезов О.А., Сорока М.М. //Гігієна населених місць. Збірник ІГМЕ АМН України. - Київ, 2005-Вып. 45.с.284-286

63. Сорока Ю.Н. Результаты оценки доз облучения населения в местах переработки урановых руд / Гігієна населених місць// выпуск 48, 2006, с. 263-269

64. Ecological problems related uranium mining and uranium reprocessing industry in Ukraine and Restoration strategy concept/ V.F.Ryazantsev, O.V.Voitsekhovich, V.S.Holubiev, Y.N.Soroka, A.S.Skalsky, V.N.Lebediev // The Uranium production and Raw materials for the Nuclear Fuel Cycle- Supply and demand, economics, the Environment and energy security. IAEA Vienna, 2006. pp.311-317. (ISSN 1563–0153) STI/PUB/1259 ISBN 92–0–107206–6 (Журнал реферується INIS Atomindex)

65. Buzinny M.G., Soroka Yu.N./Method for Pb-210 measurement in air based on LSC // LSC 2005, Advances in Liquid Scintillation Spectrometry:. - Tucson: Radiocarbon, 2006. - P. 157 - 163

66. Бузынный М.Г., Сорока Ю.М., Циганков М.Я. Радіаційна ситуація навколо шахти "Юний комунар". Довкілля та здоров'я.-2008.- № 2(45).-С.23-26.

67. Soroka Y.N., Zberovsky A.V., Rets Y N. Estimation of radiation pollution around uranium mining enterprises. International University of Resources Scientific Reports on Resource Issues 2016 Volume 1.- p. 356-362.Efficiency and Sustainability in the Mineral Industry.Technische University Bergakademie Freiberg, Germany Publisher: Medienzentrum der TU Bergakademie Freiberg

Патенти

68. Сорока Ю.М., Молчанов О.І. Спосіб радоноізоляції будівель:пат.13361 Україна. № 95320733 ; заявл. 30.10.90; опубл. 28.02.97. 3.с

Матеріали міжнародних та національних науково-практичних симпозиумів та конференцій

69. Сорока Ю.Н., Молчанов А.И. Использование отходов горного производства в строительстве и радиационная безопасность.// Эффективные технологии, способы и средства, обеспечивающие современные требования к экологии при разработке

месторождений полезных ископаемых: Тезисы докладов конференции 6-9 августа 1990г. - М.: 1990, с.165.

70. Молчанов А.И., Доброчасов М.В., Сорока Ю.Н.. Результаты радиационного обследования и опыт снижения концентрации радона в жилищах. //Материалы третьего отраслевого симпозиума по гигиене труда, радиационной безопасности, охране окружающей среды профпатологии при добыче и первичной переработке радиоактивных руд, 4-9 сентября 1991г., г.Санкт-Петербург, 1992, с. 131-133.

71. Soroka Y.N., Moltschanov A.I. Die langfristige Migration natürlicher Radionuklide in der Abdeckung von Absetzanlagen der Uranerzaufbereitung. Die 25 Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz, 28-30 September 1993, Binz auf Rügen, 1993, s.37-41. (Журнал реферується INIS Atomindex)

72. Сорока Ю.Н., Исаева Н.Г., Молчанов А.И. Радиоэкологический мониторинг окружающей среды на предприятиях по добыче и переработке урановых руд.// Гоекологічні дослідження: стан та перспективи: Зб. наукових праць Міжнародної науково-практичної конференції. м.Івано-Франківськ, 23-25 травня 1995 р. - Київ, 1995, ч. 1, с. 137-138.

73. Исаева Н.Г., Сорока Ю.Н. Состояние окружающей среды в районе действия предприятий уранодобывающей и перерабатывающей отрасли и влияние его на здоровье населения. // Экологические аспекты загрязнения окружающей среды. Тезисы докладов международной научно - практической конференции. - г.Киев, 26-28 марта 1996, т.2, стр.185-186

74. Сорока Ю.Н., Молчанов А.И. Проблемы радиационного контроля при добыче и переработке полезных ископаемых. // Оперативный контроль и управление качеством минерального сырья при добыче и переработке: Материалы первого международного симпозиума. - г.Кривой Рог, 12-15 ноября 1996г., с.57-58.

75. Сорока Ю.Н. Радиоэкологическая оценка загрязнения г.Желтые Воды и направления его реабилитации // Нормативно-правові аспекти оцінки і прогнозу екологічного стану докільля адміністративних областей та адміністративних районів України. Матеріали науково-технічної конференції, Крим, м. Алушта, 2-5 червня 1997р. Київ, УБЕ НТЗ, 1997.,с.25-28.

76. Soroka, Y., Molchanov, A., Isayeva, N., Bednarik, O., "The rehabilitation program for territory of town Zhovty Vody after 40 years of uranium ores output", Radioactive Waste Management and Environmental Remediation(ICEM '97) (Proc. 6th Int. Conf. Singapore, 1997), American Society of Mechanical Engineers, New York (1997) 773-776.

77. Isayeva N., Soroka Y.. Substantiation of Selection of the First Priority Sites for Rehabilitation. Proc. of Conf. "Radioactive Waste Management and Environmental Remediation ICEM'97". Singapore, October 12-16, 1997. - USA: ASME, 1997, p.p. 777-779.

78. Soroka Y., Korovin V., Molchanov A. Radioactive wastes from uranium ores processing at Pridniprovsck chemical Plant: influence and problems of Stabilization. Proc. of International Conference on Radioactive Waste Disposal (DisTec 2000), September 4-6, 2000, Berlin, Germany. - Germany, Humburg, 2000, p.p. 383-388(Журнал реферується INIS Atomindex)

79. Сорока Ю.Н. Методический подход к оценке риска потенциального облучения при хранении радиоактивных отходов //Экология и здоровье человека. Охрана

- водного и воздушного бассейнов. Утилизация отходов. /Труды научн-техн. конференции, г. Щелкино, 11-15 июня 2001г –Харьков, Том 2.-, 2001, с.356 –362.
80. Korovin V., Korovin Y., Koshik Y., Soroka Y. / Risk of Dnieper pollution by radioactive waste of uranium processing // 14 radiochemical conference, Marianske Lazne, Czech Republic, 14-19 April, p.82
81. Сорока Ю.Н. Проблемы радиоэкологического мониторинга окружающей среды в районе расположения урановых объектов // Радиационная безопасность, здоровье человека и окружающая среда. Проблемы и пути их решения на современном этапе (Радиоэкология-2002) Материалы конференции, г.Мариуполь,10-12 сентября 2002г. – Мариуполь, с.90-95.
82. Сорока Ю.Н. Особенности развития радиоэкологического мониторинга окружающей среды на урановых объектах. // Проблемы и перспективы применения геоинформационных технологий в горном деле: Доклады IV научно-практической конференции. - г.Днепропетровск, 7-9 октября 2002г., с.87-91.
83. Сорока Ю.Н. Коровин В.Ю., Меркулов В.А., Погорелов Ю.Н., Бова С.А. Оценка влияния радиоактивных отходов переработки урановых руд на окружающую среду.// Екологія та інженерія. Стан, наслідки, шляхи створення екологічно чистих технологій: Тези доповідей IV всеукраїнської конференції, м.Дніпродзержинськ, 22-25 жовтня 2002р. - г. Дніпродзержинськ, с.253-256.
84. O. Voitsekhovych, Y. Soroka, T. Lavrova /Uranium Mining and Ore Processing in Ukraine and its Radioecological Effects on to the Dnieper River Water Ecosystem and Human Health International conference on isotopes in environmental studies - Aquatic Forum 2004. Book of extended synopses 617 p; Aquatic Forum 2004: International conference on isotopes in environmental studies; Monte Carlo (Monaco); 25-29 Oct 2004; IAEA-CN--118/34; 2004; p. 58-59.
85. Молчанов А.И., Сорока Ю.Н. Проблема дозиметрического контроля облучения шахтеров Украины// Гігієнічна наука та практика на рубежі століть: Матеріали XIV з їзду гігієністів України (19-21 травня 2004р.) – Дніпропетровськ; АРТ – ПРЕС, 2004. – Т.ІІ, С. 346-348.
86. Результаты изучения радиационной обстановки в жилых помещениях города Желтые Воды / Ю. Н. Сорока, М. Н. Сорока, А. И.Молчанов, Т. А. Павленко / / Экология и здоровье человека. Охрана воздушного и водного бассейнов Утилизация отходов: сб. науч. статей. Харьков, 2005. - С. 28 — 34.
87. Сорока Ю.Н., Лось И.П., Бузынный М.Г., Павленко Т.А. Молчанов А.И. Современные подходы к гигиеническому регламентированию обращения с минеральным сырьем, материалами и отходами, которые содержат техногенно-усиленные источники естественного происхождения // Екологічна безпека:проблеми і шляхи вирішення,II Міжнародна науково-практична конференція,збірник статей. г.Алушта,11-15 вересня 2006г. – Харків,- том 2,- с.53-58.
88. Сорока К.Ю., Чесанов Л.Г., Чесанов В.Л., Сорока Ю.М., Молчанов А. И. Проблемы радиационного контроля при застройке территорий. //Екологічна безпека:проблеми і шляхи вирішення, III Міжнародна науково-практична конференція, м. Алушта,10-14 вересня 2007г. Зб. статей. – Харків,- том 1,- с.307-311.
89. Сорока К.Ю., Чесанов В.Л., Сорока Ю.Н., Молчанов А.И., Бузынный М.Г. О необходимости радиационного обследования территорий, предназначенных для

строительства. Праці IV Міжнародній науково-практичній конференції "Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення", 8 - 12 вересня 2008 р. зб. наук. праць. - 2008. - Харків. - С. 98 - 105.

90. Application Of Radon Emanation Survey For The Discover Of Old Buried Tailings In The Populated Area / O. Molchanov, Y. Soroka, M. Buzinny, A. Podrezov, M. Soroka. // International Conference "Radon In Environment 2010", Book of Abstract. May 10 - 14, 2010, Zakopane, Poland. Krakow: The Henryk Niewodniczanski Institute of Nuclear Physics. 2010. - p.69.

91. Сорока Ю. Н., Молчанов А. И., Подрезов А. А., Сорока М. Н., Бузынный М. Г. Изучение активности природных радионуклидов уранового ряда в атмосфере вокруг урановых объектов//Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення, V Міжнародна науково-практична конференція, Зб. статей. м. Алушта, 7-11 вересня 2009г. – Харків,- том 2, 2009, с.266-270.

92. Сорока Ю.Н. Стратегия восстановления загрязненной территории и зданий бывших урановых объектов ПО «Приднепровский химический завод» //Екологічна безпека:проблеми і шляхи вирішення, VI Міжнародна науково-практична конференція, Зб. статей. м. Алушта, 6-10 вересня 2010г. – Харків,- том 1, 2010, с.222-225.

93. Сорока Ю. Н. Радиационный мониторинг окружающей среды в районе Ингульской шахты//Екологічна безпека:проблеми і шляхи вирішення, VII Міжнародна науково-практична конференція, збірник статей. г. Алушта,12-16 вересня 2011г. – Харків, 2011, том 1, с.217-222.

94. Руденко С.А., Сорока Ю.Н., Молчанов А.И., Подрезов А.А. Применение трековой дозиметрии для мониторинга радона в районе урановых объектов//Екологічна безпека:проблеми і шляхи вирішення, VIII Міжнародна науково-практична конференція,збірник статей. г. Алушта,10-14 вересня 2012г. – Харків,- том 1,- с.137-142.

95. Molchanov O., Soroka Y. Natural radionuclides in metallurgical production of ukrainian enterprises/EU-NORM 2 Symposium, Praha, 17-19 June,2014 - p.51

96. Molchanov O., Podrezov A., Soroka M.. Soroka Y Search and mapping of the old buried tailings with radioactive wastes at the urban territory 8 th RADON conference + 13th GARMM Book of abstracts, Published by České vysoké učení technické v Praze Praha, August 2016, p.143

97. Сорока Ю.Н. Современная система для сортировки, временного хранения и кондиционирования отходов и загрязненного оборудования при реабилитации территории бывшего ПО «Приднепровский химический завод» Екологічна безпека:проблеми і шляхи вирішення, XIII Міжнародна науково-практична конференція, збірник статей. г. Харків, 11-15 вересня 2017г. – Харків,- том 1,- с.361-367

98. Сорока Ю. Н., Молчанов А.И., Подрезов А.А., Сорока М.Н., Каулько Е.А. О возможности очистки сбрасываемых шахных вод от природных радионуклидов биологическими системами// VII Всеукраїнська наукова конференція «Проблеми гідрології, гідрохімії, гідро екології»,присвячена 100-річчю від дня заснування Національної академії наук України (23-24 листопада 2018 р., м. Київ). Тези доповідей. -К.: Ника-Центр, 2018. –с.196-197.

99. Molchanov O., Rudenko S., Soroka M., Soroka Y Radiation protection activities during realization of the state program on protection of population of Zhovti Vody city / 9 th International conference on protection against radon at home and at work- book of abstracts, Published by České vysoké učení technické v Praze Praha, August 2019, p.24
100. Сорока Ю.М., Сорока Є. О. Оцінка сумісності води 2-ї секції хвостосховища «Сухачівське» та шламонакопичувача у балці Ясинова для рішення радіоекологічних проблем по захисту навколишнього середовища// Тиждень еколога – 2019.Збірник тез доповідей міжнародного наукового симпозиуму «Тиждень еколога – 2019», 7-10 жовтня 2019 р. - Кам'янське: ДДТУ.- 2019.–с. 133-136

Нормативно-методичні документи

101. Санитарные правила ликвидации, консервации и перепрофилирования предприятий по добыче и переработке радиоактивных руд (СП ЛКП-91. Министерство здравоохранения СССР.1991. Издание официальное. М.-1991.-76 с.
102. ДСП 3.3.1.038-99 Підприємства чорної металургії. Державні санітарні правила. - К., 1999. – 129 с.
103. Контроль радіаційної обстановки на залізорудних шахтах України - Настанова міністерства промислової політики України.// СОУ-Н МПП 17.240-046:2005. Мінпромполітики України. 2005. Видання офіційне. 14 с.
104. МВ 6.6.1.2.6.-136-2007 Методичні вказівки щодо радіаційно-гігієнічного регламентування проведення робіт на об'єктах колишнього Придніпровського хімічного заводу (ПХЗ). Видання офіційне. К. - 2007. - 31 с.
105. Профілактика професійного раку легень серед гірників, які зайняті підземним видобуванням радійвміщуючої залізної руди. (Методичні рекомендації) К., 2010. – 33 с.

АНОТАЦІЯ

Сорока Ю.М. Наукові основи забезпечення екологічної безпеки при поводженні з матеріалами з вмістом природних радіонуклідів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека. – Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, Київ, 2021.

У дисертаційній роботі викладено результати досліджень, які спрямовані на забезпечення екологічної безпеки при поводженні з матеріалами з вмістом природних радіонуклідів та технологій зменшення забруднення радіонуклідами навколишнього середовища і як квінтесенція цього забезпечення радіоекологічної захисту населення та довкілля в Україні.

Проведено критичний аналіз існуючої системи і принципів радіаційної безпеки населення та навколишнього середовища при поводженні з матеріалами з вмістом природних радіонуклідів в Україні.

Запропонована методологія оцінки безпеки населення і навколишнього середовища на основі критеріїв ризику потенційного опромінення в місцях видобутку і переробки матеріалів з вмістом природних радіонуклідів, яка враховує розроблену методику розрахунку доз опромінення персоналу, робітників та

населення та дозволяє максимально знизити небезпечну дію РМПП на населення і навколишнє середовище. Розглянуто питання застосування її для визначення рівня очищення від радіаційного забруднення будівель і території колишнього уранового об'єкта. Досліджено вплив діяльності гірничодобувних підприємств на забруднення навколишнього середовища природними радіонуклідами.

Вивчено процеси сорбції радону на активоване вугілля та розроблено точний і простий у виконанні метод вимірювання щільності потоку радону за допомогою запропонованого пристрою для експозиції сорбенту (активоване вугілля) на поверхні. Оцінено вплив ексхалції радону на радіоактивне забруднення територій та приміщень і запропоновано норматив щільності потоку радону з поверхні території для будівництва. Проведено дослідження рівнів ЕРОА радону-222 в приміщеннях старого урановидобувного міста, та рекомендовано проводити ремонтні протирадонові заходи у приміщеннях, де є перевищення гігієнічного регламенту у $100 \text{ Бк} \cdot \text{м}^3$ звертаючи особливу увагу на технічні засоби зменшення надходження радону в приміщення внаслідок ексхалції радону з земної поверхні.

Визначені залежності радіаційних параметрів безпеки в залізорудних шахтах від забруднення рудникового повітря радоном і природними радіонуклідами і створена класифікація таких шахт за рівнем радіаційної безпеки, яка є основою для створення системи радіаційного контролю в цих шахтах;

Досліджені сировина і технологічні відходи з підвищеним вмістом природних радіонуклідів та розроблені рівні звільнення від контролю твердих сипучих технологічних відходів з підвищеним вмістом природних радіонуклідів рядів ^{238}U , ^{235}U та ^{232}Th .

За результатами експериментальних досліджень виявлено, що спостерігається міграція урану за профілем рекультиваційного шару, обумовлена капілярним підняттям його з вологою, а також доведено, що високе забруднення шару свинцем-210 та полонієм-210, які є продуктами розпаду радону-222 пояснюється, в основному, газовим переносом і розпадом його в шарі.

Обґрунтована методологія та основні параметри системи радіоекологічного моніторингу підприємств з видобутку та переробки руд та матеріалів, збагачених природними радіонуклідами, у якій єдиним інструментом для оцінки рівня забруднення від підприємства приймаються фонові значення визначених параметрів, оскільки це єдиний критерій якості для таких об'єктів;

Встановлено, що промислова діяльність на території привела до погіршення радіаційного стану та потребує реабілітаційних заходів. Запропоновано Стратегію реабілітації території колишнього уранового виробництва ВО «Придніпровський хімічний завод» та сформульовано основні стратегічні цілі реабілітації і розвитку цього промислового майданчика.

Науково обґрунтовано та удосконалено методичну та нормативну бази, які підвищують ефективність екологічної безпеки на підприємствах, де існує можливість опромінення персоналу чи населення радіоактивним матеріалом природного походження.

Ключові слова: екологічна безпека, природні радіонукліди, радон, радіоекологічний моніторинг, дози опромінення

ABSTRACT

Soroka Yu.M. Scientific bases of ensuring environmental safety when handling materials containing natural radionuclides. – Qualified scientific work on the rights of the manuscript.

Thesis for a degree Doctor of Technical Sciences in specialty 21.06.01 – Environmental Safety. –State Ecological Academy of Postgraduate Education and Management, Kyiv, 2021

The thesis presents the results of the research aimed to ensure environmental safety when working with materials containing natural radionuclides and technologies to reduce pollution by radionuclides, at the end, ensurance of the radioecological protection of the population and the environment in Ukraine.

A critical analysis of the existing system and principles of population radiation safety and the environment while working with materials containing natural radionuclides in Ukraine.

The methodology for assessing the safety for the population and the environment based on risk criteria for potential exposure in places of extraction and processing of materials containing natural radionuclides is proposed, which includes the developed methodology for calculating radiation doses for staff, workers and the public. It also allows to mitigate as much as possible negative influence of radioactive materials to population and environment. The question of its application for determination of the clearing level from radiation pollution of buildings and the territory of the former uranium object is considered. The influence of mining enterprises' activity on environmental pollution by natural radionuclides is investigated

The processes of radon absorbtion on activated carbon have been studied and an accurate and easy-to-perform method of measuring radon flux density with the help of the proposed device for absorbent exposure (activated carbon) on the surface has been developed. The influence of radon exhalation on radioactive contamination of territories and premises is estimated and the standard of radon flux density from the surface of the territory for subsequent development is offered. The study of equivalent equilibrium volume activity levels of radon-222 in the premises of the old uranium mining city was carried out, and it was recommended to perform remedial anti-radon measures in the premises where the hygienic regulations are exceeded by $100 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$, paying special attention to technical means which decrease radon admission into premises due to radon exhalation from surface.

The dependences of radiation safety parameters in iron ore mines on mine air pollution by radon and natural radionuclides are determined and the classification of such mines according to the level of radiation safety is created, which is the basis for creating a radiation control system in these mines.

The raw materials and technological wastes with the increased content of natural radionuclides are investigated and the levels of exemption from control of solid loose technological wastes with the increased content of natural radionuclides of series ^{238}U , ^{235}U та ^{232}Th are developed.

Experimental studies have shown that uranium migration is observed along the profile of the reclamation layer due to its capillary uplift with humidity, and it is proved

that high contamination of the layer with plumbum-210 and polonium-210, which are products of radon-222 decay, is mainly explained by gas transfer and its decay in the layer.

Methodology and basic parameters of the system of enterprise radioecological monitoring for extraction and processing ores and materials enriched with natural radionuclides is substantiated, where the background values of mentioned parameters form the single tool for assessing the level of pollution from the enterprises. This is the only quality criteria applicable for such facilities.

It is determined that industrial activity on the territory has led to the deterioration of the radiation background and requires rehabilitation measures. The Strategy of Rehabilitation of the Territory of the Former Uranium Production of the “Prydniprovsky Chemical Plant” has been proposed and the main strategic goals of rehabilitation and development of this industrial site have been formulated.

Methodological and regulatory framework which increases the effectiveness of environmental safety in enterprises where there is a possibility of irradiating staff or the population with radioactive material of natural origin is scientifically substantiated and improved.

Keywords: environmental safety, natural radionuclides, radon, radioecological monitoring, radiation doses