

УДК 550.4:574.3

DOI <https://doi.org/10.32782/geotech2024.38.09>**Верховцев В.Г., Мещеряков С.В., Тищенко Ю.Є., Улицький О.А.**

Верховцев В.Г., доктор геологічних наук, завідувач відділу, Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», Verkhovtsev@ukr.net, orcid.org/0000-0002-1015-6725

Мещеряков С.В., провідний інженер, Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», IGNS_Meshcheriakov@nas.gov.ua, orcid.org/0000-0003-4728-8315

Тищенко Ю.Є., кандидат геологічних наук, старший науковий співробітник, Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», u-risk@ukr.net, orcid.org/0000-0002-0413-241X

Улицький О.А., доктор геологічних наук, старший науковий співробітник, Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», IGNS_Ulytskyi@nas.gov.ua, orcid.org/0000-0002-5269-1769

РАДІОЕКОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ У РАЙОНІ РОЗТАШУВАННЯ ЦЕНТРАЛЬНОЇ ЧАСТИНИ КАХОВСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА

Екологічна ситуація, що створилася після підриву греблі Каховської ГЕС у зоні колишньої акваторії однойменного водосховища та її прибережних територій, потребує вивчення з метою визначення оптимальних шляхів реагування на вже наявні та потенційні загрози й ризики. У рамках програми науково-дослідних робіт «Розробка рекомендацій щодо доцільності відбудови гідроспоруд Каховського гідровузла та наповнення Каховського водосховища для забезпечення надійної експлуатації водозаборів комунального та промислового водопостачання та відновлення екологічного стану й біорізноманіття Нижнього Дніпра» проведено комплексні радіоекологічні, гідрохімічні та геохімічні дослідження ґрунтів і донних відкладів, а також поверхневих і підземних водних об'єктів у районі розташування центральної частини Каховського водосховища. У статті наведено інтерпретацію результатів радіоекологічних вимірювань, виконаних у вересні 2023 р.: потужності еквівалентної дози гамма-випромінювання; щільності потоку альфа-випромінювання радону-222 з поверхні ґрунту (донних відкладів); інтегральної питомої гамма-активності проб ґрунту та донних відкладів; гамма-спектрометричних досліджень проб ґрунту та донних відкладів; альфа-, бета-радіометрії проб ґрунту та донних відкладів. Для візуалізації отриманих результатів побудовані карти просторового розподілу виміряних показників. Узагальнені результати проведених комплексних екологічних досліджень оформлені у вигляді звіту про науково-дослідні роботи. Цю статтю присвячено висвітленню основних отриманих результатів у частині радіоекології. Показано, що на момент проведення досліджень відсутні підстави для занепокоєння з погляду загроз радіоекологічного характеру.

Ключові слова: Каховське водосховище, вплив, довкілля, радіонукліди, ґрунти, донні відклади.

Вступ

Після підриву російськими агресорами 6 червня 2023 р. греблі Каховської ГЕС у зоні колишньої акваторії водосховища та її прибережних територій створилася вкрай несприятлива екологічна ситуація, яка потребує вивчення. Соціально-економічні проблеми зачеплених територій також потребують невідкладного реагування. Насамперед це стосується питного та господарського водозабезпечення.

Кабінет Міністрів України ухвалив низку рішень, спрямованих на подолання наслідків цього теракту. Так, на засіданні 18 липня минулого року Уряд погодив пропозицію ПрАТ «Укргідроенерго» щодо реалізації експериментального проекту з відновлення дамби для подальшого заповнення водосховища.

Очевидно, що стратегія подальшої діяльності в зоні екологічної катастрофи повинна спиратися на обґрунтовані наукові висновки та рекомендації. У цьому контексті виконані дослідження в рамках програми дослідних робіт на 2023–2024 рр. «Розробка рекомендацій

щодо доцільності відбудови гідроспоруд Каховського гідровузла та наповнення Каховського водосховища для забезпечення надійної експлуатації водозаборів комунального та промислового водопостачання та відновлення екологічного стану і біорізноманіття Нижнього Дніпра», затвердженої Державним агентством водних ресурсів України від 07.08.2023 № 3851/4/2/11-23 та Державним агентством меліорації та рибного господарства України від 08.08.2023 № 3-6.2.1-16/4591-23.

Метою дослідження є оцінка сучасного радіоекологічного стану ґрунтів і донних відкладів ложа центральної частини Каховського водосховища.

Виклад основного матеріалу

Проведення натурних досліджень планувалося в Бериславському районі Херсонської області, однак у силу об'єктивних причин польові роботи були проведені фактично на територіях поблизу та в самих населених пунктах: с. Мар'янське Зеленодольської міської територіальної громади, с. Грушівка однойменної СТГ, обидва Криворізького району, сіл Набережне

та Покровське, обидва Покровської СТГ Нікопольського району (всі Дніпропетровської області), а також с. Нововоронцовка однойменної СТГ у Бериславському районі Херсонської області.

У пунктах опробування (далі – ПО), розташованих як на землях, що донедавна були дном Каховського водосховища, так і на землях колишнього прибережного суходолу, були виконані натурні екологічні вимірювання та відбори проб:

1. Польові радіометричні дослідження:

- вимірювання потужності еквівалентної дози гамма-випромінювання на висоті 1 м і 0,1 м від поверхні ґрунту та у шпурах глибиною до 1,0 м (дозиметром гамма-випромінювання пошуковим «Ритм-5 ВД»);

- вимірювання альфа-випромінювання радону-222: щільності потоку радону з поверхні ґрунту (вимірювальним комплексом радіометром радону «Альфарад+»).

2. Лабораторні вимірювання проб ґрунту:

- вимірювання інтегральної гамма-активності (виконані на спектрометрі-радіометрі Food Ligh у режимі роботи радіометра в геометрії Марінеллі. Прилад Food Ligh створений і сертифікований у Державній установі «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України»);

- гамма-спектрометрія (виконувалася на спектрометрі гамма-випромінювання «АТОЛ-1 М» з блоком детектування АІ-1024, призначеним для реєстрації спектрів гамма-випромінювання й ідентифікації радіонуклідів; вимірювання активності радіонуклідів у різних речовинах у геометрії Марінеллі);

- альфа-, бета-радіометрія (виконані на радіометрі «Супутник»).

Нормативно-методичне забезпечення польових і лабораторних робіт – згідно з вимогами керівних документів у галузі екологічної та радіаційної безпеки (ДГН 6.6.1-6.5.061-98; ДСТУ ISO 10703:2001; СОУ 74.14-37-425:2006; СОУ-Н ЯЕК 0.030:2012, 2012; Тимчасові вимоги, 1996).

Територію досліджень з ПО показано на рис. 1. Її площа становить приблизно 100 км кв.

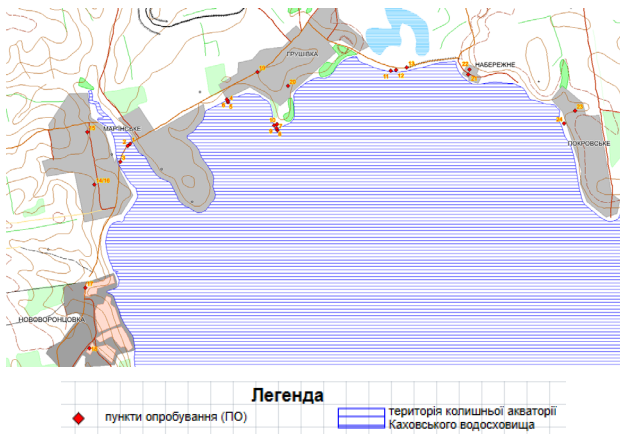


Рис. 1. Територія досліджень
Fig. 1. The territory of research

Усього дослідження проведені у 23 ПО. Відібрано 26 проб ґрунтів, із них 15 донних відкладів.

Дозиметричні вимірювання

Радіаційний фон, або потужність дози (експозиційної, еквівалентної) гамма-випромінювання середовища (ПЕД), умовно формується двома складовими: природною та техногенною. Усереднені глобальні показники гамма-фону за [19] для 45° північної широти становлять: 9,9 мкР/год (0,087 мкЗв/год); з них – 4,1 мкР/год (0,036 мкЗв/год) – через космічну складову, 5,8 мкР/год (0,051 мкЗв/год) – через випромінювання примордіальних (первісних) радіонуклідів (ПРН), розсіяних у ґрунті (калію-40, урану-238 та торію-232). Внесок у радіоактивність середовища «техногенних» радіонуклідів має місце внаслідок їх потрапляння в довкілля через поводження з радіоактивними матеріалами або під час радіаційних аварій.

Крім вимірювання ПЕД, над поверхнею ґрунту проведені вимірювання радіаційного фону техногенних об'єктів – доріг і кам'яних накидів, які слугували для берегоукріплення. Для будівництва зазначених об'єктів використовувалися місцеві рожеві токівські граніти, для яких характерна підвищена радіоактивність.

ПЕД, виміряна над об'єктами, які містять у своєму складі гранітний щебінь (дороги з твердим покриттям), або безпосередньо над гранітними глинами берегоукріплення, майже скрізь показують підвищені значення, які в окремих місцях досягали 0,6 мкЗв/год, що є досить високим показником.

Також під час «профільних» маршрутних зйомок ПЕД вимірювався у шпурах до глибини 1,0 м від поверхні. ПЕД у шпурах помітно вище, ніж над денною поверхнею, у середньому в 1,9 раза, максимум – у 2,6 раза. Середній фон у пунктах буріння шпурів становить 0,082 мкЗв/год, у шпурах – 0,145 мкЗв/год.

Для порівняння на прибережній території поряд із колишньою акваторією КВ проведені «фонові» вимірювання (ПО № 10). ПЕД у «фоновому» ПО на поверхні вище за середній на колишній акваторії – 0,11 проти 0,08 мкЗв/год; у шпурі – нижче – 0,13 проти 0,145 мкЗв/год.

Для геопозиційного відображення результатів вимірювань ПЕД побудовані карти полів розподілу цього показника (рис. 2, 3), які мають ілюстративний характер і дають змогу унаочнити виявлені тенденції.

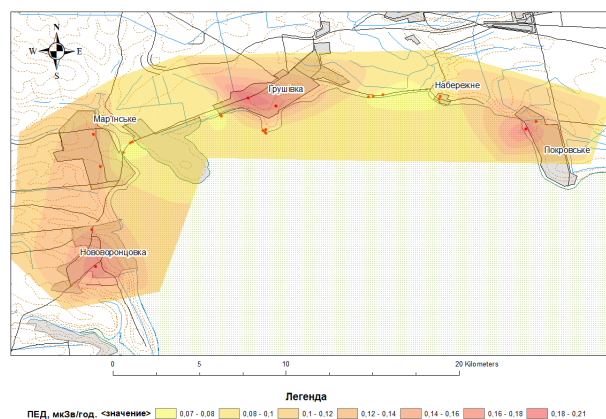


Рис. 2. ПЕД природного походження
Fig. 3. Natural EDP (equivalent dose power)

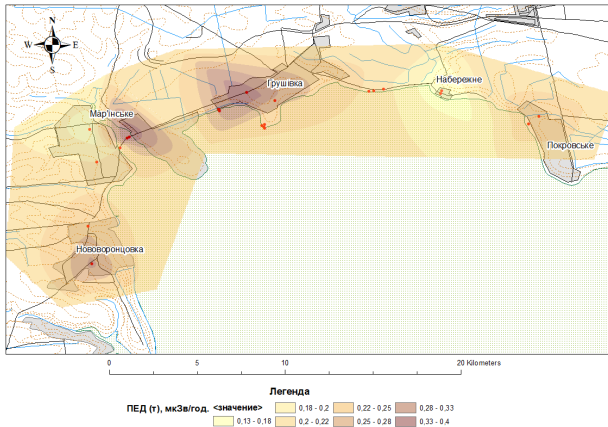


Рис. 3. ПЕД «техногенного» походження

Fig. 3. Man-made EDP

Як видно з рисунків, для територій населених пунктів характерні вищі показники ПЕД, ніж для решти території.

Колишня акваторія КВ помітно не відрізняється від суходолу за вимірними показниками.

ПЕД у ґрунтовому середовищі, вимірюваний у шпурах, зростає у міру віддалення від колишнього берега КВ.

Інтегральна питома активність (ІПА)

Вимірювання виконані на спектрометри-радіометрі Food light.

Показники ІПА характеризують наявність насамперед таких радіонуклідів, як радіоактивний цезій (134 та 137), які після Чорнобильської аварії визначають радіаційний фон у ґрунті техногенно-забруднених територій, а також – радіокалій (К-40).

Як показує попередній досвід аналітичних робіт, для територій за межами постраждалих від аварії на ЧАЕС пересічні рівні ІПА коливаються в межах 50...150 Бк/кг.

На досліджуваній території середні рівні ІПА відповідають максимальним пересічним показникам для території України, за винятком кількох результатів, вимірних не на колишній акваторії КВ, а в межах населених пунктів.

Для вертикального розподілу ІПА характерно, що в усіх трьох ПО, де він досліджувався, у верхньому горизонті показники вищі, ніж у нижньому.

Просторовий розподіл ІПА наведено на рис. 4.

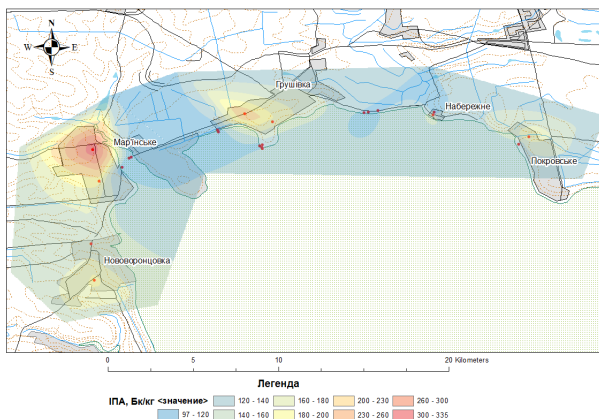


Рис. 4. Інтегральна питома активність проб ґрунту та донних відкладів

Fig. 4. Integrated specific activity of soil and bottom sediment samples

Для вимірювань на досліджуваній території показників ІПА характерна висока неоднорідність результатів. На сільській території активності ґрунтів вищі, ніж у природних угіддях і колишній акваторії КВ, що узгоджується з результатами вимірювань ПЕД і ЦПР. Імовірно, радіонукліди, які перебували в легкокорозійній формі знаходження, з водною міграцією були переміщені в нижні шари донних відкладів, де мулиста фракція стала їх депо, що опосередковано підтверджується відмінністю в показниках ПЕД у шпурах і на денній поверхні.

Спектрометрія. Ефективна питома активність природних радіонуклідів (Аеф).

Вимірювання виконана на спектрометричному комплексі «Атол -1М».

Радіокалій (К-40) виявлений у всіх пробах, торій-232 та радій-226 – майже в усіх, у більшості – вісмут-214, у трьох пробах – актиній-228, в одній – кобальт-60. Також у трьох пробах зафіксовано незначні активності радіоцезію (Cs-137), який, на відміну від решти, є «техногенним» радіонуклідом, присутність якого пов'язана з наслідками аварії на ЧАЕС у 1986 р.

Ra-226 – продукт розпаду урану-238, є джерелом формування гамма-випромінювання радіонуклідів сімейства урану. Середня питома активність радію у ґрунтах для території України становить 33 Бк/кг, коливається залежно від наявності мінералів, що містять уран. Середня активність Ra-226 на досліджуваній території приблизно на 25 % вища за пересічні рівні. У шести ПО активності Ra-226 виходять за межі фонових для досліджуваної місцевості.

Середня питома активність Th-232 у ґрунтах для території України становить 30 Бк/кг, коливається залежно від наявності мінералів, що містять торій. На досліджуваній території активність торію-232 приблизно на 33 % вища за пересічні рівні. Як і для Ra-226, активності Th-232 у шести ПО виходять за межі фонових для досліджуваної місцевості.

На рис. 5 наведено результати просторового розподілу розрахованої ефективної питомої активності Аеф, що є радіаційним показником, який регламентується Нормами радіаційної безпеки України (НРБУ-97) (ДГН 6.6.1-6.5.061-98). Методика визначення цього показника в будівельних матеріалах також встановлена НРБУ-97.

Аеф – зважена сума питомих активностей природних радіонуклідів (ПРН) щодо Ra-226. Відповідно до п. 8.6.1.1 НРБУ-97, Аеф визначається за величиною ефективної питомої активності природних радіонуклідів Ra-226, Th-232 та К-40 за формулою:

$$Аеф = A_{Ra} + 1,31A_{Th} + 0,085A_K \text{ (Бк/кг)},$$

де 1,31 і 0,085 – зважуючі коефіцієнти для Th-232 та К-40 відповідно до Ra-226.

Матеріали, Аеф яких ≤ 370 Бк/кг, належать до І класу небезпеки і можуть використовуватися без обмежень (п. 8.6.1.2 НРБУ-97); якщо $370 \text{ Бк/кг} \leq Аеф \leq 740 \text{ Бк/кг}$ – до ІІ класу (п. 8.6.1.3 НРБУ-97), можуть використовуватися для промислового та дорожнього

будівництва; якщо $740 \text{ Бк/кг} \leq \text{Аеф} \leq 1350 \text{ Бк/кг}$ – до III класу (п. 8.6.1.4 НРБУ-97), можуть використовуватися: в населених пунктах – для будівництва підземних споруд; за межами населених пунктів – для дорожнього будівництва, спорудження гребель і промислових об'єктів із малим часом перебування людей; для матеріалів, які мають естетичну цінність, Аеф не повинна перевищувати 3700 Бк/кг (п. 8.6.1.5 НРБУ-97).

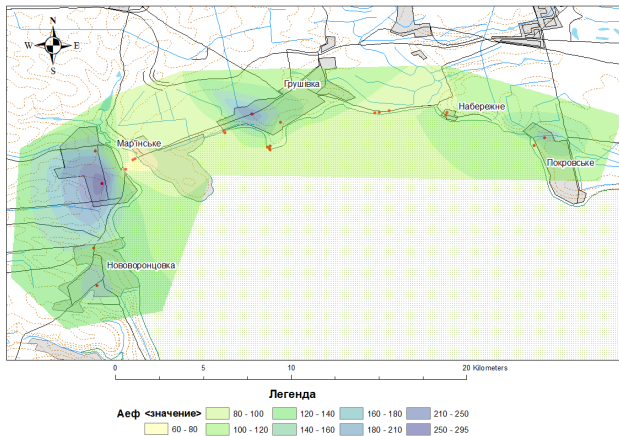


Рис. 5. Ефективна питома активність (Аеф) природних радіонуклідів (ПРН) проб ґрунту та донних відкладів
Fig. 5. Effective specific activity (Aef) of natural radionuclides (NRN) in soil and sediment samples

Як видно з рис. 5, усі проби за Аеф не перевищують рівні активності, встановлені для матеріалів I класу небезпеки. Аеф у шести ПО виходить за межу фонових для території досліджень значень.

Інтенсивність альфа- та бета-випромінювання. Питома активність ґрунтів і донних відкладів наведена для урану-238

Вимірювання альфа- та бета-активності проб ґрунту виконані на радіометрі «Супутник».

Бета-альфа-радіометр із часовою селекцією радіоактивних випромінювань «Супутник» призначений для вимірювання радіоактивності за альфа- та бета-випромінюванням методом реєстрації бета-альфа затриманих співпадінь у порошкових пробах (вагою 20 г) гірських порід та ґрунтів у геохімічних дослідженнях.

Після вимірювання кількості імпульсів, згідно з методикою досліджень для цього приладу, розраховується активність за альфа- і бета-випромінюванням проб, виражена в % масового еквівалента урану та/або торію в рівновазі, що також може бути перераховано в питому активність за еквівалентом урану та/або торію.

Просторовий розподіл отриманої питомої активності для урану показано на рис. 6.

Для території України усереднені показники питомої активності урану становлять 35 Бк/кг (торію – 30 Бк/кг). Отримані усереднені результати майже вдвічі перевищують пересічні рівні; в окремих пробах встановлено питому активності, наведені для урану, які перевищують

середні рівні для України в 3–4 рази. Наведена для урану середня питома активність проб донних відкладів становить $56,5 \text{ Бк/кг}$, ґрунтів суходолу – $77,6 \text{ Бк/кг}$. Отже, попередні результати показують, що виміряні на території досліджень рівні активності природних радіонуклідів імовірно вдвічі вищі середніх по Україні.

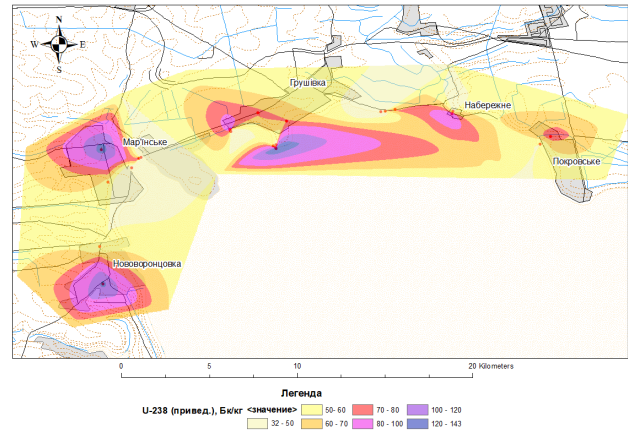


Рис. 6. Питому активність наведено для урану-238
Fig. 6. The specific activity reduced to uranium-238

Висновки

Результати радіоекологічних досліджень показують загальну тенденцію: радіаційна ситуація в межах населених пунктів дещо гірша, ніж на решті досліджуваної території. Колишня акваторія КВ у радіаційному плані не відрізняється від решти територій поза населеними пунктами.

Аналіз результатів проведених досліджень ґрунтового покриву в межах території досліджень показує:

- показники ПЕД (радіаційний фон) практично не відрізняються від інших територій України, не зачеплених техногенним впливом; водночас «техногенний» радіаційний фон, сформований будівельними матеріалами (гранітами), які використовувалися для улаштування доріг із твердим покриттям і берегоукріплення, майже скрізь має значно вищі показники;

- усереднені показники ексхалації радону не перевищують пересічні рівні;

- показники інтегральної питомої активності перевищують пересічні рівні в населених пунктах, особливо в селах Мар'янське та Грушівка; усереднені показники ІПА також досить високі;

- активність природних радіонуклідів у ґрунтах не перевищує рівні, які можуть бути визначені як такі, що не забезпечують належні рівні радіаційної безпеки;

- інтенсивність альфа- та бета-випромінювання ґрунтів формує питому активність, наведену для урану-238, яка вдвічі перевищує пересічну активність цього елемента в ґрунтах України.

Загалом отримані результати дозиметричних, радіометричних і спектрометричних вимірювань узгоджуються між собою та засвідчують відсутність на цей момент суттєвих загроз радіоекологічного характеру.

Література

1. ДГН 6.6.1-6.5.061-98. Норми радіаційної безпеки України НРБУ-97.
2. ДСТУ ISO 10703-2001. Захист від радіації. Визначення об'ємної активності радіонуклідів методом гамма-спектрометрії з високою роздільною здатністю.
3. СОУ 74.14-37-425:2006. Якість ґрунту. Методи відбору проб ґрунту для радіаційного контролю.
4. СОУ-Н ЯЕК 0.030:2012. Виконання польових та лабораторних робіт з дослідження радіаційного стану ґрунтів для виявлення впливу на них підприємств ядерно-енергетичного комплексу України. Методичні вказівки. Нормативний документ міністерства енергетики та вугільної промисловості України. Київ, 2012.
5. Тимчасові вимоги до проведення комплексного моніторингу та оцінки радіологічної якості забруднених територій в різних ландшафтно-геохімічних зонах: методичні рекомендації. Київ, 1996.

References

1. DGN 6.6.1-6.5.061-98. Standards of radiation safety of Ukraine NRB-97.
2. DSTU ISO 10703-2001. Radiation protection. Determination of volumetric activity of radionuclides by high-resolution gamma spectrometry.
3. SOU 74.14-37-425:2006. Soil quality. Methods of soil sampling for radiation control.
4. SOU-N YAEK 0.030:2012. Performance of field and laboratory work on the investigation of the radiation state of soils to identify the impact on them of enterprises of the nuclear and energy complex of Ukraine. Methodical instructions. Normative document of the Ministry of Energy and Coal Industry of Ukraine. Kyiv, 2012.
5. Temporary requirements for comprehensive monitoring and evaluation of the radiological quality of contaminated territories in different landscape-geochemical zones: Methodological recommendations. Kyiv, 1996.

FEATURES OF THE DISTRIBUTION OF THE ACTIVITY OF NATURAL RADIONUCLIDES IN THE LOCATION AREA OF THE CENTRAL PART OF THE KAKHOVKA RESERVOIR

Verkhovtsev V.G., Meshcheryakov S.V., Tyshchenko Yu.E., Ulytskyi O.A.

Verkhovtsev V.G., Doctor of Geological Sciences, Head of Department, State Institution "Institute of Environmental Geochemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine", Verkhovtsev@ukr.net, orcid.org/0000-0002-1015-6725

Meshcheryakov S.V., leading engineer, State Institution "Institute of Environmental Geochemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine", IGNS_Meshcheryakov@nas.gov.ua, orcid.org/0000-0003-4728-8315

Tyshchenko Yu.E., PhD (geology), senior researcher, State Institution "Institute of Environmental Geochemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine", u-risk@ukr.net, orcid.org/0000-0002-0413-241X

Ulytskyi O.A., Doctor of Geological Sciences, senior researcher, State Institution "Institute of Environmental Geochemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine", IGNS_Ulytskyi@nas.gov.ua, orcid.org/0000-0002-5269-1769

The environmental situation that has arisen after the explosion of the Kakhovka HPP dam in the area of the former water area of the reservoir of the same name and its coastal areas needs to be studied in order to determine the best ways to respond to existing and potential threats and risks. Within the framework of the Research Program "Development of Recommendations on the Expediency of Rehabilitation of Hydraulic Structures of the Kakhovka Hydrosystem and Filling of the Kakhovka Reservoir to Ensure Reliable Operation of Municipal and Industrial Water Intakes and Restoration of the Ecological Status and Biodiversity of the Lower Dnipro", comprehensive radioecological, hydrochemical and geochemical studies of soils and bottom sediments, as well as surface and underground water bodies in the area of the central part of the Kakhovka Water Reservoir were conducted. The article presents the interpretation of the results of radioecological measurements performed in September 2023. The article presents the interpretation of the results of radiological measurements performed in September 23: equivalent gamma radiation dose rate; alpha radon-222 flux density from the soil surface (sediments); integrated specific gamma activity of soil and sediment samples; gamma spectrometric studies of soil and sediment samples; alpha and beta radiometry of soil and sediment samples. To visualize the results, maps of the spatial distribution of the measured indicators were constructed. The generalized results of the comprehensive environmental studies are presented in the form of a research report. This article is devoted to the coverage of the main results obtained in terms of radioecology. It is shown that at the time of the research there are no grounds for concern in terms of radioecological threats.

Key words: Kakhovka reservoir; impact, environment, radionuclides, soils, bottom sediments.