

ВІДГУК
офіційного опонента доктора технічних наук, професора
Павличенка Артема Володимировича
на дисертаційну роботу Сороки Юрія Миколайовича
«Наукові основи забезпечення екологічної безпеки при поводженні з
матеріалами з вмістом природних радіонуклідів», представлену на здобуття
наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю
21.06.01 – екологічна безпека

Дисертаційна робота складається з анотації, переліку умовних познач, вступу, шести розділів, загальних висновків, списку використаних джерел з 295 найменувань, а також 8 додатків. Дисертація викладена на 320 сторінках машинописного тексту і містить 74 таблиці та 32 рисунки.

Дисертація відповідає основним напрямкам державної політики України в області охорони, раціонального використання та відтворення природних ресурсів, а також сприяє забезпеченню екологічної безпеки при поводженні з матеріалами з вмістом природних радіонуклідів. Робота спрямована на формування наукових основ відповідального та безпечного поводження з радіоактивними відходами та встановлення основних норм безпеки для захисту населення та об'єктів навколишнього середовища від загроз, зумовлених впливом іонізуючого випромінювання з урахуванням вимог Законів України «Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку», «Про Загальнодержавну цільову екологічну програму поводження з радіоактивними відходами», «Про видобування і переробку уранових руд», «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року», а також основних положень Директиви Ради 2013/59/Євратом від 05 грудня 2013 року та Директиви Ради 2011/70/Євратом від 19 липня 2011 року.

Актуальність теми дисертаційної роботи, її зв'язок з науковими програмами, планами, темами.

Україна належить до провідних уранодобувних країн світу і має 12 детально розвіданих уранових ендегенних родовищ із сумарними запасами, що в змозі забезпечити потреби діючих АЕС України ще на 100 років.

Також наша держава відноситься до країн з дуже розвинутим використанням джерел іонізуючого випромінювання у багатьох сферах господарства і наукової діяльності. Серед зовнішніх чинників довкілля, що спричиняють шкідливий вплив на здоров'я людини, головну роль має іонізуюче випромінювання, особливо на територіях, де здійснюється видобуток і переробка уранових руд, а також забруднених внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС.

За обсягами радіоактивних відходів Україна знаходиться на II місці у Європі та на IV в світі. Радіоактивні відходи промислових підприємств, медичних, науково-дослідних та інших закладів захоронювалися без переробки у сховищах, що не передбачали багатобар'єрної системи безпеки захоронення та захисту навколишнього природного середовища. Через існування великої кількості штучних і природних джерел іонізуючого випромінювання в Україні склалася дуже складна радіоекологічна ситуація, яка потребує невідкладного створення системи заходів радіаційного захисту населення та навколишнього природного середовища.

Саме тому актуальність роботи, спрямованої на створення наукових основ розроблення напрямів оптимізації системи управління екологічною безпекою навколишнього середовища на територіях видобутку і переробки руд та при поводженні з матеріалами, що вміщують природні радіонукліди, а також розроблення технологій, що дозволяють забезпечити екологізбалансоване функціонування підприємств з видобутку та переробки уранових руд, не викликає сумніву.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконана відповідно до пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки в Україні на період до 2020 р. за розділом «Раціональне природокористування», Державної цільової екологічної програми першочергових заходів приведення у безпечний стан об'єктів і майданчика колишнього уранового виробничого об'єднання «Придніпровський хімічний завод» на 2019-2023 роки, Державної цільової програми радіаційного і соціального захисту населення м. Жовті Води на 2013-2022 роки та інших нормативно-правових документів в сфері радіаційної та екологічної безпеки.

Тематика дисертаційної роботи відповідає НДР екологічного спрямування, що проводилася за планами Дніпровського Державного технічного університету у 2015-2020 рр. 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 рр. 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 рр. при виконанні НДР у якості керівника за проектами УНТЦ № 1160 «Дослідження ступеня радіаційного забруднення навколишнього середовища в місцях, де велося 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»), а також регіонального 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.

Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.

Достовірність сформульованих у дисертації наукових положень, висновків і

рекомендацій підтверджується змістовним аналізом стану проблеми за тематикою досліджень, використанням апробованих методик, застосуванням системного підходу, методів аналізу, систематизації та інтерпретації одержаних результатів; використанням методів вимірювання потужності еквівалентної дози гамма-випромінювання та еквівалентної рівноважної об'ємної активності радону та торону; методів 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-спектрометрії для вимірювання ексхаляції радону та використання твердотілих трекових детекторів для вимірювання об'ємної активності радону в повітрі. Обробка й аналіз даних багаторічного моніторингу радіаційного забруднення та визначення радіаційних ризиків виконано методами статистичної обробки експериментальних даних з використанням прикладних комп'ютерних програм і технологій.

Наукова новизна роботи здобувача полягає у розвитку наукових основ забезпечення екологічної безпеки при поводженні з матеріалами, що вміщують природні радіонукліди; 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 і 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 $80 \text{ мБк}^{-2} \text{ с}^{-1}$, 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 та 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 $4 \text{ мБк}^{-2} \text{ с}^{-1}$ при похибці вимірювання не більше 20%;

удосконалено:

– методологію та основні параметри системи радіоекологічного моніторингу підприємств з видобутку та переробки руд і 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 проводились 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.

Практична значимість результатів дисертаційної роботи визначається тим, що здобувачем створені передумови щодо зменшення впливу забруднення природними радіонуклідами при видобутку та переробці руд та матеріалів, збагачених природними радіонуклідами навколишнього середовища, а також забезпечення радіоекологічного захисту населення та довкілля в Україні при поводженні з матеріалами з вмістом природних радіонуклідів.

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 нормативно-методичних документів:

1. 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.

2. ДСП 3.3.1.038-99 Підприємства чорної металургії. Державні санітарні правила. – К., 1999. – 129 с.

3. 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.

4. 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.

5. 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 своєчасного 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».

Повнота викладення результатів дисертації в наукових фахових виданнях.

За результатами аналізу поданого автором переліку опублікованих наукових праць виявлено, що всі винесені на захист наукові результати належать автору і з достатньою повнотою відображені у 105 наукових працях, з яких: 1 – монографія; 49 наукових статті, з яких 12 статей у зарубіжних наукових періодичних виданнях та у виданнях, що індексуються міжнародними наукометричними базами даних (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.

За кількістю, обсягом та якістю наукові праці відповідають вимогам МОН України щодо публікацій основного змісту та наукових результатів дисертації на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук.

Оцінка змісту та структури дисертації

Зміст роботи відповідає поставленим задачам. Виклад матеріалу системний, послідовний.

У *вступі* розкрито сутність наукової проблеми та її актуальність, суть та сучасний стан наукової проблеми; представлено ідею та мету дисертаційної роботи, завдання, об'єкт і предмет дослідження; висвітлено наукові положення, наукову новизну отриманих результатів, що винесені на захист, а також відомості щодо практичного значення та впровадження результатів роботи. Визначено внесок автора у публікації та апробацію результатів роботи. Надано інформацію щодо структури та обсягу роботи.

У *першому розділі* «СТАН ВИВЧЕНОСТІ ПИТАННЯ, МЕТА І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ» здобувач на основі аналізу наукових літературних джерел визначив, що основну частину опромінення все населення Землі отримує від природних джерел радіації: природні радіонукліди, що містяться в земній корі, будівельних матеріалах, повітрі, їжі і воді, а також в атмосфері. При цьому, помітна частина ефективної дози опромінення, яку людина одержує від природних джерел радіації, формується радіонуклідами ряду урану і торію, які містяться в ґрунті. Найбільш вагомим із усіх джерел радіації є радіоактивний газ радон ^{222}Rn , що потрапляє в атмосферу з ґрунтів, скельних порід і будівельних матеріалів.

Додатковий вплив на людину та довкілля матеріалів з вмістом природних радіонуклідів пов'язаний з наступними видами діяльності: видобуток руд чорних, кольорових і рідкісних металів; видобування нафти та газу; використання викопних видів палив; металургійні процеси переробки руд чорних, кольорових і рідкісних

металів; використання фосфатів та відходів використання підземних вод.

Проаналізовано проблеми радіоактивного забруднення навколишнього середовища на всіх технологічних ланках видобування урану. Встановлено, що відвали і хвостосховища, що розміщуються на поверхні землі, стають джерелами безперервного і довготривалого радіоактивного та хімічного забруднення основних компонентів навколишнього середовища: поверхневих і підземних вод – внаслідок вимивання з відвалів атмосферними опадами і поверхневими водотоками токсичних і радіоактивних елементів; атмосфери – за рахунок виділення (еманації) радону і радіоактивного пилу, що утворюється в результаті фізико-хімічного вивітрювання та вітрової ерозії приповерхневого шару відвалів. Бар'єрні функції захисних споруд знижуються, що сприяє активізації і розширенню зон впливу джерел радіоактивного та хімічного забруднення повітряними і водними шляхами міграції. Все це призводить до ситуації непередбачуваного опромінення населення урановими відходами в м. Жовті Води, с. Терни та в м. Кам'янське. Саме тому, подальший розвиток уранодобувної промисловості України неможливий без вирішення актуальних радіоекологічних проблем.

Проаналізовано внесок провідних українських і зарубіжних науковців у вирішення проблеми управління екологічною безпекою забруднених територій та принципів організації та ведення радіаційного моніторингу на уранових об'єктах. Обґрунтовано необхідність розроблення єдиного наукового підходу щодо реабілітації забруднених територій і принципів організації та ведення радіаційного моніторингу на уранових об'єктах.

Сформульовано мету та завдання дисертаційної роботи.

У *другому розділі* «МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ЕКОЛОГІЧНОГО ЗАХИСТУ ПРИ ПОВОДЖЕННІ З МАТЕРІАЛАМИ З ВМІСТОМ ПРИРОДНИХ РАДІОНУКЛІДІВ» визначено особливості нормування факторів радіоактивного забруднення навколишнього середовища матеріалами з вмістом природних радіонуклідів.

Обґрунтована доцільність встановлення рівнів забруднення довкілля радіонуклідами природного походження в районі розміщення підприємств гірничорудної та металургійної промисловості. Радіоактивні гази ^{222}Rn і ^{220}Rn та природні радіонукліди ^{238}U , ^{234}U , ^{230}Th , ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{210}Po , які виділяються у навколишнє середовище при технологічних процесах через викиди в атмосферу, скиди у водні об'єкти, є прямими факторами впливу на працівників підприємств і населення. При цьому, залежно від шляхів опромінення і сценаріїв, які можуть бути в кожному конкретному випадку, визначаються ефективні дози опромінення персоналу або населення.

Автором визначено основні критерії, що рекомендується застосовувати при аналізі ризику для прийняття рішень з реабілітації територій, що зазнали радіоактивного забруднення природними радіонуклідами, а також розроблено методики оцінки доз опромінення робітників та населення при виконанні робіт після закінчення функціонування підприємства.

Приведено результати оцінки безпеки населення і навколишнього середовища на основі критеріїв ризику потенційного опромінення в місцях видобутку і переробки матеріалів з вмістом природних радіонуклідів за п'ятьма головними шляхами формування доз: надходження радіонуклідів з питною водою; надходження радіонуклідів з продуктами харчування; інгаляційний; зовнішнє гамма-опромінення;

випадкове заковтування дрібних фрагментів речовини радіоактивних відходів (РАВ) (хвостів).

Розроблено методологію оцінки безпеки населення і навколишнього середовища на основі критеріїв ризику потенційного опромінення в місцях видобутку і переробки матеріалів з вмістом природних радіонуклідів, яка дозволяє оцінювати надійність сховищ РАВ, що функціонують в режимі «зберігання», і вибирати найбільш оптимальну систему захисних заходів з радіаційної безпеки. Визначені та апробовані для умов м. Жовті Води методичні підходи до оптимізації радіаційного захисту при виконанні реабілітаційних заходів на уранових об'єктах. Встановлено, що найбільша віддача вкладених коштів досягається при виконанні реабілітаційних заходів до залишкової потужності еквівалентної дози гамма-випромінювання на реабілітованих територіях, що дорівнює $0,30 \text{ мкЗв}\cdot\text{год}^{-1}$.

У *третьому розділі* «ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДІЯЛЬНОСТІ ГІРНИЧОДОБУВНОГО ПІДПРИЄМСТВА НА ЗАБРУДНЕННЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ПРИРОДНИМИ РАДІОНУКЛІДАМИ» наведено методики та результати проведення експериментальних досліджень з виявлення впливу діяльності підприємств на забруднення довкілля природними радіонуклідами.

Запропоновано методики вимірювання вмісту природних радіонуклідів в об'єктах навколишнього середовища (грунт, повітря, вода, харчові продукти). В районі розташування Інгульської шахти, шахт «Південна», «Північна», «Центральна», «Северинка» були визначені критичні групи населення, в місцях проживання яких були виконані вимірювання радіаційної якості споживаної ними води, стану ґрунтів, рослинності та продуктів харчування. Також у місцях проживання критичних груп населення були обрані 11 пунктів спостереження за якістю атмосферного повітря з періодичністю вимірювань 1 раз на рік.

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 застосовувались еманційна та емісійна радонова зйомки та трекова дозиметрія радону. Доведено, що при середньому фоновому значенні $13,2 \text{ Бк}/\text{м}^3$ значення активності радону в досліджуваних районах в більш ніж чотири рази перевищують фонові значення, і тому джерело викиду радону потрібно враховувати в складі систем радіаційного моніторингу.

Першим підприємством в Україні з видобутку і переробки уранових руд було гірниче підприємство «Першотравневе». Визначено, що забруднення навколишнього середовища в результаті діяльності уранодобувного підприємства обумовлено наступними факторами: розміщенням руди на проммайданчиках; вилуговуванням природних радіонуклідів з руд та порожніх порід, збагачених природними радіонуклідами; неконтрольованим використанням відходів для інших цілей; пиловим забрудненням. Фонові значення ексхалатції перевищені на забруднених ділянках в 1,5-140 разів, концентрація радону в ґрунтовому повітрі на аномальних ділянках в 40-815 разів більше фонових значень. Результати аналізу проб підтвердили факт забруднення поверхневих вод природними радіонуклідами. Найбільш інтенсивно відбувається змив урану і радію як найбільш небезпечних нуклідів, що мають високі міграційні властивості. Основними причинами забруднення поверхневих вод є вилуговування і

змив забруднюючих речовин в результаті схилового стоку опадів з проммайданчику шахт.

Встановлено, що недоліки при оцінці впливу видобутку і переробки уранових руд призвели до того, що місто Жовті Води є практично повністю оточеним радіаційно-небезпечними об'єктами. На півночі в 2-х км від міської межі розташовані гідрометалургійний завод та хвостосховище «КБЖ»; на сході практично примикає до міської забудови територія шахти «Нова»; на півдні розташоване велике діюче хвостосховище «Щ». Виявлено вплив хвостосховищ на забруднення ґрунту, повітря, рослинності радіонуклідами: ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{210}Po на відстані до 2-х км від них. Максимальні значення ґрунтового радону відзначені в південній частині досліджуваної території, де концентрації перевищують фонові в 20-50 разів. Зазначені аномалії в основному обумовлені відкладенням і накопиченням радіонуклідів в зниженнях рельєфу (канавах, поглибленнях). Виявлено понад 5,4 тис. аномальних точок і ділянок з інтенсивністю гамма-випромінювання понад $1,2 \text{ мкЗв}\cdot\text{год}^{-1}$, в 460 точках потужність дози гамма-випромінювання перевищує $10 \text{ мкЗв}\cdot\text{год}^{-1}$ і в 57 точках – $30 \text{ мкЗв}\cdot\text{год}^{-1}$.

У *четвертому розділі* «ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РАДОНУ НА ЗАБРУДНЕННЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА В РАЙОНІ ПІДПРИЄМСТВ З ВИДОБУТКУ І ПЕРЕРОБКИ РУД» розглянуті причини та наслідки опромінення робітників та населення радоном.

Розглянуто переваги та недоліки методів вимірювання ексхаляції радону: з використанням накопичувальних камер; із застосуванням колектора Пірсона; розрахункові методи з використанням вимірюного розподілу радону в повітрі ґрунту або в атмосфері. Обґрунтована доцільність розробки методу вимірювання щільності потоку радону за допомогою пристрою для експозиції сорбенту (активоване вугілля) на поверхні, що еманує, з подальшим аналізом його на гамма-спектрометрі.

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.

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 вольфрамових та уранових руд. В результаті вимірювання щільності потоку ^{222}Rn з земної поверхні в районі видобутку вольфрамових руд виявлено наявність потужного «радонового факела», який приурочено до зони геологічного розлому (значення щільності потоку ^{222}Rn тут перебували в інтервалі від 0,2 до $2,2 \text{ м}\cdot\text{Бк}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$). На території видобутку уранових руд значення щільності потоку радону змінюється в дуже широких діапазонах, і це необхідно враховувати як при рекультивації цих забруднених територій, так і при подальшому будівництві на них.

Виконано оцінку впливу радону на радіоактивне забруднення приміщень в місцях розміщення підприємств з видобутку і переробки руд. Встановлено, що джерелами радону в повітрі приміщень головним чином є геологічний простір під будівлями, будівельні матеріали, з яких побудовано будівлю, вода і побутовий газ, що

використовуються населенням.

Результатом багаторічної роботи на території м. Жовті Води підприємств з видобутку та переробки уранових руд стало значне забруднення міської території такими радіонуклідами, як ^{238}U , ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{210}Po . У житлових приміщеннях міста спостерігається значне перевищення нормативу з еквівалентної рівноважної об'ємної активності ^{222}Rn , особливо в будинках індивідуальної забудови.

Проведені дослідження концентрації ^{222}Rn в повітрі житлових будинків м. Кривий Ріг показали, що в багатоповерхових будинках його концентрація коливається від 32 до 86 Бк·м⁻³, а на перших поверхах досягає активності 173 Бк·м⁻³. За вимірами в повітрі одноповерхових будинків сільського типу перевищення встановленого нормативу спостерігалися в Тернівському районі в 44,4% обстежених будинках, в Центрально-Міському – в 62,5%, в Жовтневому – в 100% відповідно.

Виконані дослідження та класифікація залізорудних шахт басейну за ступенем радонової небезпеки, за якою всі шахти розділені на три категорії: «радонобезпечні», «помірно радононебезпечні» і «радононебезпечні», стали підґрунтям для розробки галузевого нормативного документу, де встановлені обмеження щодо опромінення техногенно-підсиленими джерелами природного походження для працівників неатомної промисловості та визначено вимоги щодо радіаційного контролю.

Встановлено, що в зв'язку з розвитком видобутку руди в Криворізькому басейні на великих глибинах збільшується кількість шахт, в яких ^{222}Rn з верхніх відпрацьованих горизонтів потрапляє до вхідного свіжого струменю повітря і вже далі забруднює повітря на робочих горизонтах. Це обумовлює необхідність ізолювати старі відпрацьовані горизонти і зони обвалення, а також проводити регулярний радіаційний контроль.

Розроблено класифікацію ділянок територій, що забудовуються, за ступенем радононебезпеки, у якій рекомендовані вимоги як до території, призначеної для будівництва, так і до конструкції будівель, що суттєво підвищує рівень радіоекологічної безпеки населення.

У *п'ятому розділі* «ТЕХНОЛОГІЧНІ ВІДХОДИ ПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА І ЇХ ВПЛИВ НА РАДІОАКТИВНЕ ЗАБРУДНЕННЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА» автором визначено підходи до радіаційного регламентування поведження з техногенно-підсиленими джерелами природного походження.

Автором роботи встановлено, що 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. При цьому, річна ефективна доза при виконанні технологічного циклу робіт різна для різних робочих місць і підприємств, де є сировина і технологічні відходи, що містять природні радіонукліди, обумовлює необхідність розробки нормативних документів, що забезпечують радіаційну безпеку працюючих на діючих гірничих і металургійних виробництвах і населення, яке мешкає на цих територіях.

В результаті фонових вимірів в м. Кам'янське та його околицях на непорушених ґрунтах виявлено, що середнє значення потужності дози склало 0,122 мкЗв/год. Для оконтурювання відходів по вул. Лазо застосовувався поверхневий, чи шпуровий варіант еманційної зйомки, заснований на знанні того, що відходи які містять великі

кількості ^{226}Ra , утворюють ^{222}Rn і його ореоли в покриваючих ґрунтах. Щільність потоку ^{222}Rn при оконтурюванні території хвостосховища «Лазо» коливалась від 0,011 до $7,38 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-2} \text{ сек}^{-1}$.

Оцінка якості захисних властивостей покриття хвостосховища «КБЖ» була проведена шляхом комплексних радіоекологічних досліджень, які включали еманційну зйомку; майданну емісійну радонову зйомку; відбір проб ґрунту і їх аналіз на вміст природних радіонуклідів; вибірково дозиметричну зйомку; вимірювання радону та продуктів його розпаду в атмосфері над хвостосховищем. Основні дослідження проводилися в п'яти точках, які характеризують різні варіанти покриття, місце розташування і час виконання рекультиваційних робіт. Була застосована розроблена методика вимірювань, яка заснована на сорбції радону активованим вугіллям і наступному аналізі експонованої касети на гамма-спектрометрі. Практично на всій території є перевищення нормативного значення для рекультивованого хвостосховища, що дорівнює $1 \text{ Бк}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$. Перевищення над фоновими значеннями складають від 5 до 72 разів.

В результаті проведених досліджень встановлено механізми міграції урану за профілем рекультиваційного шару, що обумовлені капілярним підняттям його з вологою. Високе забруднення рекультиваційного шару ^{210}Pb та ^{210}Po пояснюється, в основному, газовим переносом і розпадом радону і відповідно накопиченням продуктів його розпаду в цьому шарі.

У *шостому розділі* «УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ ПОВОДЖЕННІ МАТЕРІАЛАМИ З ПІДВИЩЕНИМ ВМІСТОМ ПРИРОДНИХ РАДІОНУКЛІДІВ» автором обґрунтовано методологію системи радіоекологічного моніторингу на підприємствах з видобутку та переробки руд і матеріалів, збагачених природними радіонуклідами.

Обґрунтовано, що при експлуатації підприємств з видобутку і переробки уранових руд обов'язковим є нормування викидів та скидів радіонуклідів у навколишнє середовище, а також контроль і облік викидів та скидів. При цьому, під час підземного вилуговування уранових руд обов'язковим є контроль таких місць: місце скидання технологічних вод у відстійники або у річкову (озерну) мережу; контроль підземних вод продуктивного горизонту, що підстилає водоносний горизонт; місце аерозольного викиду із системи вентиляції установки первинної переробки продуктивних розчинів; ґрунти в районі розташування свердловин підземного вилуговування. При переробці уранових руд моніторинг включає контроль наступних місць скиду та викидів: місце скиду хвостів у хвостосховище; місце скиду дренажних вод із хвостосховища у річкову (озерну) мережу; контроль підземних вод водоносних горизонтів в районі хвостосховища; місце аерозольного викиду з системи вентиляції гідрометалургійного заводу; хвостосховище відходів переробки уранових руд. При моніторингу навколишнього середовища території зони спостереження уранового об'єкта виконується контроль таких місць та наступних середовищ, де знаходиться людина: повітря; вода, яку безпосередньо може споживати людина з колодязя, свердловини; ґрунт; продукти харчування, що вирощуються на присадибних ділянках.

Аналіз експериментальних досліджень стану радіоактивного забруднення основних виробничих цехів колишнього уранового виробництва показав, що в таких будівлях, як №103, №104, № 2Б, №6, №95 і ряді інших накопичені значні обсяги

радіоактивних матеріалів. Вони в основному зосереджені в апаратах, ємностях і фрагментах обладнання колишнього виробництва і є джерелами як реального, так і потенціального радіаційного забруднення. Автором сформульовано основні стратегічні цілі реабілітації і розвитку промислового майданчика колишнього ВО «ПХЗ» за рахунок реалізації трьох стратегічних цілей, спрямованих на реабілітацію промислового майданчика; інноваційний розвиток промислового майданчика, а також його екологічну безпечність. Запропонована Стратегія включає набір стратегічних та оперативних цілей, яка здатна в довгостроковій перспективі на 10-20 років не тільки зберегти в економічно привабливому стані територію колишнього уранового виробництва ВО «Придніпровський хімічний завод», так й уникнути прогнозованих на сьогоднішній день радіаційних та екологічних ризиків.

Висновки в роботі достатньо повно відображений хід розв'язання поставлених в роботі завдань, містяться основні результати дисертаційного дослідження.

Відповідність дисертації та автореферату встановленим вимогам.

Дисертація й автореферат оформлені відповідно до сучасних вимог АК МОН України, регламентованих пп. 9, 10, 12–14 положення про «Порядок присудження наукових ступенів», затверджених постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року № 567 зі змінами. Зміст автореферату відповідає розділам дисертаційної роботи та її основним положенням. Висновки та результати дослідження належним чином відображають етапи дослідження, їх цілісність та взаємну обумовленість. Таблиці та рисунки, що розміщені в тексті автореферату, забезпечують належне уявлення про теоретичну і практичну цінність даної роботи.

Тематика досліджень відповідає паспорту спеціальності 21.06.01 – екологічна безпека за напрямками досліджень:

- пункт 1 (Обґрунтування теоретичних основ оцінок техногенного ризику, розроблення та пошук за їх допомогою оптимальних форм управління екологічною безпекою);

- пункт 2 (Розроблення наукових методів дослідження комплексної оцінки та прогнозування впливу техногенного забруднення на навколишнє середовище та людину);

- пункт 4 (Вивчення екологічної обстановки навколо атомних, теплових електростанцій, гірничо-видобувних підприємств, інших небезпечних об'єктів; обґрунтування й розробка заходів для поліпшення цієї обстановки);

- пункт 5 (Розроблення систем екологічного моніторингу й техногенно-екологічної безпеки регіонів, окремих екосистем. Заходи стабілізації та поліпшення стану довкілля).

- пункт 6 (Обґрунтування наукових засад безпечного видобування, зберігання, технології переробки, транспортування, захоронення, знешкодження радіоактивних та інших шкідливих речовин);

- пункт 7 (Вплив техногенно небезпечних об'єктів на навколишнє середовище, обґрунтування теоретичних і практичних засад виведення їх з експлуатації).

Зміст автореферату й основних положень дисертації ідентичний; при цьому не містить положень і результатів, захищених у кандидатській дисертації.

За структурою, мовою та стилем викладання матеріали дисертації відповідають вимогам до оформлення дисертацій, затвердженим МОН України (наказ № 40 від 12

листопада 2017 р.). Матеріали дисертації та автореферату чітко висвітлюють одержані здобувачем науково-практичні результати.

Оцінка мови та стилю викладення матеріалу.

Дисертаційна робота за структурою, мовою та стилем подання відповідає вимогам Міністерства освіти і науки України. Текст дисертації представлено технічно грамотною мовою, логічно та послідовно. Ступінь узагальнень, систематизації та формалізації відповідає рівню вимог до докторських дисертацій. Забезпечено взаємозв'язок проведених досліджень та отриманих результатів; викладення наукових положень, результатів і висновків здійснено аргументовано. Застосована в роботі термінологія є загально визнаною; стиль викладення результатів теоретичних і практичних досліджень, наукових положень, висновків та рекомендацій забезпечує доступність їх сприйняття.

Рекомендації стосовно використання результатів дисертації.

Результати досліджень рекомендовано застосовувати для підвищення ефективності прогнозування змін екологічної безпеки при поводженні з матеріалами, збагаченими природними радіонуклідами, і розробки системи радіоекологічного моніторингу, а також програм реабілітації та відновлення радіоактивно-забруднених територій у проектних установах, в науково-дослідних інститутах НАН України, промислових підприємствах та закладах вищої освіти відповідного профілю. Розроблені автором методики рекомендується використовувати під час проведення оцінки впливу на довкілля проектованої діяльності, а також стратегічної екологічної оцінки наслідків виконання документів державного планування, планів управління радіаційною безпекою як окремих об'єктів, так і уранодобувної галузі в цілому.

Зауваження щодо змісту та оформлення дисертації та автореферату:

В процесі аналізу змісту і структури дисертації та автореферату виникають зауваження змістовного та редакційного характеру:

1. Аналізуючи екологічні, соціальні та економічні проблеми поводження з матеріалами, що містять природні радіонукліди автор зосередився на характеристичні технологічних процесів видобутку та переробки уранових руд, а також місць розміщення радіоактивних відходів переважно в межах санітарно-захисних зон цих об'єктів. Варто було б детально проаналізувати механізми міграції радіонуклідів в об'єктах довкілля, а також оцінити рівні забруднення ґрунтів, підземних вод, атмосферного повітря на різних відстанях до об'єктів уранового виробництва, а також місць розміщення радіоактивних відходів та матеріалів.

2. Автором акцентується увага на тому, що місцеве населення активно використовувало відходи та матеріали, що містять природні радіонукліди в будівництві. Які рішення та рекомендації пропонуються автором для підвищення ефективності доступу громадськості до екологічної інформації, яка буде отримана в результаті проведення комплексного радіоекологічного моніторингу на території розміщення об'єктів уранового виробництва?

3. У розділі 2 на стор. 74, автор посилаючись на «Норми радіаційної безпеки...» та «Санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України» стверджує, що основними критеріями для будівель, в яких планується виконувати дезактиваційні

заходи, повинні бути критерії, засновані на аналізі ризику з реабілітації територій, що зазнали радіоактивного забруднення природними радіонуклідами. Треба було б зазначити, які ризики планується враховувати.

4. На рис. 3.5 (стор. 134 дисертації) наведено розташування точок вимірювання об'ємної активності радону з прив'язкою на місцевості за допомогою GPS навігатора, однак не пояснено, якими методами проводилась обробка експериментальних даних і чи застосовувалися для цього ГІС-технології.

5. Чим обумовлена різна глибина відбору проб ґрунту в шурфах за профілем рекультиваційного шару (табл. 5.12, стор. 238).

6. Кожний розділ містить значний за обсягом матеріал, що містить загальновідомі дані та факти, які доцільно було б винести у Додатки або надати посилання на відповідне джерело інформації.

7. Бажано було б проаналізувати, які міждержавні, державні, цільові та регіональні радіоекологічні програми реалізуються в Україні, і яка їх ефективність у забезпеченні радіаційної безпеки територій?

8. Яким чином визначається необхідна для достовірної радіоекологічної оцінки рівнів радіоактивного забруднення мінімальна кількість та місце розташування точок/постів спостереження в межах певних промислових об'єктів, шламосховищ, періодичність досліджень тощо?

9. Недостатньо повно приділено увагу міжнародному досвіду з моделювання поширення радіонуклідів у компонентах навколишнього середовища: ґрунтах, атмосферному повітрі, поверхневих водоймах, донних відкладеннях, а також можливостям використання програмних продуктів в даній дисертаційній роботі.

10. Які заходи рекомендується вживати для ідентифікації місць знаходження технологічних відходів з підвищеним вмістом природних радіонуклідів, визначення їх кількісного й якісного складу, а також визначення напрямків їх дезактивації?

11. Які протирадонові заходи можуть бути застосовані у населених пунктах, що розташовані на територіях, прилеглих до підприємств уранодобувної галузі, а також місць розміщення радіоактивних відходів?

12. Які матеріали рекомендується використовувати для ізолювання старих відпрацьованих горизонтів і зон обвалення на шахтах Кривбасу для попередження потрапляння радону до вхідного свіжого струменю повітря і забруднення повітря на робочих горизонтах?

13. Яке програмне забезпечення рекомендується застосовувати для візуалізації (картографування) отриманих результатів та забезпечення доступу до цих результатів контролюючих органів та громадськості?

14. Яким чином можна покращити бар'єрні функції захисного покриття хвостосховищ та інженерних споруд колишньої інфраструктури уранового виробництва ВО «ПХЗ» і мінімізувати розширення зон впливу джерел радіоактивного забруднення повітряними та водними шляхами міграції?

15. По тексті дисертації та автореферату є певні орфографічні та стилістичні недоліки, відхилення в оформленні тексту роботи та списку використаних джерел літератури.

Зазначені зауваження не знижують цінність отриманих дисертантом результатів і не носять принципового характеру.

Загальний висновок.

Дисертаційна робота Сороки Юрія Миколайовича «Наукові основи забезпечення екологічної безпеки при поводженні з матеріалами з вмістом природних радіонуклідів» є завершеною науковою працею, в якій отримано нові результати розвитку наукових основ оперативного управління екологічною безпекою при поводженні з матеріалами з вмістом природних радіонуклідів та застосування технологій зменшення забруднення радіонуклідами навколишнього середовища, що є передумовою забезпечення радіоекологічного захисту населення та довкілля в Україні.

Дисертаційна робота виконана на високому науковому рівні і є цілісним науковим дослідженням, має наукову та практичну цінність, відповідає паспорту спеціальності 21.06.01 – екологічна безпека. За актуальністю, новизною, теоретичною та практичною цінністю, змістом, оформленням та структурою вона відповідає вимогам п.п. 9, 10, 12–14 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567, а її автор Сорока Юрій Миколайович заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека.

Офіційний опонент:

Завідувач кафедри екології та технологій
захисту навколишнього середовища
Національного технічного університету
«Дніпровська політехніка»,
лауреат Державної премії України в галузі
науки і техніки, доктор технічних наук
(21.06.01 – екологічна безпека), професор

А.В. Павличенко

Підпис офіційного опонента Павличенка А.В.
посвідчую:

Вчений секретар
НТУ «Дніпровська політехніка»



Т.М. Калужна