

УДК 378.4

Формування компетентності з основ радіаційної безпеки бакалаврів середньої освіти: теоретико-практичний аналіз

FORMATION OF COMPETENCE IN THE BASICS OF RADIATION SAFETY FOR BACHELORS OF SECONDARY EDUCATION: THEORETICAL AND PRACTICAL ANALYSIS

ТИМОЩУК Олександр – кандидат педагогічних наук, здобувач ступеня доктора наук за спеціальністю «011 Освітні, педагогічні науки», Рівненський державний гуманітарний університет, вул. Платова 31, м. Рівне, 33028, Україна

TYMOSHCHUK Oleksandr – Candidate of Pedagogical Sciences, Doctoral Candidate in the specialty «011 Educational, Pedagogical Sciences», Rivne State University of the Humanities, 31 Plastova St., Rivne, 33028, Ukraine

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-4367-4692>

DOI <https://doi.org/10.54891/2786-7013-2023-2-10>

Анотація. Стаття присвячена дослідженню сучасного стану теоретичної та практичної розробленості проблеми формування компетентності з основ радіаційної безпеки бакалаврів середньої освіти. Зокрема досліджено основні лейтмотиви міжнародного науково-педагогічного співтовариства з окресленої тематики. Виокремлено три напрями досліджень формування компетентності з радіаційної безпеки бакалаврів середньої освіти: змістово-аксіологічного, організаційно-методичного спрямування та механізмів співпраці зацікавлених інстанцій. Зафіксовано, що переважна більшість досліджень зумовлена радіаційними аваріями на ядерних об'єктах. Аналіз «негативного» досвіду дозволяє визначити ризики й зацентувати на цьому освітній вплив. В окремих випадках вивчається превентивний підхід щодо впливу малих доз іонізуючого випромінювання в побуті. Ідентифіковано низку досліджень зосереджених на вивченні ефективності співпраці освітніх закладів із спеціалізованими організаціями у сфері використання ядерної енергії та радіаційної безпеки. Серед найбільш неординарних можна виділити такі моделі як: «соціально-педагогічна проблема (освітні заклади) – технічна підтримка (обслуговуюча організація) – експертна оцінка (контролюючий орган)», «техногенна аварія – соціальна проблема – залучення громадськості – формування базових компетентностей з РБ – виконання колективного технічного завдання» та «усестороннього громадського та урядового обговорення». Аналізуючи сучасний стан дослідження формування компетентності з основ радіаційної безпеки бакалаврів середньої освіти виокремлено низку малодосліджених аспектів, а саме: відсутня однаковість у вимогах до змісту навчання РБ БСО; не визначено залишається зміст та обсяг підготовки з РБ вчителів загальноосвітньої школи різних предметних спрямувань; спірним залишається питання формальної регламентації способів забезпечення формування компетентності з основ РБ БСО; не існує чітких організаційно-педагогічних підходів організації формування компетентності з основ РБ БСО в умовах університету; стан розробленості спеціалізованих методів, засобів та форм навчання РБ перебуває на досить низькому рівні.

Ключові слова: компетентність з основ радіаційної безпеки, бакалавр середньої освіти, навчання з питань радіаційних ризиків, безпека життєдіяльності, радіаційна грамотність.

Summary. The article is devoted to the study of the current state of theoretical and practical development of the problem of forming competence in the basics of radiation safety for bachelors of secondary education. In particular, the main leitmotifs of the international scientific and pedagogical community on this topic are studied. Three directions of research on the formation of competence in radiation safety of bachelors of secondary education are distinguished, namely: content and axiological, organizational and methodological directions and mechanisms of cooperation of interested authorities. It has been recorded that the vast majority of studies are driven by radiation accidents at nuclear facilities. The analysis of «negative» experience allows us to identify risks and focus educational impact on them. In some cases, a preventive approach to exposure to low doses of ionizing radiation in everyday life was studied. A number of studies have been identified that focus on the effectiveness of cooperation between educational institutions and specialized organizations in the field of nuclear energy use and radiation safety. Among the most extraordinary models are the following: «socio-pedagogical problem (educational institutions) – technical support (service organization) – expert assessment (regulatory authority)», «man-made accident – social problem – public involvement – formation of basic safety competencies – implementation of collective terms of reference» and «comprehensive public and governmental discussion». Analyzing the current state of research on the formation of competence in the basics of radiation safety of bachelors of secondary education, a number of little-studied aspects have been identified, namely: there is no unanimity in the requirements for the content of teaching RSB; the content and scope of RSB training for secondary school teachers of different subject areas remain unclear; the issue of formal regulation of ways to ensure the formation of competence in the basics of RSB remains controversial; there are no clear organizational and pedagogical approaches to organizing the formation of competence in the basics of RSB; there are no clear organizational and pedagogical approaches to the formation of competence in the basics of RSB.

Key words: competence in the basics of radiation safety, bachelor of secondary education, training in radiation risks, life safety, radiation literacy.

Вступ. Зростання попиту на електроенергію, і як наслідок, збільшення частки її атомної генерації, а також підвищення ризиків використання ядерної зброї зумовлюють необхідність підвищення рівня компетентності з основ радіаційної безпеки усіх верств населення. Радіаційна безпека як окрема галузь чітко окреслена в змістовому, методичному та аксіологічному аспекті у вузькоспецифічних галузях виробництва та сферах надання послуг. Зокрема, у сфері виробництва ядерного палива, атомної генерації електроенергії, радіологічної медицини, спеціальних досліджень, тощо. Працівники згаданих сфер у своїй діяльності повинні володіти високим рівнем компетентності з радіаційної безпеки (далі – РБ), оскільки це є гарантом збереження їхніх здоров'я та працездатності.

Решта частина населення, яка не стикається повсякденно із джерелами іонізуючого випромінювання, з огляду на зміст навчання безпекових й працезохоронних дисциплін в закладах освіти, інструкцій з охорони праці за професіями, повинна володіти початковим (базовим) рівнем знань та умінь з питань радіаційних ризиків. Водночас, територія нашої держави є однією із найзабрудненіших продуктами радіоактивного розпаду (внаслідок аварії на ЧАЕС), що зумовлює велику кількість ризиків радіаційного характеру. Крім того, нині в Україні діє 15 атомних енергоблоків, які в умовах халатної експлуатації можуть стати джерелом радіаційного забруднення. Разом з тим загрози воєнного характеру зумовлюють ризики застосування ядерної зброї, що може призвести до радіаційної катастрофи.

У таких умовах, компетентність з РБ набуває архіважливого значення в сучасних реаліях життєдіяльності населення нашої країни. Формування компетентності з основ РБ детерміноване потребами сучасного виробництва, екологічної та національної безпеки й освіти зокрема. В умовах сучасності Національні системи освіти повинні забезпечувати формування компетентності з основ радіаційної безпеки на усіх етапах навчання населення. Чи це дійсно так, та чи зазначені питання досліджуються або впроваджуються у практику сучасної освіти ми вирішили дослідити в рамках цієї статті.

Аналіз останніх досліджень. Сучасний стан дослідження проблеми формування компетентності з основ РБ майбутніх вчителів середньої освіти, в сучасній інтерпретації бакалаврів середньої освіти (далі – БСО), має досить обмежені та вузькоспеціалізовані наукові результати. Переважна більшість з них доводить необхідність формування компетентності населення з РБ в країнах, які постраждали від аварій на ядерних об'єктах або котрі знаходяться в безпосередній близькості від радіаційно небезпечних об'єктів. Досить близьким у контексті нашого дослідження є доробок А. Текбііка (Ahmet Tekbiyik), який доводить ефективність методу спільного навчання при формуванні об'єктивних поглядів бакалаврів (майбутніх вчителів природничих дисциплін) щодо використання ядерної енергії. Педагогом доведено, що позитивна зміна ставлення до ядерного виробництва відбувається за умови отримання науково-обґрунтованих знань, обізнаності та пропозицій щодо зменшення ризиків [12, с. 242–248]. Досить актуальним є дослідження Н. Ранасінгхе (Nirodha Ranasinghe), У. Перера (Uththara Perera), П. Махакумара (Prasad Mahakumara), Н. Ратнавіра (Nirasha Rathnaweera), П. Ратнайка (Priyanga Rathnayake), Т. Тода (Takehiro Toda), Т. Імото (Takeshi Imoto) [11], яке висвітлює активне використання демонстраційних заходів з метою підвищення рівня обізнаності населення з питань радіаційних загроз. За підтримки міжнародних партнерів, таких як Міжнародне агентство з атомної енергії (МАГАТЕ) та Токійський університет (Японія), Шрі-Ланка ініціювала комплексний, довгостроковий проект підготовки вчителів природничих наук, які забезпечуватимуть належний рівень радіаційної компетентності учнів середніх шкіл. Критично важливим, на думку М. Хачія та М. Акаші, є радіаційна грамотність усіх верств населення. Дослідники вивчали попит на навчальні курси з РБ, до аварії на електростанції «Фукусіма-Дай-Ічі» (Японія) та після. Поставарійний період засвідчив, що попит на такі курси значно зріс не тільки серед професіоналів-енергетиків та медичних працівників, а й серед вчителів [7]. Така ситуація пояснювалася потребами загальноосвітніх шкіл у педагогах, котрі володіли б не просто базовими знаннями, а готовністю до реагування на радіаційні надзвичайні ситуації. Вказані дослідження репрезентують загальні, найбільш притаманні вектори наукових розвідок у сфері формування компетентності з основ РБ БСО, однак у повній мірі не розв'язують важливих завдань педагогічного вчення у зазначеному напрямі.

Формування компетентності з основ РБ як науково-педагогічна проблема та навчально-практичні кейси розглядалися в окремих напрямках, переважно в країнах та на територіях, постраждалих від наслідків аварій на ядерних об'єктах або потенційно небезпечних у цьому контексті. Важливим аспектом, за таких умов, є належна підготовка вчителів у даному напрямі, здатних до провадження відповідної просвітницької діяльності, готових до професійного реагування на радіаційні загрози і, як наслідок сприяти збереженню здоров'я школярів у короткостроковій (у разі аварій) та довгостроковій перспективі (радіаційна безпека у продовж життя). Фрагментарність досліджень та практик формування компетентності з основ радіаційної безпеки вчителів потребують комплексного вивчення, виділення

основних напрямів, диференціації методів досягнення, виділення невисвітлених проблем.

Мета статті – дослідити сучасний стан теоретичної та практичної розробленості проблеми формування компетентності з основ радіаційної безпеки бакалаврів середньої освіти.

Виклад основного матеріалу. Переважна більшість публікацій у сфері формування компетентності з основ РБ БСО присвячена окремим складовим цього процесу, змісту, формам та засобам навчання. З метою певного диференціювання напрацьованих нами виокремлено наступні групи за сферами наукових інтересів та освітніх практик.

Перша група досліджень зацентрована на аксіологічній складовій формування компетентності з основ РБ МБО. У дослідженні Р. М. Анжос (R. M. Anjos), А. Факюре (A. Facure) та групи дослідників Федерального університету Флуміненсе (Бразилія) науково обґрунтовано необхідність підготовки фахівців середніх шкіл з РБ [1]. Таке дослідження засноване на екологічних наслідках радіаційної аварії в Гоянії, яка сталася у 1987 р. Дослідники в рамках актуалізації зазначають, що університетська підготовка БСО недосконала у напрямку РБ, оскільки вчителі не можуть просвітити своїх учнів, коли трапляються радіаційні чи ядерні аварії.

У дослідженні А. Войчик (Andrzej Wojcik), К. Хамза (Karim Hamza), Я. Лундегорд (Iann Lundegård), М. Енґаг (Margareta Enghag), К. Хаґлунд (Karin Haglund), Л. Арванітіс (Leena Arvanitis), Л. Шенк (Linda Schenk) значна увага зосереджена на обґрунтуванні змісту навчання радіаційному захисту від низьких доз іонізуючого випромінювання, які оточують людину у побуті [13]. Вважаємо, що це дослідження має принципові відмінності від попередньо проаналізованих, оскільки формування компетентності з РБ МБО відбувається в рамках превентивного підходу, а не наслідкового. Педагогічний підхід у цьому дослідженні – навчання «на чужих помилках», на нашу думку, ґрунтується на досягненнях науковців та практиків у сфері фізики, хімії, медицини, що дозволяє забезпечити умови обґрунтування змісту навчання з РБ ще до настання нещасних випадків чи впливу на здоров'я школярів. Лейтмотивом зазначеної праці є виховання науково-грамотних членів суспільства в контексті радіаційного захисту на рівні загальноосвітньої школи. Прийняття рішень на основі науково-об'єктивних знань дозволяє приймати правильні рішення й уникати загроз радіаційного характеру.

Британські дослідники на чолі з Т. Колдвеллом вивчали питання щодо культури РБ в умовах університетської підготовки, в тому числі вчителів. Робоча група розробила онлайн-тестування, метою якого було визначення поглядів майбутніх фахівців на РБ [4]. Результати дослідження яскраво репрезентували тривожні недоліки формування культури РБ, особливо в комунікації та навчанні. За результатами дослідження дослідниками надано рекомендації змістово-аксіологічного характеру щодо необхідності інтегрування аспектів РБ в освітні програми університетів.

Власне, дослідження аксіологічного характеру, у значній мірі ґрунтуються на соціально-важливих проблемах пов'язаних із використанням ядерних та радіаційних технологій. Зокрема найбільш поширеною передумовою обґрунтування важливості формування компетентності з основ РБ МБСО є негативний досвід (аварії та катастрофи), більш прагматичним є досвід превентивного навчання РБ, а також створення умов для формування культури РБ під час навчання у закладах вищої освіти.

Друга група досліджень присвячена пошуку ефективних методів та засобів формування компетентності з основ РБ МБСО. Зокрема в роботі Е. Фурата (Etsuko FURUTA), К. Кусама (Keiji KUSAMA) обґрунтовано набір засобів для організації практичної підготовки у сфері радіаційної безпеки [6].

Для цього було використано невеликі фрагменти радіоактивних матеріалів з низькою активністю, для дослідження проникаючої здатності випромінювання різних типів. Для демонстрації радіаційних загроз побутового характеру використовувалися невеликі порції радону. Також дослідники наголошують на важливості дослідження лабораторним методом різних матеріалів для оцінки їхньої екрануючої здатності, тобто захисних властивостей. Вважаємо, що практико-орієнтований підхід зазначеної праці, дозволяє сформувати мінімально необхідний рівень навичок з РБ, який виступатиме у ролі базису формування предметної компетентності МБСО, зокрема її діяльнісної складової.

Р. Джонсон (Johnson, R. R. Jr.) вважає, що ефективна навчальна презентація сприятиме чіткому явленню людини про фізичні основи утворення та дії іонізуючого випромінювання. Презентація дозволяє забезпечити високий рівень уявлення про фізику альфа-, бета- та гамма-випромінювання, а це відповідно впливає на уявлення про радіаційні ризики. На думку дослідника, науково-практичний, ефективно унаочнений підхід пояснення радіаційних ризиків дозволяє забезпечити формування більш високого рівня компетентності з РБ [8]. На нашу думку дидактика використання наочностей досить важливий аспект вивчення РБ, оскільки теоретична складова закладає ґрунт сформованості належного рівня компетентності з основ РБ МБСО. Особливо ефективною й водночас складною є методика використання сучасних засобів ІКТ, зокрема комп'ютерних презентацій для кращого розуміння радіаційних ризиків.

У якості підвищення рівня сформованості компетентності з РБ Т. Лоуренс (Lawrence T.) пропонує проводити навчальні заходи у формі семінару. Автор вважає, що семінар одна із найефективніших форм швидкого базового оволодіння певними навичками, а також інструмент неперервної освіти – підвищення кваліфікації з РБ в тому числі. Методика проведення семінару з РБ за Лоуренсом ґрунтується на чотирьох взаємопов'язаних етапах: різні припущення, теорії, процеси та практичні підходи [5]. На нашу думку, такий підхід дозволяє зекономити тривалість на вивчення певних аспектів РБ, максимально зосередитись на об'єкті вивчення, однак вимагає певної попередньої підготовки. Припускаємо, що семінар як форму організації навчання МБСО доцільно застосовувати як елемент неформальної освіти, у позаурочний час.

Групою австралійських науковців розроблено й впроваджено онлайн-курс з радіаційної безпеки для самостійного опрацювання. Курс розрахований на майбутніх вчителів природничих наук, які працюватимуть у загальноосвітніх школах Нового Уельсу. Роль курсу ґрунтується на максимальному унаочненню складної теоретичної інформації про РБ, а також можливість самоконтролю рівня засвоєння знань [9]. Безумовно, що використання засобів веб-технологій є досить дієвим у сучасному освітньому середовищі, однак не новим. Вважаємо за доцільне у більш повній мірі дослідити методику використання веб-ресурсів у контексті формування компетентності з основ РБ МБСО.

Третя група досліджень зосереджена на вивченні ефективності співпраці освітніх закладів із спеціалізованими організаціями у сфері використання ядерної енергії та радіаційної безпеки. Яскравим зразком таких досліджень є публікація групи вчених Софійського університету (Болгарія), які досліджували інтегрування навчального курсу «Радіація і людина» в освітній процес загальноосвітньої школи й відповідну підготовку вчителів-предметників. Вивчення курсу передбачало забезпечення навчально-методичним забезпеченням, наочностями, лабораторними зразками.

Підтримка забезпечувалася атомною електростанцією «Козлодуй» (Болгарія) й Національним центром радіобіології та радіаційного захисту (Болгарія) [14]. Таким чином педагогічні підходи запропоновані вченими, отримали експертну оцінку та належне матеріально-технічне забезпечення. Вважаємо, що реалізація проекту містить чітку взаємопов'язану структуру: *соціально-педагогічна проблема* (освітні заклади) – *технічна підтримка* (обслуговуюча організація) – *експертна оцінка* (контролюючий орган).

Досить ефективним вважаємо досвід засновників проекту Safecast, заснованого в результаті аварії на «Фукусіма-Дай-Ічі» (Японія). Його створення було ініційоване групою активістів та науковців спільно з МАГАТЕ, з метою дослідження місцевості на предмет радіаційного забруднення. Загалом, проект «Safecast» і подібні зусилля можна вважати реальними тестами принципів і можливостей «громадянської науки», і тому їх результати варто вивчити, яку інколи називають «наукою натовпу». Представниками з усієї країни, в тому числі студентами та викладачами закладів освіти, проводився збір реальних показників радіаційного фону у певній місцевості за допомогою радіометричного обладнання, обладнаного GPS-модулем [3]. Унаслідок таких заходів формувалася онлайн карта про забруднення території країни, шляхом засобів громадської науки. В цьому випадку реалізація проекту має дещо іншу структуру: *техногенна аварія – соціальна проблема – залучення громадськості – формування базових компетентностей з РБ – виконання колективного технічного завдання*. Вважаємо, що такий досвід має стосунок до організації життєво-важливих проєктів у поєднанні із створенням умов для інформальної освіти населення з питань РБ.

Окреслені приклади співпраці освітніх закладів із спеціалізованими організаціями мають певні відмінності, зокрема з точки зору масштабності, передумов виникнення та принципів функціонування.

Неординарним є підхід співпраці описаний у дослідженні дослідників А. Попп, Т. Панерас та Р. Доулер, який ґрунтується на прикладному навчанні РБ та інформаційній роботі Австралійська організація ядерної науки і технологій (ANSTO). У цьому випадку організація обґрунтовує та встановлює так званий еталон навчання радіаційної безпеки. В якості стейкхолдерів ANSTO спілкується з широким колом різних зацікавлених сторін, включаючи громадські групи, учнів, студентів університетів, учителів, регуляторних службовців, представників промисловості та уряду [10]. Зрештою усі зацікавлені сторони висувають власні вимоги, і як наслідок, формується освітній стандарт підготовки з РБ усіх верств населення, погоджений громадськими, державними та приватними організаціями. Позитивним у такому підході ми вважаємо попередні усесторонні обговорення у підготовці змісту навчання РБ, що дозволяє мінімізувати прогалини у формуванні компетентності з основ РБ.

Серед вітчизняних досліджень варто виокремити напрацювання Р. Андрійчук та Р. Васильєвої, яке присвячене емпіричним дослідженням визначення рівня сформованості вмінь та навичок майбутніх педагогів щодо безпечного поведіння та корекції поведінки учнів в зоні радіаційного контролю. Напрацювання педагогів інтегровані в курс «Охорона праці» при вивченні теми «Радіаційна безпека», яка ґрунтується на «географічних особливостях регіону, завданнях соціального захисту, збереженні здоров'я і адаптації населення, яке мешкає в забрудненій зоні» [1, с. 16–17]. Підхід дослідників передбачав моделювання діяльності вчителя щодо захисту учнів від ураження радіонуклідів і організації лікувально-профілактичного харчування.

Окреслений досвід формування компетентності з основ РБ БСО характеризується значним обсягом різносторонніх досліджень, які не мають цілісного характеру реалізації. З різних причин не має одностайності в змісті навчання, оскільки його обґрунтування має різне аксіологічне підґрунтя. Також досить розрізненими є погляди щодо методичних підходів навчання БСО, одні вказують на важливість прикладного навчання із застосуванням лабораторного підходу, інші на необхідність використання ІКТ- та Веб-технологій. Спільною ознакою більшості досліджень є превентивна складова як змісту так і методів навчання. Разом з тим, більшість дослідників притримуються думку щодо необхідності залучення експертів та контролюючих органів у сфері РБ до розробки нових технологій формування компетентності з основ РБ БСО.

Висновки. Резюмуючи проведені дослідження можна задекларувати низку перехідних тверджень, щодо сучасного стану формування компетентності з основ РБ БСО, а саме:

- відсутня одностайність у вимогах до змісту навчання РБ БСО;

- не визначеним залишається зміст та обсяг підготовки з РБ вчителів загальноосвітньої школи різних предметних спрямувань;

- спірним залишається питання формальної регламентації способів забезпечення формування компетентності з основ РБ БСО;

- не існує чітких організаційно-педагогічних підходів організації формування компетентності з основ РБ БСО в умовах університету;

- стан розробленості спеціалізованих методів, засобів та форм навчання РБ перебуває на досить низькому рівні.

На часі створення цілісного механізму формування компетентності з основ РБ БСО, який дозволив би вирішити окреслені проблеми й адаптувати цей процес до сучасних вимог. Разом з тим необхідно інтегрувати результати проаналізованих напрацювань при розробці системи формування компетентності з РБ БСО, особливий акцент при цьому необхідно зосередити на впровадженні засобів новітніх цифрових технологій.

Список використаних джерел:

1. Андрийчук Р. Г., Васильєва Р. Ю. Підготовка майбутніх вчителів до формування безпечної поведінки школярів в зоні радіаційного контролю. *Наука і освіта*. 2008. № 1–2. С. 14–18.
2. Anjos R. M., et al. Radioactivity teaching: Environmental consequences of the radiological accident in Goiânia (Brazil). *American Journal of Physics*. 2001. V. 69. 3. P. 377–381.
3. Brown Azby, et al. Safecast: successful citizen-science for radiation measurement and communication after Fukushima. *Journal of Radiological Protection*. 2016. V. 36. 2. 82 p.
4. Coldwell T., et al. The status of the radiation safety culture within the higher education, research and teaching sectors in the UK. *Journal of Radiological Protection*. 2020. V. 40. 4. 1406 p.
5. Dauer Lawrence T. Facilitating effective radiation safety workshops: Adult learning theories. *Health Physics*. 2003. V. 85. P. 49–55.
6. Furuta Etsuko, Kusama Keiji. Teaching materials for radiation training and user guides. *Radiation Safety Management*. 2014. V. 13. 1. P. 1–8.
7. Hachiya Misao, Akashi Makoto. Lessons learned from the accident at the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant – more than basic knowledge: education and its effects improve the preparedness and response to radiation emergency. *Radiation protection dosimetry*. 2016. V. 171. 1. P. 27–31.
8. Johnson JR. R. R. Effective Presentation of Radiation Safety Training – Risk Communication: An Important Function of Radiation Safety Training. *Health physics*. 1999. V. 76. P. 10–15.
9. Metcalfe R. D., et al. A web-based resource for radiation safety courses. In: Proceedings of The Australian Conference on Science and Mathematics Education. 2002. P. 90.
10. Popp Andrew, Paneras Tina, Dowler Rod. Enhancing radiation safety in Australia through applied training and outreach. 2017. P. 72.
11. Ranasinghe Nirodha, et al. Development of radiation literacy among secondary school students in SRI LANKA. *Journal of Environment and Safety*. 2019. V. 10. 2. P. 37–40.
12. Tekbiyik Ahmet, et al. The use of jigsaw collaborative learning method in teaching socio-scientific issues: The case of nuclear energy. *Journal of Baltic Science Education*. 2015. V. 14. 2. P. 237–253.
13. Wojcik Andrzej, et al. Educating about radiation risks in high schools: towards improved public understanding of the complexity of low-dose radiation health effects. *Radiation and Environmental Biophysics*. 2019. V. 58. P. 13–20.
14. Kostadinova B., et al. Implementation of radioecological education in secondary school by a 'Radiation and man' elective course. 2004. P. 1–16.

References

1. Andriichuk R. H., Vasylieva R. Yu. (2008). Pidhotovka maibutnix vchyteliv do formuvannya bezpechnoi povedinky shkolariv v zoni radiatsiinoho kontroliu [Preparation of future teachers for the formation of safe behavior of schoolchildren in the radiation control zone]. *Nauka i osvita – Science and education*, 1–2, 14–18 [in Ukrainian].
2. Anjos R. M., et al. (2001). Radioactivity teaching: Environmental consequences of the radiological accident in Goiânia (Brazil). *American Journal of Physics*, 69, 3, 377–381.
3. Brown Azby, et al. (2016). Safecast: successful citizen-science for radiation measurement and communication after Fukushima. *Journal of Radiological Protection*, 36, 2, 82.
4. Coldwell T., et al. (2020). The status of the radiation safety culture within the higher education, research and teaching sectors in the UK. *Journal of Radiological Protection*, 40, 4, 1406.
5. Dauer Lawrence T. (2003). Facilitating effective radiation safety workshops: Adult learning theories. *Health Physics*, 85, 49–55.
6. Furuta Etsuko, Kusama Keiji. (2014). Teaching materials for radiation training and user guides. *Radiation Safety Management*, 13, 1, 1–8.
7. Hachiya Misao, Akashi Makoto. (2016). Lessons learned from the accident at the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant – more than basic knowledge: education and its effects improve the preparedness and response to radiation emergency. *Radiation protection dosimetry*, 171, 1, 27–31.
8. Johnson JR. R. R. (1999). Effective Presentation of Radiation Safety Training – Risk Communication: An Important Function of Radiation Safety Training. *Health physics*, 76, 10–15.
9. Metcalfe R. D., et al. (2002). A web-based resource for radiation safety courses. In: Proceedings of The Australian Conference on Science and Mathematics Education.
10. Popp Andrew, Paneras Tina, Dowler Rod. (2017). Enhancing radiation safety in Australia through applied training and outreach.
11. Ranasinghe Nirodha, et al. (2019). Development of radiation literacy among secondary school students in SRI LANKA. *Journal of Environment and Safety*, 10, 2, 37–40.
12. Tekbiyik Ahmet, et al. (2015). The use of jigsaw collaborative learning method in teaching socio-scientific issues: The case of nuclear energy. *Journal of Baltic Science Education*, 14, 2, 237–253.
13. Wojcik Andrzej, et al. (2019). Educating about radiation risks in high schools: towards improved public understanding of the complexity of low-dose radiation health effects. *Radiation and Environmental Biophysics*, 58, 13–20.
14. Kostadinova B., et al. (2004). Implementation of radioecological education in secondary school by a 'Radiation and man' elective course.