

DOI

УДК 621.039.7: 551.583

Ольховик Ю.О.

Ольховик Ю.О., доктор технічних наук, Національний авіаційний університет, ORCID: 0000-0001-5653-2370, yolkhovyk@ukr.net

КЛІМАТИЧНІ ЗМІНИ І ЗАХОРОНЕННЯ НА МІСЦІ ОБ'ЄКТІВ НА МАЙДАНЧИКУ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ СТАНЦІЇ

Нині в Зоні відчуження на майданчику Чорнобильської атомної електростанції проводяться роботи з остаточного закриття та консервації енергоблоків 1–3, особливістю яких є наявність уран-графітового реактора великої потужності каналного (РВПК). Під час експлуатації реакторний графіт стає радіоактивним унаслідок накопичення у графіті довгоживучого радіонукліда ^{14}C . Додатковий вклад вносить наведена радіоактивність технологічних домішок (^{36}Cl , ^{60}Co) і просипи продуктів поділу та фрагментів ядерного палива. Основна проблема виведення з експлуатації ядерних установок з уран-графітовим реактором великої потужності каналним пов'язана з необхідністю вибору оптимальних методів поводження з великими обсягами відпрацьованого графіту. Розглянуто можливість застосування технології приповерхневого захоронення знятих з експлуатації уран-графітових реакторів великої потужності каналних, відомої як «зелений курган», до енергоблоків 1–3 Чорнобильської атомної електростанції. Ідентифіковано природні чинники, можлива дія яких протягом часу, необхідного для розпаду радіонуклідів ^{14}C і ^{36}Cl до прийнятого рівня, може призвести до руйнування приповерхневих сховищ для захоронення на майданчику Чорнобильської атомної електростанції. Такими чинниками визначено реабілітацію річкової долини річки Прип'ять і вразливість сховищ приповерхневого захоронення до впливу циклічних кліматичних змін. Кліматичні зміни мають бути враховані під час ухвалення рішень щодо захоронення на місці з огляду на те, що процеси розпаду довгоживучих радіонуклідів, деградації матриць інкорпорованих радіоактивних відходів, строки функціонування захисних бар'єрів у часовому відношенні відповідні до динаміки змін клімату. Відзначено необхідність урахування впливу глобальних змін клімату на інтенсивність зміни геоморфологічних характеристик місцезнаходжень «зелених курганів». Особливо небезпечним і потужним природним чинником, що неминуче призведе до руйнації «зелених курганів», є вплив вірогідного зледеніння. Підкреслено актуальність вирішення наукового завдання комплексного поєднання знань щодо формування фізико-географічних особливостей Полісся в останні 200 тисяч років із моделюванням кліматичних змін у майбутні 100 тисяч років, що дозволить обґрунтовано прийняти або відхилити саму ідею приповерхневого захоронення довгоіснуючих радіоактивних відходів на площадці Чорнобильської атомної електростанції.

Ключові слова: Чорнобильська АЕС, опромінений реакторний графіт, приповерхнєве захоронення, зелений курган, кліматичні зміни, зледеніння.

Вступ. Нині в Зоні відчуження на майданчику Чорнобильської атомної електростанції (далі – АЕС) проводяться роботи з остаточного закриття та консервації енергоблоків 1–3, особливістю яких є наявність реактора великої потужності каналного (далі – РВПК), у якому основу активної зони РБМК-1000 становить графітовий циліндр заввишки 7 м і діаметром 11,8 м, складений із блоків меншого розміру, який виконує роль сповільнювача. Під час експлуатації реакторний графіт стає радіоактивним унаслідок накопичення у графіті довгоживучого радіонукліда ^{14}C , питома активність якого зростає з дозою. Для проєктних флюенсів реакторів РВПК-1000 ($\sim 2 \times 10^{22}$ н/см²) питома активність ^{14}C може досягати 3,7Еб Бк/г. Окрім того, додатковий вклад вносить наведена радіоактивність технологічних домішок (^{36}Cl , ^{60}Co) і просипи продуктів поділу та фрагментів ядерного палива, що утворюються внаслідок різних інцидентів або аварій. Потужність дози γ -випромінювання від реакторного графіту таких забруднених блоків на відстані 0,5 м може досягати 600 мкЗв /с.

Огляд поточного стану. Основна проблема виведення з експлуатації ядерних установок із РВПК пов'язана з необхідністю вибору оптимальних методів поводження з великими обсягами відпрацьованого графіту, який посідає особливе місце під час поводження з накопиченими радіоактивними відходами (далі – РАВ) з огляду на небезпеку деструкції генної інформації в разі входження радіовуглецю у ДНК людини. Загальна кількість опроміненого реакторного графіту у складі енергоблоків 1–3 Чорнобильської АЕС оцінюється в 5 700 тон.

Дотепер як в Україні, так і у світі не визначено стратегію поводження з опроміненим реакторним графітом (далі – ОРГ). Міжнародне агентство з атомної енергії (далі – МАГАТЕ) зазначає, що більшість країн визнають за доцільне захоронення ОРГ в геологічному сховищі на противагу дезактивації [1].

Останнім часом, з огляду на реалізований у США проєкт зняття з експлуатації важководних реакторів на майданчику Саванна-Рівер шляхом їх консервації на період не менше 1 000 років [2] і зняття з експлуатації

в РФ промислового уран-графітового реактора ЭИ-2 на майданчику «Северного химического комбината» [3], в Україні формується думка щодо можливості застосування стратегії захоронення на місці енергоблоків ЧАЕС, включно з об'єктом «Укриття» [4].

Специфіку застосування рішення зняття з експлуатації промислового уран-графітового реактора ЭИ-2 і в майбутньому реакторів типу АД зумовлено тим, що ці реактори експлуатувались під землею. Підреакторний простір і металоконструкції заплановано заповнити бетоном, а реакторний простір із графітовою кладкою – бентонітовими глинами.

З огляду на розміри енергоблоків із реакторами РВПК заввишки 75 метрів, розташованих на поверхні, концепція зняття з експлуатації шляхом захоронення на місці розвинулася до рішення з назвою «зелений курган», яке розроблено та запатентовано АТ «НКІМТ» [5].

Зазначене рішення передбачає, що будівля реактора стає сховищем для твердих радіоактивних відходів, що утворилися за час роботи енергоблока. Відпрацьоване ядерне паливо вивозиться за межі АЕС. Автори патенту декларують, що багатометровий шар інертних матеріалів гарантує надійний захист від іонізуючого випромінювання та несанкціонованого доступу до ізолюваних конструкцій, а самі конструкції та радіоактивні речовини, розміщені всередині кургану, недоступні для ґрунтових вод.

Метою статті є потреба звернути увагу на наявну невизначеність вірогідного впливу природних чинників на безпеку захоронення довгоіснуючих радіоактивних відходів у приповерхневих сховищах на площадці Чорнобильської АЕС. Реалізація концепції «зелений курган» до енергоблоків ЧАЕС, включно з об'єктом «Укриття», та поставарійних поверхневих сховищ високоактивних радіоактивних відходів «ІІ-я Черга ЧАЕС» і «Підлісний» [3] призведе до формування насипних штучних форм рельєфу у вигляді пагорбів заввишки до 80 метрів, діаметром >280 метрів і об'ємом понад 1 600 тис. м³ кожен (рис. 1).

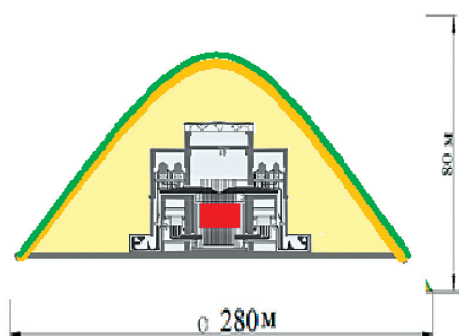


Рис. 1. Схема «зеленого кургану» над енергоблоком ЧАЕС

Fig. 1. Scheme of the “green mound” above the ChNPP power unit

Згідно з положеннями МАГАТЕ захоронення на місці має передбачати створення інженерних бар'єрів, які забезпечують ненадходження радіонуклідів

у навколишнє середовище протягом часу, поки радіоактивність не знизиться до рівня, що дозволяє звільнити об'єкт від регуляторного контролю [6]. Той факт, що радіоактивний матеріал залишиться на місці, означає, що об'єкт із часом буде визначений як приповерхнє сховище з відповідним рівнем гарантування безпеки. Але створення сховища для захоронення РАВ має на меті не тільки мінімізацію впливу на персонал і населення як на сучасному етапі, так і в майбутньому, а акож зниження до мінімуму необхідності технічного обслуговування сховища на етапі після його закриття.

Оскільки ОРГ утворився під час експлуатації установок ядерного паливного циклу, на цей матеріал поширюються встановлені в Україні рівні звільнення [7], які становлять 1 Бк/т як для радіовуглецю, так і для ³⁶Cl. Нескладно порахувати, що час досягнення рівня звільнення за ¹⁴C і ³⁶Cl, інкорпорованих у ОРГ, становить 100 000 і 2 мільйони років відповідно. Ці розрахунки є оціночними, бо нині немає даних щодо реальної питомої активності довгоживучих ¹⁴C і ³⁶Cl в ОРГ енергоблоків 1–3 Чорнобильської АЕС, як і притаманні йому рівні забруднення продуктами поділу й альфа-випромінювачами внаслідок розгерметизації твєлів. Отже, оператор сховищ має довести, що зазначені об'єкти в разі захоронення на місці за технологією «зелений курган» мають зберігати ізолюючі властивості протягом десятків тисяч років, що дає підстави для застосування до оцінки безпеки таких приповерхневих сховищ вірогідних сценаріїв вельми тривалої еволюції системи ізоляційних бар'єрів, які застосовуються для геологічних сховищ [8].

Для повноти охоплення всіх можливих сценаріїв використовується поняття «ОПП» (особливості, події, процеси), яке покликане формалізувати численні фактори, які потенційно можуть впливати на безпеку системи захоронення [9; 10].

Новим викликом, у контексті аналізу довготривалих загроз для безпечного функціонування захоронень на місці, є очевидні зміни кліматичних умов. На думку експертної спільноти, зміни клімату неминуче призведуть до зміни інтенсивності та частоти опадів, збільшення максимальної швидкості вітру. Підвищення температури, отже, і збільшення кількості опадів може призвести до інтенсифікації геоморфологічних процесів. Натепер, наприклад, у Великобританії вже розглядають зміну клімату як чинник, який несе ризики для безпечного поводження з відпрацьованим ядерним паливом, на що прямо вказується в Заяві про національну політику в атомній енергетиці [11].

Кліматичні зміни мають бути враховані під час ухвалення рішень щодо захоронення на місці, хоча б з огляду на те, що процеси радіаційного розпаду, деградації матриць інкорпорованих РАВ, строки функціонування захисних бар'єрів у часовому відношенні відповідні до динаміки змін клімату, про які ми маємо уяву на прикладі досліджень змін клімату в минулому. Комісією з поводження з радіоактивними відходами АЯЕ ОБСЄ розроблено універсальний інтернаціональний каталог ОПП, який включає 268 найменувань [12].

У згаданій роботі розглядається підгрупа кліматичних ОПП, які можуть мати деякий вплив на міграційні

процеси як у геосфері, так і всередині системи інженерних бар'єрів безпеки (табл. 2).

Таблиця 2. Кліматичні ОПП, що визначають еволюцію системи захоронення [12]

1.3. Кліматичні чинники:

1.3.1. Глобальна зміна клімату.

1.3.2. Регіональна та локальна зміна клімату.

1.3.3. Зміна рівня моря.

1.3.4. Ефекти в перигляціалній області.

1.3.5. Ефекти від льодовикового клімату та льодовикових покривів.

1.3.6. Ефекти від теплого клімату (тропічний і пустельний).

1.3.7. Гідрологічна / гідрогеологічна реакція на зміну клімату.

1.3.8. Екологічна реакція на зміну клімату.

1.3.9. Реакція людей на зміну клімату.

1.3.10. Геоморфологічна реакція на зміну клімату.

Зіставлення вихідного списку з доступною інформацією про палеокліматичні умови Поліського регіону дає можливість встановити коло кліматичних ОПП, істотних саме для території майданчика Чорнобильської АЕС. Кліматичні умови є постійно діючими чинниками зовнішнього середовища. Різноманітність можливих кліматичних змін і безліч елементів системи захоронення, на які вони потенційно можуть впливати, висувають кліматичні чинники в розряд найбільш важливих сценаріїв довгострокової еволюції приповерхневих сховищ типу «зелений курган», час функціонування яких можна порівняти з масштабами глобальних змін кліматичних умов. У результаті аналізу виявлено перелік кліматичних ОПП, реалізація яких критично загрожує цілісності інженерних бар'єрів і призведе до руйнації приповерхневих захоронень за концепцією «зелений курган».

Відомо, що клімат Землі залежить від багатьох чинників, унаслідок чого важко встановити однозначно причини кліматичних змін у минулому. Гіпотези щодо вищезазначених причин нині поділяють на дві групи. До першої групи відносять гіпотези, які пояснюють зміну клімату впливом космічних процесів, тоді як друга група основною причиною кліматичних змін визначає планетарні процеси.

Сучасні міжнародні проекти з оцінки довгострокової безпеки захоронення високоактивних відходів і відпрацьованого ядерного палива базуються на прогнозі кліматичних змін, що заснований на теорії М. Міланковича [13], яка пов'язує довгоперіодні коливання клімату та зміну льодовикових і теплих періодів зі змінами сонячної інсоляції. На інтенсивність останньої впливають зміна нахилу земної осі щодо площини її орбіти, прецесія земної осі й ексцентриситет земної орбіти. Ці параметри змінюються з періодами приблизно в 40, 20 і 100 тисяч років відповідно. Водночас сучасні дослідження вказують на суттєвий вплив на глобальний клімат антропогенної діяльності. Основними шляхами такого впливу є зростання вмісту в атмосфері вуглекислого газу та зміни концентрації атмосферного аерозолію.

У сучасних кількісних моделях прогнозу кліматичних змін розрахунок інсоляції, заснований на астрономічній теорії клімату М. Міланковича, виконується для широти конкретної території та підсумовується з різними проєкціями антропогенної емісії CO₂, її довгостроковими наслідками [14]. У результаті отримуються різні проєкції клімату майбутнього. Приклад формування різних проєкцій для району розташування майданчика Олкілуото у Фінляндії наведено на рис. 2.

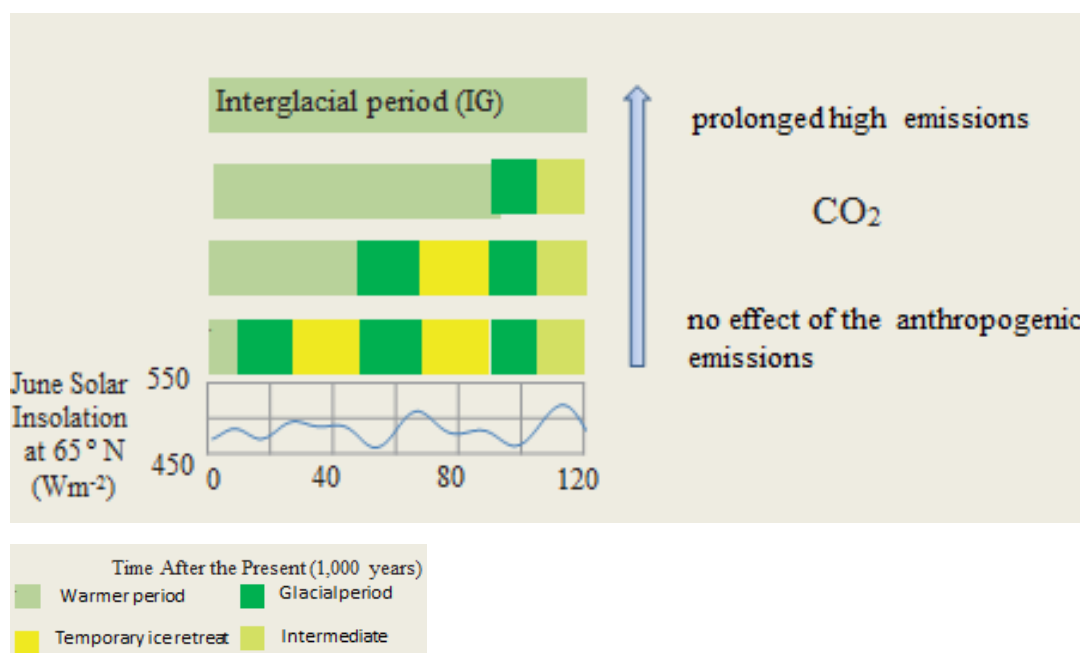


Рис. 2. Схема впливу сонячної інсоляції та вмісту CO₂ на наступне зледеніння [14]

Fig. 2. Scheme of influence of solar insolation and CO₂ emission on subsequent glaciation [14]

Згідно з моделюванням, стійкі високі викиди парникових газів можуть затримати наступне зародження льодовиків до 120 000 років після сьогодення. Що стосується моделювання з низьким рівнем викидів парникових газів, наступ наступного заledenіння визначається сонячною інсоляцією, і це може відбутися приблизно за 10 000–20 000, 50 000–60 000 або 90 000–100 000 років після сьогодення. Варто звернути увагу, що широта Олкілуото – 65° п. ш., а широта майданчика Чорнобильської АЕС становить 51° п. ш., відповідно в цих районах різняться рівні інсоляції і, як наслідок, розподіл у часі періодів теплої та холодної клімату.

Час дії та масштаб наслідків майбутніх довгострокових (на сто тисяч і більше років) змін клімату в будь-якому регіоні моделюються на основі глобальних кліматичних проєкцій. Для району розміщення Чорнобильської АЕС кількісних локальних проєкцій немає. Оскільки цей район Полісся вважається найбільш перспективним для розміщення геологічного сховища довгоіснуючих радіоактивних відходів, створення обґрунтованих моделей кліматичних змін має розглядатися як складова частина оцінки довгострокової безпеки захоронення.

Нині можна виділити лише деякі кліматичні чинники, які, на думку автора, є найбільш критичними з погляду можливості руйнації вищезазначених курганів, і спрогнозувати їх можливий вплив.

Очевидно, що зміна клімату – як регіональна, так і локальна – вплине на режим підземних вод, може привести до виходу підземних вод на поверхню із втраченою несучою здатністю фундаментів тощо.

Гідрологічною та гідрогеологічною реакцією на зміну клімату стануть такі потенційні ефекти, як утворення/зникнення озер і річок, формування меандр, заболочування або висихання низинних ділянок. Для першої надзапальної тераси річки Прип'яті характерні процеси заболочування, дефляції, ерозії тимчасових водних потоків, гравітаційні процеси, зокрема розвиток зсувних процесів. Відповідного впливу зазнають і гіпотетичні приповерхневі сховища РАВ, якими стануть енергоблоки 1–3 й інші об'єкти ЧАЕС у разі захоронення на місці за технологією «зелений курган». Процесами, що активізують перетворення рельєфу на площадці, можуть стати руслові деформації з розмивом правого берега; процеси гравітаційної групи: зміщення відкладень під впливом сили тяжіння, особливо в разі створення високих глиняних курганів над будівлями енергоблоків.

Надзвичайно потужним природним чинником, що неминуче призведе до руйнації «зелених курганів», є вплив вірогідного зledenіння. Ця територія неодноразово зазнавала впливу льодовиків. Зокрема, рельєф на території Українського Полісся сформований під впливом діяльності льодовиків і талих вод, нагромадження величезних мас льодовикових і водно-льодовикових відкладень у процесі насуву льодових мас дніпровського зledenіння. Штучні форми рельєфу у вигляді «зелених курганів» або сезнуть в разі насуву льодовика, або будуть розмиті талими водами. Локальним

механізмом такого розмиву може бути формування льодовиково-підпрудних озер унаслідок льодовикового підпружування каналів річкового та талого стоку. У разі досягненні критичного рівня накопичена в такому озері вода в минулому неодноразово знищувала частково або цілком льодовикові греблі та катастрофічно проривалася у вигляді надпотужних за сучасними земними мірками потопів. Величезну енергію та вплив таких подій на геоморфологію Полісся можна продемонструвати наслідками прориву Поліського озера (приблизно 13–12 тис. років тому) до Дніпра – приєднання до нього річки Прип'яті та відновлення стоку до Чорного моря [15]. Безумовно, зазначене явище спроможне цілковито знищити шар техногенного ґрунту на площадці ЧАЕС разом із розташованими на ній приповерхневими сховищами, що призведе до надходження в біосферу Дніпра довгоживучих радіонуклідів.

Висновок. Отже, постає наукове завдання комплексного поєднання знань щодо формування фізико-географічних особливостей Полісся в останні 200 тисяч років із моделюванням кліматичних змін у майбутні 100 тисяч років, що дозволить обґрунтовано прийняти або відхилити саму ідею приповерхневого захоронення довгоіснуючих радіоактивних відходів на площадці Чорнобильської АЕС. Наявність і доступність вищезазначених даних будуть сприяти зміцненню довіри суспільства щодо можливості забезпечити захист нинішнього та майбутніх поколінь, що є фундаментальною етичною вимогою. Цей захист має найвищий пріоритет, тому що в разі неможливості забезпечити належний рівень безпеки всі інші аспекти (фінансові, політичні) стають у край незначними.

Література

1. International Atomic Energy Agency (2016). IAEA-TEC-DOC 1790. Processing of Irradiated Graphite to Meet Acceptance Criteria for Waste Disposal. Vienna : IAEA. 148 p.
2. Belencan H. Experience with In-Situ Decommissioning as a Remediation End Point. International Atomic Energy Agency International Experts' Meeting on Decommissioning and Remediation After a Nuclear Accident 28 January – 1 February, Vienna, Austria. URL: <http://www-pub.iaea.org/iaea-meetings/IEM4/29Jan/Belencan.pdf>.
3. Бесполостное заполнение пустот в реакторном пространстве при выводе из эксплуатации ПУТР / А. Измestьев и др. *Безопасность ядерных технологий и окружающей среды*. 2012. № 2. URL: <http://www.atomic-energy.ru/technology/47198>.
4. Захоронення на місці як варіант зняття з експлуатації об'єктів Чорнобильської АЕС / Д. Стельмах та ін. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2016. № 1 (69). С. 57–63. DOI: 10.32918/nrs.2016.1(69).09.
5. Тутунина Е. Способ захоронения твердых радиоактивных отходов. Патент № RU 2488904. URL: https://i.moscow/patents/RU2488904C1_20130727.
6. Policies and Strategies for the Decommissioning of Nuclear and Radiological Facilities / International Atomic Energy Agency. IAEA Nuclear Energy Series № NW-G-2.1. 2011. URL: http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1525_web.pdf.
7. Рівні звільнення радіоактивних матеріалів від регулюючого контролю : гігієнічні нормативи, затвердж. постановою Головного санітарного лікаря України від 30.06.2010 р. № 22. Київ, 2010.
8. International Features, Events and Processes (IFEP) List for the Deep Geological Disposal of Radioactive Waste : Version 3.0. *Radioactive Waste Management*. NEA/RWM/R (2019). 1 July 2019.

9. Глоссарий МАГАТЭ по вопросам безопасности. Терминология, используемая в области ядерной безопасности и радиационной защиты. Вена : МАГАТЭ, 2007.

10. Вимоги до структури та змісту звіту з аналізу безпеки поверхневих та приповерхневих сховищ для захоронення радіоактивних відходів, затвердж. наказом Державної інспекції ядерного регулювання України від 02.12.2019 р. № 520, зареєстр. в Міністерстві юстиції України 21.01.2020 р. за № 64/34347. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z006420?find=1&text=%D0%BA%D0%BB%D1%96%D0%BC%D0%B0%D1%82#w1_1.

11. Department of Energy and Climate Change. National Policy Statement for Nuclear Power Generation (EN-6). Volume I of II. Presented to Parliament by the Secretary of State for Energy and Climate Change pursuant to section 5 (9) of the Planning Act 2008. July 2011. URL: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/47859/2009-nps-for-nuclear-volumeI.pdf.

12. International Features, Events and Processes (IFEP) List for the Deep Geological Disposal of Radioactive Waste : Version 3.0. *Radioactive Waste Management*. NEA/RWM/R (2019) 1 July 2019. URL: <https://www.oecd-nea.org>.

13. Миланкович М. Математическая климатология и астрономическая теория колебаний климата. ГОНТИ-НКТП. Москва ; Ленинград, 1939. 207 с.

14. Climate Scenarios for Olkiluoto on a Time-Scale of 120,000 Years POSIVA 2011-04 Posiva OY Olkiluoto / N. Pimenoff et al. 2011. 109 p.

15. Пазинич В. Коротка історія Дніпра. 2010. URL: <http://www.arheolog-ck.ru/?p=3033>; <http://www.arheolog-ck.ru/?p=3054>.

References

1. International Atomic Energy Agency (2016). IAEA-TEC-DOC 1790. Processing of Irradiated Graphite to Meet Acceptance Criteria for Waste Disposal. Vienna : IAEA, 148 p.

2. Belencan H. Experience with In-Situ Decommissioning as a Remediation End Point. International Atomic Energy Agency International Experts' Meeting on Decommissioning and Remediation After a Nuclear Accident 28 January – 1 February, Vienna, Austria. URL: <http://www-pub.iaea.org/iaea-meetings/IEM4/29Jan/Belencan.pdf>.

3. Izmetiev, A., Koliarevsky S., Selev I., Yushitsin K. (2012). *Nuclear Technology and Environmental safety*, 2. URL: <http://www.atomicenergy.ru/technology/47198>.

4. Stelmakh, D., Kuchinsky, V., Platonenko, A. (2016). *Nuclear and Radiation Safety*. 1 (69), 57–63. DOI: 10.32918/nrs.2016.1(69).09.

5. Tutunina Ye.V. Sposob zakhroneniya tverdykh radioaktivnykh otkhodov. Patent № RU 2488904. URL: https://i.moscow/patents/RU2488904C1_20130727.

6. International Atomic Energy Agency (2011), “Policies and Strategies for the Decommissioning of Nuclear and Radiological Facilities”, IAEA Nuclear Energy Series № NW-G-2.1. URL: http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1525_web.pdf.

7. Rivni zvil'neniya radioaktyvnykh materialiv vid rehulyuyuchoho kontrolyu: hihiyenichni normatyvy (2010). Zatverdzeni postanovoyu Holovnoho sanitarnoho likarya Ukrayiny vid 30.06.2010 № 22. Kyiv, 2010.

8. International Features, Events and Processes (IFEP) List for the Deep Geological Disposal of Radioactive Waste: Version 3.0. *Radioactive Waste Management*. NEA/RWM/R (2019). 1 July 2019.

9. Glossariy MAGATE po voprosam bezopasnosti Terminologiya, ispol'zuyemaya v oblasti yadernoy bezopasnosti i radiatsionnoy zashchity (2007). Vena : MAGATE.

10. Вимоги до структури та змісту звіту з аналізу безпеки поверхневих та приповерхневих сховищ для захоронення радіоактивних відходів. Затвердж. наказом Державної інспекції ядерного регулювання України від 02.12.2019 р. № 520, зареєстр. в Міністерстві юстиції України 21.01.2020 р. за № 64/34347. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z006420?find=1&text=%D0%BA%D0%BB%D1%96%D0%BC%D0%B0%D1%82#w1_1.

11. Department of Energy and Climate Change. National Policy Statement for Nuclear Power Generation (EN-6). Volume I of II. Presented to Parliament by the Secretary of State for Energy and Climate Change pursuant to section 5(9) of the Planning Act 2008. July 2011. URL: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/47859/2009-nps-for-nuclear-volumeI.pdf.

12. International Features, Events and Processes (IFEP) List for the Deep Geological Disposal of Radioactive Waste : Version 3.0. *Radioactive Waste Management*. NEA/RWM/R (2019) 1 July 2019 (www.oecd-nea.org).

13. Milankovich M. (1939). *Matematicheskaya klimatologiya i astronomicheskaya teoriya kolebaniy klimata*. GONTI-NKTP, M. – L., USSR. 207 p.

14. Pimenoff N., Venäläinen A., Järvinen H. Climate Scenarios for Olkiluoto on a Time-Scale of 120 000 Years (2011). POSIVA 2011-04 Posiva OY Olkiluoto. 109 p.

15. Pazynych V.H. Kоротка історія Дніпра. URL: <http://www.arheolog-ck.ru/?p=3033>; <http://www.arheolog-ck.ru/?p=3054>, 2010.

CLIMATE CHANGES AND SITE DISPOSAL OF OBJECTS ON THE CHRONOBYL STATION SITE

Olkhovyk Yu.O.

Olkhovyk Yu.O., D. Sc. (Engineering), National Aviation University, ORCID: 0000-0001-5653-2370, yolkhovyk@ukr.net

Currently, in the Exclusion Zone at the site of the Chernobyl NPP, work is being carried out on the final closure and conservation of power units 1–3, the feature of which is the presence of a high-capacity channel uranium-graphite reactor (RVPK). During operation, the reactor graphite becomes radioactive due to the accumulation of the long-lived radionuclide ^{14}C in the graphite. An additional contribution is made by the indicated radioactivity of technological impurities (^{36}Cl , ^{60}Co) and spills of fission products and fragments of nuclear fuel. The main problem of the decommissioning of nuclear installations from the RVPK is related to the need to choose optimal methods of handling large volumes of spent graphite. The possibility of applying the technology of near-surface disposal of decommissioned uranium-graphite reactors of the RVPK, known as the “green mound”, to power units 1–3 of the Chernobyl NPP was considered. Natural factors have been identified, the possible action of which during the time required for the decay of radionuclides ^{14}C and ^{36}Cl to an acceptable level, may lead to the destruction of near-surface storage facilities for disposal at the Chernobyl NPP site. These factors determine the rehabilitation of the river valley of the Pripjat River and the vulnerability of surface disposal repositories to the effects of cyclical climate changes. Climatic changes should be taken into account when making decisions on on-site disposal, given that the processes of decay of long-lived radionuclides, degradation of matrices of incorporated radioactive waste, and the duration of protective barriers in terms of time are relevant to the dynamics of climate change. The need to take into account the impact of global climate changes on the intensity of changes in the geomorphological characteristics of the locations of “green mounds” was noted. A particularly dangerous and powerful natural factor that will inevitably lead to the destruction of the “green mounds” is the influence of probable glaciation. The relevance of solving the scientific task of a complex combination of knowledge regarding the formation of the physical and geographical features of Polissia in the last 200 thousand years with the modeling of climate changes in the future 100 thousand years is emphasized, which will allow to reasonably accept or reject the very idea of near-surface burial of long-lived radioactive waste at the Chernobyl NPP site.

Key words: Chernobyl NPP, irradiated reactor graphite, near-surface disposal, green mound, climate change, glaciation.