

УДК: 316.4:621.039.584-001.891.7:504.062

В. А. Прилипко¹✉, М. М. Морозова¹, Ю. Ю. Озерова¹, А. В. Гришан², О. О. Пелюх²¹Державна установа «Національний науковий центр радіаційної медицини Національної академії медичних наук України», вул. Юрія Ілленка, 53, м. Київ, 04050, Україна²Виробниче підприємство «Південноукраїнська АЕС», м. Южноукраїнськ, Миколаївська обл., Україна

ДИНАМІКА ВИКИДІВ ТА СКИДІВ РАДІОНУКЛІДІВ У ПРИРОДНЕ СЕРЕДОВИЩЕ ЗОНИ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ПІВДЕННОУКРАЇНСЬКОЇ АЕС

Мета: оцінка впливу діяльності Південноукраїнської АЕС на навколишнє середовище зони спостереження (ЗС) за показниками радіаційного моніторингу в динаміці 2015–2021 рр.

Методи дослідження: соціально-гігієнічні (аналіз показників радіаційного моніторингу), аналітичний, статистичний.

Результати. Визначено, що радіаційний вплив на довкілля, пов'язаний з викидами та скидами радіоактивних речовин, утворених у виробничому циклі Південноукраїнської АЕС (ПАЕС) в умовах повсякдення, незначний. Газо-аерозольні викиди інертних радіоактивних газів, довгоживучих нуклідів, ¹³¹I в атмосферу не перевищували встановлених допустимих рівнів і склали соту відсотка до ліміту викиду інертних радіоактивних газів та довгоживучих нуклідів і тисячну відсотка для йоду. Сумарні викиди радіонуклідів (⁵¹Cr, ⁵⁴Mn, ⁵⁹Fe, ⁵⁸Co, ⁶⁰Co, ⁹⁰Sr, ⁹⁵Zr, ⁹⁵Nb, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs, ³H) енергоблоками ПАЕС (фактичний, відсоток від ліміту викиду) в атмосферу не перевищували встановлених допустимих рівнів. Максимальні середні значення концентрації в атмосферному повітрі ЗС ¹³⁷Cs за період 2015–2021 рр. склали від 2,858 мкБк/м³ (проммайданчик ПАЕС) до 1,986 мкБк/м³ (с. Рябоконево 33,5 км), а максимальні середні значення концентрації в повітрі ⁹⁰Sr склали від 1,310 мкБк/м³ до 0,566 мкБк/м³ відповідно. Скиди ПАЕС до річки Південний Буг, за показниками радіонуклідів, які контролюються, не вносили суттєвих змін в якість поверхневих вод. Питома активність ¹³⁷Cs у сільськогосподарській продукції в ЗС ПАЕС незначна і не перевищувала допустимі рівні вмісту в продуктах харчування. Вміст ¹³⁷Cs у пробах в ЗС ПАЕС не перевищує 1,0 % від сумарної активності.

Висновок. Середня концентрація радіонуклідів в атмосферному повітрі населених пунктів ЗС ПАЕС на декілька порядків величин менша, ніж встановлена нормативними документами. Скиди ПАЕС до річки Південний Буг, за показниками радіонуклідів, які контролюються, не вносять суттєвих змін в якість поверхневих вод. Вміст ⁹⁰Sr і ¹³⁷Cs рівномірно у всіх радіусах спостереження віддаленості від АЕС підтверджує дуже низький рівень викиду ⁹⁰Sr і ¹³⁷Cs у навколишнє середовище ПАЕС. Вміст ¹³⁷Cs у сільськогосподарській продукції у ЗС ПАЕС значуще нижчий допустимих рівнів.

Ключові слова: навколишнє середовище, зона спостереження АЕС, радіоекологічний моніторинг.

Проблеми радіаційної медицини та радіобіології. 2023. Вип. 28. С. 158–175. doi: 10.33145/2304-8336-2023-28-158-175

✉ Прилипко Валентина Антонівна, e-mail: basepril@i.ua

V. A. Prylypko¹✉, M. M. Morozova¹, Yu. Yu. Ozerova¹, A. V. Gryshan², O. O. Pelukh²

¹State Institution «National Research Center for Radiation Medicine of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», 53 Yurii Illienka St., Kyiv, 04050, Ukraine

²Manufacturing Facility «Pivdenoukrainska NPP», Yuzhnoukrainsk city, Mykolaivska Oblast, 55000, Ukraine

TIME PATTERN OF RADIONUCLIDE EMISSIONS AND DISCHARGES INTO THE NATURAL ENVIRONMENT OF THE PIVDENNOUKRAINSKA NPP SURVEILLANCE ZONE

Objective: assessment of impact of operation of the Pivdenoukrainska Nuclear Power Plant (PUNPP) on the environment of surveillance zone (SZ) based on parameters of radiation monitoring within 2015–2021 period.

Methods: socio-hygienic (analysis of the radiation monitoring parameters), analytical, statistical.

Results. The environmental radiation impact associated with emissions and discharges of radioactive substances originated in the production cycle of the PUNPP in everyday conditions was found as insignificant. The gas-aerosol atmospheric emissions of inert radioactive gases, long-lived nuclides, and ¹³¹I did not exceed the established permissible levels (PL) and amounted to a hundredth of a percent of the emission limit (EL) for the inert radioactive gases and long-lived nuclides, and a thousandth of a percent for radioactive iodine. Total atmospheric emissions of the ⁵¹Cr, ⁵⁴Mn, ⁵⁹Fe, ⁵⁸Co, ⁶⁰Co, ⁹⁰Sr, ⁹⁵Zr, ⁹⁵Nb, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs, and ³H radionuclides by the PUNPP power units (actual and % of EL) did not exceed the established PL. Maximum average values of atmospheric air concentration of ¹³⁷Cs in SZ for the 2015–2021 period ranged from 2.858 μBq/m³ (PUNPP industrial site) to 1.986 μBq/m³ (Riabokoneve village, 33.5 km distance), and maximum average values of the ⁹⁰Sr air concentration were from 1.310 μBq/m³ to 0.566 μBq/m³, respectively. According to radionuclide monitoring no significant change of the quality of surface water occurred upon the PUNPP discharges to the Pivdennyi Bug River. Specific activity of the ¹³⁷Cs in agricultural products in the PUNPP SZ was insignificant and not exceeding the PL of the content in food products. Content of ¹³⁷Cs in the samples from the PUNPP SZ did not exceed 1.0 % of the total activity.

Conclusion. Average concentration of radionuclides in atmospheric air of the settlements in the PUNPP SZ was several orders of magnitude lower than that established by regulatory documents. The PUNPP discharges to the Pivdennyi Bug River, according to radionuclide parameters that are monitored, have not significantly changed the quality of surface water. The content of ⁹⁰Sr and ¹³⁷Cs was uniform in all observation radii of distance from the NPP, confirming the very low level of ⁹⁰Sr and ¹³⁷Cs environmental emission by the PUNPP. The content of ¹³⁷Cs in agricultural products within the PUNPP SZ was significantly lower than PL.

Key words: environment, NPP surveillance zone, radioecological monitoring.

Problems of Radiation Medicine and Radiobiology. 2023;28:158-175. doi: 10.33145/2304-8336-2023-28-158-175

ВСТУП

Понад 50,0 % енергетики України залежить від атомних електростанцій, за умови, що всі АЕС працюють на Україну і не перебувають під окупацією та виробляють електроенергію. Державна атомна компанія «Енергоатом» підписала меморандум з американською компанією Westinghouse Electric Company, за яким планує збудувати 9 нових атомних блоків в Україні [1, 2]. У 2022 році Європарламент визнав газ та атомну енергетику «зеленими». Це означає, що їхнє використання не суперечить принципам вуглецевої нейтральності, досягти яких ЄС планує до 2050 року, коли

INTRODUCTION

More than 50.0 % of Ukraine's power industry depends on the nuclear power plants (NPPs), provided that all NPPs work just for Ukraine, produce electricity and are not under occupation. The State Nuclear Company «Energoatom» signed a memorandum with the American Westinghouse Electric Company, according to which it plans to build 9 new nuclear units in Ukraine [1, 2]. In 2022, the European Parliament recognized gas energy and nuclear energy as «green» ones, which means that their use does not contradict the principles of carbon neutrality, which the EU plans to achieve by 2050, when European countries are going

✉ Valentyna A. Prylypko, e-mail: basepril@i.ua

країни Європи збираються викидати стільки ж парникових газів, скільки й поглинати. Всі «старі» АЕС мають бути переобладнані відповідно до нових технологічних вимог. Активніше будуть розвиватися не великі традиційні реактори, а малі – Small Modular Reactor потужністю до 300 мВт. Україна поставила собі за мету триматися європейського курсу, а тому План відновлення має відповідати стандартам законодавства ЄС [3].

Водночас, атомна енергетика є потенційно небезпечною через: можливі аварії на енергоустановках, викиди близько 250 радіоактивних ізотопів в навколишнє середовище в результаті роботи ядерних реакторів. Ці процеси призводять до забруднення навколишнього середовища, впливають на стан здоров'я населення. Вплив діяльності АЕС на водойми, зокрема екологічний стан водних систем р. Південний Буг, Ташлицького водосховища-охолоджувача, досліджував в динаміці Український науково-дослідний інститут екологічних проблем [4, 5]. За даними багаторічних радіоекологічних і дозиметричних досліджень в районах Южноукраїнської та Запорізької АЕС визначено радіоекологічний ризик надходження у довкілля радіонуклідів з газоаерозольними викидами й рідкими скидами АЕС [6, 7]. У роботах науковців ДУ «Національний науковий центр радіаційної медицини Національної академії медичних наук України» (ННЦРМ) висвітлені питання захворюваності населення внаслідок впливу іонізуючого опромінення [8–10]. Побудова нових енергоблоків вимагає захисних заходів та радіаційного моніторингу довкілля при експлуатації. Радіоактивне забруднення супроводжує всі ланки складного господарства ядерної енергетики: видобуток і переробку урану, роботу АЕС, зберігання і регенерацію палива.

МЕТА

Оцінка впливу діяльності Південноукраїнської АЕС на навколишнє середовище зони спостереження (ЗС) за показниками радіаційного моніторингу в динаміці 2015–2021 рр.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Південноукраїнська АЕС (ПАЕС; до 2022 р. – Южно-Українська АЕС) розташована в степовій зоні на лівому березі річки Південний Буг поблизу Ташлицького водосховища у Вознесенському районі (раніше Арбузинському) Миколаївської області. Особливістю регіону, де побудована

to emit as much greenhouse gases as they absorb. All «old» NPPs must be at that reconstructed in accordance with new technological requirements. Not large traditional nuclear reactors, but small ones – the Small Modular Reactors with a capacity of up to 300 MW – will be more actively developed. The national leadership and people of Ukraine have set the goal of following the European course, and therefore the Recovery Plan must meet the standards of EU legislation [3].

At the same time, nuclear power industry is potentially dangerous due to the possible accidents at NPPs and emission of about 250 radioactive isotopes into the environment as a result of the operation of nuclear reactors, which lead to environmental pollution and impact on population health. The influence of NPP operation on water reservoirs, in particular the ecological state of water systems of the Pivdennyi Bug River and Tashlytsky reservoir-cooler, was studied at runtime by the Ukrainian Research Institute of Environmental Problems [4, 5]. According to the data of long-term radioecological and dosimetric studies in the areas of Pivdenoukrainska and Zaporizka NPPs, the radioecological risk of radionuclide releases to environment with gas-aerosol emissions and liquid discharges of the NPP has been determined [6, 7]. Issue of population morbidity as a result of the impact of ionizing radiation has been highlighted in the works of the State Institution «National Research Center for Radiation Medicine of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine (NRCRM) experts [8–10]. Construction of the new power units requires introduction of protective measures and environmental radiation monitoring during their operation. Radiological contamination accompanies all sectors of the nuclear power industry complex, namely mining and processing of uranium, operation of nuclear power plants, storage and regeneration of nuclear fuel.

OBJECTIVE

Assess the impact of operation of the Pivdenoukrainska NPP on the environment of surveillance zone (SZ) based on parameters of radiation monitoring within 2015–2021 period.

MATERIALS AND METHODS

Pivdenoukrainska Nuclear Power Plant (PUNPP, until 2022– the Yuzhno-Ukrainska NPP) is located in the steppe zone on the left bank of the Pivdennyi Bug River near the Tashlytsky Reservoir in Voznesensky (formerly Arbuzytskyi) District of the Mykolaiv Oblast. The outcrop of dense crystalline rocks is a fea-

ПАЕС, є виходи на поверхню шільних кристалічних порід; АЕС розміщена на південній межі смерч-небезпечної зони «А».

Основні характеристики ПАЕС: кількість реакторів – 3; тип реактора – водо-водяний енергетичний реактор (ВВЕР-1000); загальна потужність виробництва електроенергії – 3000 МВт. Санітарно-захисна зона (СЗЗ) ПАЕС має радіус 2,5 км, зона спостереження – 30 км. В ЗС ПАЕС проживає 143 200 осіб. Містом-супутником ПАЕС є Южноукраїнськ із населенням близько 41 000 чоловік, розташоване на відстані 2,5 км.

ПАЕС є основою Південноукраїнського енергетичного комплексу, який об'єднує АЕС, Олександрівську гідроелектростанцію (ГЕС) та Ташлицьку гідроакумулюючу електростанцію (ГАЕС) – єдине в Україні підприємство з комплексним використанням базових ядерних і маневрених гідроакумулюючих потужностей та водних ресурсів ріки Південний Буг. Південноукраїнський енергокомплекс за обсягами виробництва забезпечує потреби в електроенергії та нормальні умови для життєдіяльності південного регіону України з населенням понад 5 млн осіб.

Основними видами можливого впливу на навколишнє середовище при роботі АЕС, виходячи з технологічного процесу, є радіаційний, хімічний і фізичний вплив. Для оцінки радіаційного стану навколишнього середовища ЗС було використано дані моніторингу лабораторії зовнішнього радіаційного контролю (ЛЗРК) цеху радіаційної безпеки ПАЕС. ЛЗРК відповідальна за радіаційний контроль навколишнього середовища ЗС ПАЕС і атестована на право виконання вимірювань. Реєстрація інформації з відбору проб, радіохімічна підготовка, радіометричні і спектрометричні вимірювання проб, контроль виконання регламенту радіаційного контролю, підготовка звітів виконуються з використанням програмного комплексу «АТОМ».

Контроль проб у навколишньому середовищі відбувається за конкретними параметрами:

- > об'ємна активність радіонуклідів у поверхневих водоймах;
- > об'ємна активність радіонуклідів в атмосферному повітрі;
- > питома активність радіонуклідів у поверхневому шарі ґрунту;
- > питома активність радіонуклідів у рослинності;
- > питома активність радіонуклідів у молоці та сільськогосподарській продукції.

Відповідно до Норм радіаційної безпеки України (НРБУ-97) [11], обмеження опромінення населен-

ture of the region where the PUNPP was built. The NPP is located on the southern border of the tornado-danger zone «А».

The PUNPP operates 3 power units with such type of reactors as the water-water power reactor (VVER-1000), and total power production capacity of 3000 MW. The sanitary and protective zone (SPZ) of the PUNPP is of a 2.5-km radius, the SZ is of a 30-km radius. 143,200 people live in the PUNPP SZ. Yuzhnoukrainsk is the PUNPP satellite city located at a distance of 2.5 km with population of about 41,000.

PUNPP is the key component of the South Ukrainian energy complex, which unites the NPP itself, Oleksandrivska Hydro Power Plant (HPP) and Tashlytska Pumped-Storage Power Plant (PSPP) jointly being the only enterprise in Ukraine with the integrated use of basic nuclear and maneuverable hydraulic storage capacities both with water resources of the Pivdennyi Bug River. The South Ukrainian energy complex, in terms of production, provides the electricity needs and normal conditions for life in the southern region of Ukraine with a population of more than 5 million people.

The main types of possible environmental impact during NPP operation by reference to technological process are radiation, chemical and physical ones. The monitoring data obtained by the External Radiation Control Laboratory (ERCL) of the PUNPP Radiation Safety Department were used to assess the environmental radiation situation in SZ. The ERCL is certified to perform the radiological measurements and its personnel is responsible for the radiation control of the PUNPP SZ environment. Data registration on sampling, radiochemical preparation, radiometric and spectrometric measurements of samples, supervising of implementation of the radiation control regulation, and reports preparing are conducted using the «АТОМ» software complex.

Control of samples in the environment is held according to the following specific parameters:

- > volumetric activity of radionuclides in surface water bodies;
- > volume activity of radionuclides in atmospheric air;
- > specific activity of radionuclides in the surface layer of soil;
- > specific activity of radionuclides in vegetation;
- > specific activity of radionuclides in milk and agricultural products.

In accordance with the Radiation Safety Norms of Ukraine (NRBU-97) [11] the limitation of public

ня здійснюється шляхом регламентації та контролю: газоаерозольних викидів і рідинних скидів у процесі роботи АЕС; вмісту радіонуклідів в окремих об'єктах навколишнього середовища (вода, повітря, ґрунт, продукти харчування). Для відповідних радіаційно-ядерних об'єктів встановлюється квота ліміту дози опромінення осіб категорії В – населення. На основі квоти ліміту дози для кожного об'єкту визначаються допустимі скиди (ДС) і допустимі викиди (ДВ).

Відбір та аналіз проб приземного шару атмосферного повітря в населених пунктах ЗС АЕС виконується згідно з «Регламентом радіаційного контролю АЕС». Перелік радіонуклідів і значення ДВ ліміту викиду (ЛВ) визначається діючим на ПАЕС документом «Допустимый газо-аерозольный выброс и допустимый водный сброс радиоактивных веществ в окружающую среду ОП «ЮУ-АЕС» (радиационно-гигиенический регламент первой группы) РГ.0.0026.0159».

Радіаційний контроль водного середовища при пропуску Ташлицького водосховища проводиться відповідно до «Регламенту пропуску Ташлицької водойми-охолоджувача ВП «Южно-Українська АЕС» в Олександрівське водосховище, РГ.0.3708.0113».¹ Значення лімітів річних скидів радіоактивних речовин, надходження яких у навколишнє середовище допустиме з водним скидом ПАЕС визначаються діючим на АЕС документом «Допустимый газо-аерозольный выброс и допустимый водный сброс радиоактивных веществ в окружающую среду ОП «ЮУАЕС» (радиационно-гигиенический регламент первой группы) РГ.0.0026.0159».

Контроль за вмістом радіоактивних речовин у воді ріки Південний Буг проводиться у точках: с. Олексіївка (насосна станція питного водопостачання міста, в 7 км вище за течією ріки від міста) з 1983 року та с. Бузьке (в 7 км нижче за течією ріки від м. Южноукраїнськ) з 1988 року. Точки контролю були визначені з територіальними органами Держсанепідслужби на стадії узгодження «Програм радіаційного контролю навколишнього середовища», що розробляються і переглядаються, з урахуванням радіаційного стану. Контроль активності води проводиться методом пробовідбору і наступного лабораторного аналізу (радіометричного, радіохімічного та спектрометричного).

¹ВП «Южно-Українська АЕС» – Відокремлений підрозділ «Южно-Українська АЕС» державного підприємства «Національна атомна енергогенеруюча компанія «Енергоатом»; з 14.04.2022 – Відокремлений підрозділ «Південноукраїнська АЕС» державного підприємства «Національна атомна енергогенеруюча компанія «Енергоатом», ВП «Південноукраїнська АЕС», ВП ПАЕС

exposure is carried out by regulating and controlling of the gas-aerosol emissions and liquid discharges during NPP operation, and content of radionuclides in certain environmental matters e.g. water, air, soil, and food. A quota of dose limit for exposure of persons of the B-population category is established for the relevant radiation and nuclear facilities. Permissible discharges (PD) and permissible emissions (PE) are determined in accordance with the dose limit quota for each facility.

Sampling and analysis of samples of the surface layer of atmospheric air in populated areas of the NPP SZ is carried out in accordance with the «Radiation Control Regulation of the Nuclear Power Plant». The list of radionuclides and the value of permissible emission limit are stated in the document «Permissible gas-aerosol release and permissible aqueous discharge of radioactive substances into the environment of the «YuU-AES OP» (radiation-hygienic regulation of the first group) РГ.0.0026.0159».

Radiation control of the water environment during flushing of the Tashlytsky reservoir is held in accordance with the «Regulations for flushing the Tashlytsky reservoir-cooler of the «Yuzhno-Ukrainska NPP» into the Oleksandrivske water reservoir, РГ.0.3708.0113».¹ Values of the limits of annual discharges of radioactive substances, the environmental entry of which is permissible with the PUNPP water discharge are determined by the document in force at the NPP «Permissible gas-aerosol release and water discharge of radioactive substances into the environment of the «YouUAES OP» (radiation-hygienic regulation of the first group) РГ.0.0026.0159».

Control of the content of radioactive substances in the water of the Pivdennyi Bug River is carried out at the Oleksiivka village (pumping station for the city's drinking water supply, 7 km upstream from the city) since 1983 and the village of Buzke (7 km downstream from the city of Yuzhnoukrainsk) since 1988. The control points were established in agreement with the territorial bodies of the State Sanitation Service at a stage of coordination of the «Programs of radiation control of the environment», which are being developed and revised, taking into account the radiation situation. Control of water activity is carried out by sampling and subsequent radiometric, radiochemical and spectrometric laboratory analysis.

¹The SD «South-Ukrainian NPP» is the Separate division «South-Ukrainian NPP» of the state enterprise «National Atomic Energy Generating Company «Energoatom»; since 04/14/2022 is the Separate division «Southern Ukrainian NPP» of the state enterprise «National Atomic Energy Generating Company «Energoatom», SD «Southern Ukrainian NPP», SD SNPP

Вимірювання потужності дози гамма-випромінювання на місцевості проводилися за допомогою переносних радіометрів типу СРП-68-01 і МКС-01Р на час відбору проб зовнішнього середовища в різних населених пунктах, розташованих на різних відстанях від ПАЕС, у місцях стаціонарних постів спостереження. Потужність дози гамма-випромінювання вимірювалася з погрешністю $\pm 15,0\%$ на рівні 1 метра від поверхні землі.

Відбір ґрунту в пунктах постійного спостереження проводився одночасно з відбором проб трав'янистої рослинності. Вміст радіонуклідів у ґрунті й рослинності визначався, в основному, радіонуклідами глобального походження: ^{90}Sr і ^{137}Cs . Відбір проб ґрунту і рослинності проводився за 6 радіусами спостереження (25 точок), один раз на рік (травень-червень).

РЕЗУЛЬТАТИ

Викиди в атмосферу

В результаті поділу ядерного палива утворюється близько 200 різних радіонуклідів. Значна частина нуклідів, що утворюються при поділі, припадає на викиди інертних радіоактивних газів (ІРГ) – ізомери криптону й ксенону, а серед радіонуклідів, що визначають небезпеку внутрішнього опромінення людини – ізомери йоду, цезію, стронцію, цирконію, барію та рутенію. При експлуатації АЕС у нормальному режимі забезпечується локалізація основної кількості радіоактивних продуктів у реакторній установці та у спеціальних системах водо- і газоочистки. Однак через низку причин незначна частина радіонуклідів все ж потрапляє у навколишнє середовище. Величина радіоактивних викидів в атмосферу контролюється в групах радіонуклідів: ІРГ, довгоживучих нуклідів (ДЖН), ^{131}I . В таблиці 1 та рисунку 1 приведені газо-

Measurements of the dose rate of gamma radiation in the area were carried out using portable SRP-68-01 and MKS-01R type radiometers during the environmental sampling in several settlements located at different distances from the PUNPP at the places of stationary observation posts. The dose rate of gamma radiation was measured with an error of $\pm 15.0\%$ at the altitude of 1 meter from the soil surface.

Sampling of soil and herbaceous vegetation at the points of permanent surveillance was carried out simultaneously. Radionuclide content in soil and vegetation was mainly represented by those of global origin, i.e. ^{90}Sr and ^{137}Cs . Sampling of soil and vegetation was carried out in 25 points within 6 surveillance radii once a year in May-June.

RESULTS

Atmospheric emissions

About 200 different radionuclides are formed as a result of the decay of nuclear fuel. Most of them belong to the inert radioactive gases (IRG) family (featuring isotopes of krypton and xenon), while isotopes of iodine, cesium, strontium, zirconium, barium and ruthenium are the radionuclides being hazardous to human because of the internal exposure risk. During normal NPP operation the localization and/or utilization of the main amount of radioactive products in the reactor unit and in special water and gas treatment systems is ensured. However, for a number of reasons, a small part of radionuclides still enters the environment. The amount of atmospheric radioactive emissions is controlled in such groups of radionuclides as IRG, long-lived nuclides (LLN), and ^{131}I . Table 1 and Figure 1 show the amounts

Таблиця 1

Сумарні викиди ІРГ, ДЖН, ^{131}I енергоблоками Південноукраїнської атомної електростанції (фактичний, ЛВ % від допустимого)

Table 1

Total emissions of IRG, LLN, and ^{131}I by the Pivdennoukrainska NPP in actual amount and emission limit (% of permissible values)

| Роки Years | ІРГ, ГБк IRG, GBq | ЛВ, % допустимого EL, % of permissible | ДЖН, ГБк LLN, GBq | ЛВ, % допустимого EL, % of permissible | ^{131}I , ГБк 131I, GBq | ЛВ, % допустимого EL, % of permissible |
|---------------|----------------------|---|----------------------|---|-------------------------------------|---|
| 2015 | 6,01E+01 | 1,34E-01 | 6,10E-05 | 7,63E-03 | 1,43E-04 | 3,77E-03 |
| 2016 | 5,44E+01 | 1,21E-01 | 1,32E-04 | 1,65E-02 | 3,16E-04 | 8,32E-03 |
| 2017 | 5,15E+01 | 1,15E-01 | 1,40E-04 | 1,75E-02 | 1,46E-04 | 3,84E-03 |
| 2018 | 4,28E+01 | 9,51E-02 | 1,64E-04 | 2,05E-02 | 8,08E-05 | 2,13E-03 |
| 2019 | 4,05E+01 | 9,00E-02 | 2,97E-04 | 3,71E-02 | 7,25E-05 | 1,91E-03 |
| 2020 | 4,49E+01 | 9,97E-02 | 2,55E-04 | 3,18E-02 | 1,14E-04 | 3,01E-03 |
| 2021 | 2,84E+01 | 6,31E-02 | 2,19E-04 | 2,74E-02 | 8,83E-05 | 2,32E-03 |

Примітка. Контроль ДЖН, ІРГ і радіонуклідів йоду здійснюється щодоби.
Note. Control of IRG, LLN, and iodine radionuclides is held daily.

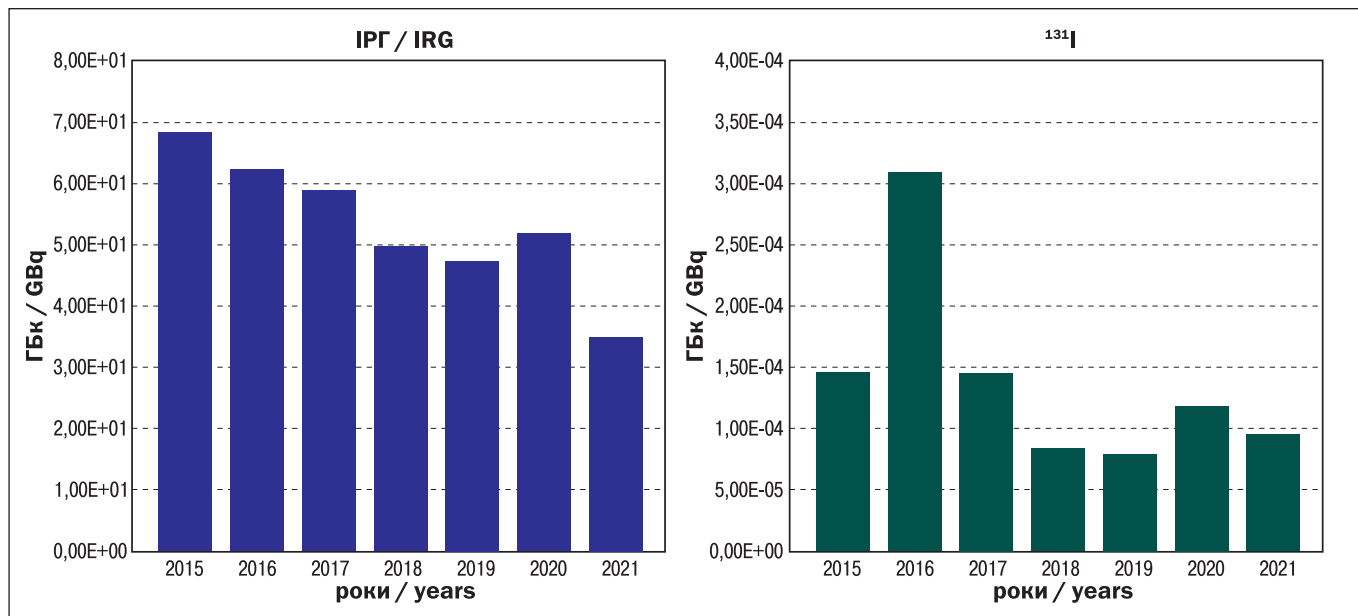


Рисунок 1. Фактичні викиди ІРГ та ¹³¹І енергоблоками ПАЕС в динаміці

Figure 1. Actual releases of IRG and ¹³¹I in GBq by the PUNPP power units at a runtime

аерозольні викиди радіонуклідів (ІРГ, ДЖН, ¹³¹І) енергоблоками (фактичний, відсоток від допустимого) ПАЕС в динаміці 2015–2021 рр.

На рисунку 2 і в таблиці 2 приведені сумарні викиди радіонуклідів (⁵¹Cr, ⁵⁴Mn, ⁵⁹Fe, ⁵⁸Co, ⁶⁰Co, ⁹⁰Sr, ⁹⁵Zr, ⁹⁵Nb, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs, ³H) енергоблоками ПАЕС (фактичний, відсоток від ЛВ) в атмосферу. Всі викиди радіонуклідів не перевищували встановлених ДР, зокрема ⁹⁰Sr, ¹³⁷Cs.

Від’ємний темп приросту в динаміці за роками спостерігається для більшості сумарних викидів

(actual and percentage of permissible) of gas-aerosol emissions of radionuclides (IRG, LLN, ¹³¹I) by the PUNPP power units at a runtime of 2015–2021.

Figure 2 and Table 2 show the total amount of atmospheric radionuclide emissions (⁵¹Cr, ⁵⁴Mn, ⁵⁹Fe, ⁵⁸Co, ⁶⁰Co, ⁹⁰Sr, ⁹⁵Zr, ⁹⁵Nb, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs, ³H) by the PUNPP power units (actual and % of EL). All emissions of radionuclides, in particular ⁹⁰Sr and ¹³⁷Cs, did not exceed the established permissible levels.

Negative rate of increase at a runtime over years was observed for the majority of total radionuclide

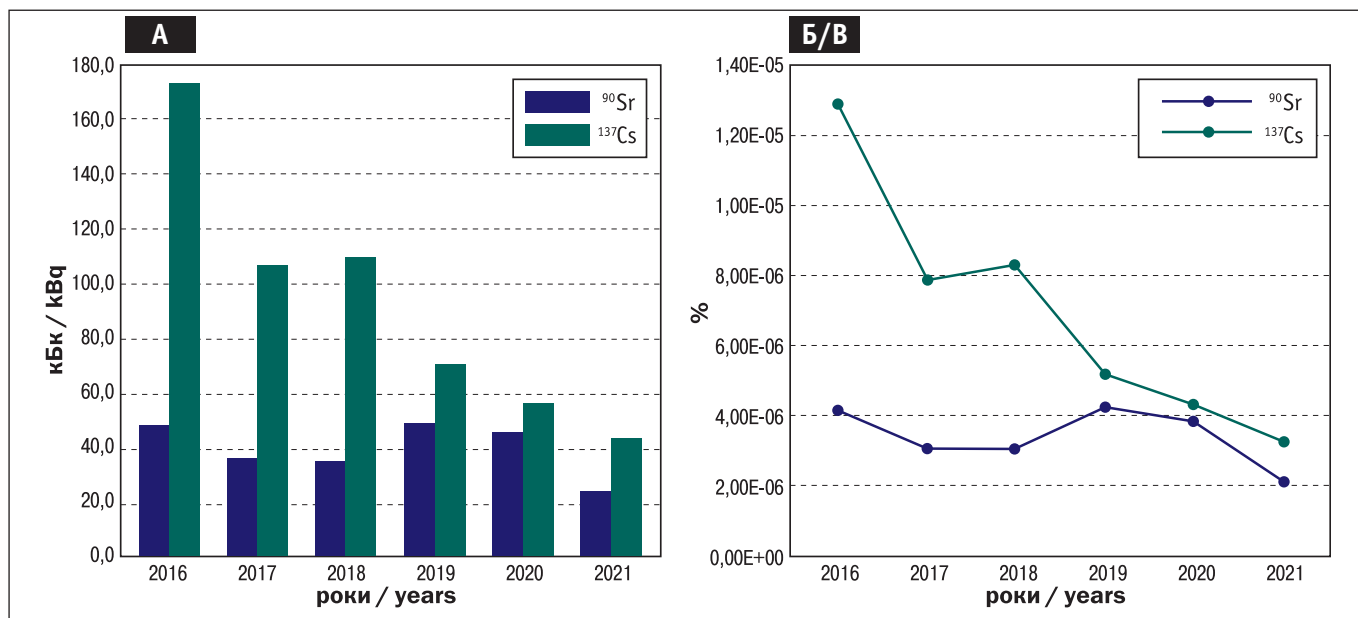


Рисунок 2. Фактичні викиди ⁹⁰Sr та ¹³⁷Cs енергоблоками ПАЕС (А) та ЛВ % від допустимого в динаміці (Б)

Figure 2. Actual releases of ⁹⁰Sr and ¹³⁷Cs by the PUNPP power units (A) and EL % from permissible values at a runtime (B)

Таблиця 2

Темп приросту сумарних викидів радіонуклідів енергоблоками ПАЕС (фактичний, ЛВ, % від допустимого)

Table 2

Increase rate of total radionuclide emissions by the PUNPP power units (actual and % of EL)

| Радіонуклід Radionuclide | Роки / Years | | | | Темп приросту, % Increase rate, % |
|-----------------------------|--------------|-------------------------|-----------|-------------------------|--------------------------------------|
| | 2015 | | 2021 | | |
| | кБк / kBq | ЛВ, % допустимого EL, % | кБк / kBq | ЛВ, % допустимого EL, % | |
| ⁵¹ Cr | 672,30 | 3,00E-08 | 171,71 | 1,00E-08 | -74,46 |
| ⁵⁴ Mn | 106,93 | 6,00E-07 | 40,72 | 2,30E-07 | -61,92 |
| ⁵⁹ Fe | 154,66 | 4,20E-07 | 50,91 | 1,40E-07 | -67,08 |
| ⁵⁸ Co | 85,03 | 2,00E-07 | 23,42 | 6,00E-08 | -72,46 |
| ⁶⁰ Co | 573,46 | 5,89E-05 | 334,92 | 3,44E-05 | -41,60 |
| ⁹⁰ Sr | 11,20 | 9,70E-07 | 23,92 | 2,07E-06 | 113,57 |
| ⁹⁵ Zr | 127,34 | 2,20E-07 | 37,21 | 6,00E-08 | -70,78 |
| ⁹⁵ Nb | 94,17 | 8,00E-08 | 21,46 | 2,00E-08 | -77,21 |
| ^{110m} Ag | 173,50 | 1,10E-05 | 253,36 | 1,60E-05 | 46,03 |
| ¹³⁴ Cs | 83,97 | 6,27E-06 | 20,56 | 1,54E-06 | -75,52 |
| ¹³⁴ Cs | 308,90 | 2,31E-05 | 43,49 | 3,25E-06 | -85,92 |
| ³ H | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 8,92E+07 | 1,40E-03 | - |

Примітка. Контроль ⁹⁰Sr – щокварталу, інших радіонуклідів – щомісяця.
Note. Quarterly control of ⁹⁰Sr, and monthly of all other radionuclides.

радіонуклідів. Позитивний темп приросту сумарних викидів радіонуклідів в динаміці за роками 2015–2021 характерний для ⁹⁰Sr (113,57 %) і ^{110m}Ag (46,03 %).

Скиди у водойми

Технічне водопостачання ПАЕС базується на наливному водосховищі, створеному на балці Ташлик шляхом заповнення її водою з ріки Південний Буг. Підживлення водосховища здійснюється з ріки Південний Буг. Для контролю радіаційного стану відкритих водойм відбираються проби води в річці Південний Буг і Ташлицькому водосховищі.

У таблиці 3 наведені середні значення вмісту радіонуклідів у Ташлицькій водоймі-охолоджувачі та р. Південний Буг в точках контролю за період 2015–2021 років.

Вміст ДЖН ⁹⁰Sr і ¹³⁷Cs у ставку-охолоджувачі знаходився в межах фонових значень: від 24,50 Бк/м³ до 14,00 Бк/м³ впродовж років для ⁹⁰Sr та від 3,95 Бк/м³ до 1,85 Бк/м³ для ¹³⁷Cs.

Вміст ДЖН ⁹⁰Sr і ¹³⁷Cs у р. Південний Буг рівномірний по всій розглянутій ділянці ріки від с. Олексіївка до с. Бузьке і знаходився в межах фонових значень від 22,50 Бк/м³ до 11,25 Бк/м³ для ⁹⁰Sr і від 4,24 Бк/м³ до 1,85 Бк/м³ для ¹³⁷Cs.

Динаміка зміни концентрації радіонуклідів ⁹⁰Sr у ставку-охолоджувачі та воді р. Південний Буг у точках контролю наведена на рисунку 3 за вказаний період спостереження.

emissions. Positive increase rate of total radionuclide emissions at a runtime of 2015–2021 was typical for ⁹⁰Sr (113.57 %) and ^{110m}Ag (46.03 %).

Discharges into water bodies

Process/service water supply of the PUNPP is provided from a pumped storage reservoir created on the Tashlyk coomb by filling it with water from the Pivdennyi Bug River which now feeds the reservoir. Water samples are taken from the Pivdennyi Bug River and the Tashlytsky Reservoir to monitor the radiation status of open water bodies.

Average values of radionuclide content at the control points at the Tashlytsky cooling reservoir and Pivdennyi Bug River for the 2015–2021 period are shown in Table 3.

Content of the long-lived radionuclides ⁹⁰Sr and ¹³⁷Cs in the cooling pond was within background values, i.e. 24.50–14.00 Bq/m³ for ⁹⁰Sr and 3.95–1.85 Bq/m³ for ¹³⁷Cs over the years.

Content of the long-lived radionuclides ⁹⁰Sr and ¹³⁷Cs in the Pivdennyi Bug River was uniform throughout the surveyed part of river from the village of Oleksiivka to the village Buzke being within background values from 22.50 Bq/m³ to 11.25 Bq/m³ for ⁹⁰Sr and from 4.24 Bq/m³ to 1.85 Bq/m³ for ¹³⁷Cs.

The time pattern of changes in the ⁹⁰Sr radionuclide concentration in the water of cooling pond and Pivdennyi Bug River at the control points is shown in Figure 3 for the stated period of survey.

Таблиця 3

Вміст радіонуклідів у водоймах зони спостереження ПАЕС (Бк/м³)

Table 3

Radionuclide content in the water bodies of the PUNPP SZ (Bq/m³)

| Рік Year | Радіонуклід Radionuclide | Ставок-охолоджувач Cooling reservoir | р. П. Буг до ПАЕС Pivdennyi Bug River upstream the PUNPP | р. П. Буг після ПАЕС Pivdennyi Bug River downstream the PUNPP |
|-------------|-----------------------------|---|--|---|
| 2015 | ¹³⁷ Cs | 3,95* | 4,0* | 4,24* |
| | ¹³⁴ Cs | 3,53* | 3,55* | 3,58* |
| | ⁶⁰ Co | 103,8* | 112,8* | 95,4* |
| | ⁹⁰ Sr | 21,8 | 22,0 | 22,5 |
| | ³ H | 105792 | 12084 | 12167 |
| 2016 | ¹³⁷ Cs | 3,95* | 4,0* | 4,24* |
| | ¹³⁴ Cs | 3,53* | 3,55* | 3,58* |
| | ⁶⁰ Co | 103,8* | 112,8* | 95,4* |
| | ⁹⁰ Sr | 21,8 | 22,0 | 22,5 |
| | ³ H | 105792 | 12084 | 12167 |
| 2017 | ¹³⁷ Cs | 2,15* | 2,16* | 2,16* |
| | ¹³⁴ Cs | 1,87* | 1,83* | 1,76* |
| | ⁶⁰ Co | 75,65* | 72,63* | 70,95* |
| | ⁹⁰ Sr | 20,5 | 20,0 | 19,75 |
| | ³ H | 136650 | 13000 | 13084 |
| 2018 | ¹³⁷ Cs | 2,20* | 2,14* | 2,05* |
| | ¹³⁴ Cs | 1,79* | 1,76* | 1,74* |
| | ⁶⁰ Co | 75,23* | 73,75* | 71,55* |
| | ⁹⁰ Sr | 21,00 | 17,50 | 17,25 |
| | ³ H | 125861 | 12667 | 12834 |
| 2019 | ¹³⁷ Cs | 1,86* | 1,92* | 1,90* |
| | ¹³⁴ Cs | 1,56* | 1,65* | 1,66* |
| | ⁶⁰ Co | 75,15* | 71,38* | 72,90* |
| | ⁹⁰ Sr | 24,50 | 17,25 | 12,0 |
| | ³ H | 125445 | 11584 | 14250 |
| 2020 | ¹³⁷ Cs | 1,88* | 1,89* | 1,88* |
| | ¹³⁴ Cs | 1,55* | 1,63* | 1,56* |
| | ⁶⁰ Co | 78,23* | 78,00* | 76,85* |
| | ⁹⁰ Sr | 16,50 | 12,25 | 11,25 |
| | ³ H | 139000 | 12083 | 14667 |
| 2021 | ¹³⁷ Cs | 1,85* | 1,85* | 1,88* |
| | ¹³⁴ Cs | 1,69* | 1,61* | 1,60* |
| | ⁶⁰ Co | 73,83* | 73,10* | 76,50* |
| | ⁹⁰ Sr | 14,00 | 12,25 | 11,75 |
| | ³ H | 142500 | 12250 | 12250 |

Примітка. * – значення наведено в 0,5 мінімально детектованої активності спектрометра при вимірюванні конкретної проби.
Note. * – values of the 0.5 of minimal detected activity (MDA) by spectrometer in the specific sample.

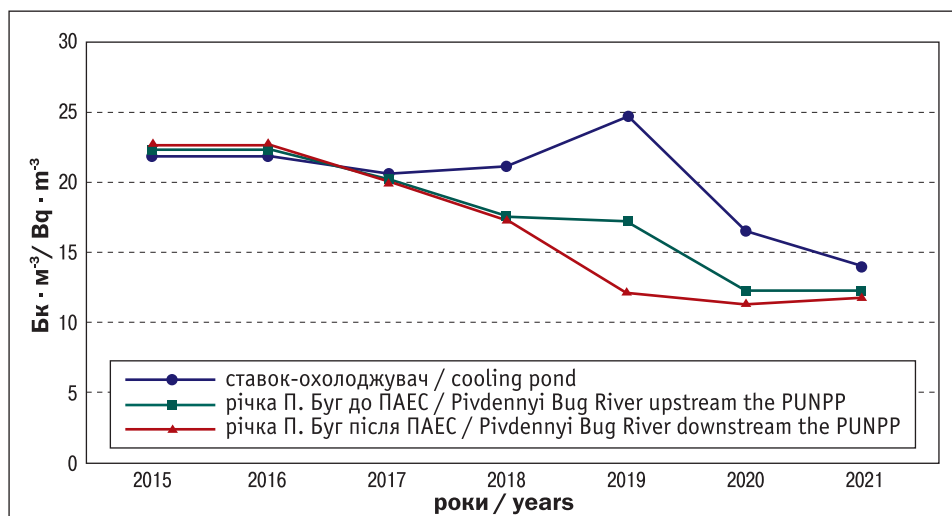


Рисунок 3. Динаміка концентрації ⁹⁰Sr у ставку-охолоджувачу, р. Південний Буг у точках контролю

Figure 3. Time pattern of ⁹⁰Sr radionuclide concentration in the water of cooling pond and the Pivdennyi Bug River at the control points

Концентрації радіонуклідів ^{90}Sr і ^{137}Cs у водних об'єктах за досліджуваний період не перевищували нормативних величин згідно з НРБУ-97 [11]. Враховуючи, що р. Південний Буг має значення як джерело господарсько-питного постачання, то для радіонуклідів ^{90}Sr і ^{137}Cs застосовані вимоги «ДР-2006», ДСанПін 2.2.4 – 171-10 [12, 13], які мають такі значення для питної води: ^{90}Sr – 2000 Бк/м³; ^{137}Cs – 2000 Бк/м³.

Середні значення вмісту тритію у Ташлицькій водоймі-охолоджувачі (рис. 4) в динаміці складали від 105 792 Бк/м³ до 142 500 Бк/м³.

Середні значення вмісту тритію у воді р. Південний Буг по точках контролю з 2015 року по 2021 рік складали від 11 584 Бк/м³ до 13 000 Бк/м³ у с. Олексіївка і від 14677 Бк/м³ до 12167 Бк/м³ у с. Бугське та не перевищували ДР. Згідно НРБУ-97 [11] допустимі концентрації тритію в питній воді – $3,0\text{E}+07$ Бк/м³.

Радіаційна ситуація в населених пунктах ЗС ПАЕС

Середнє значення потужності дози гамма-випромінювання за 2015–2021 рр. в ЗС на промисловому майданчику ПАЕС (0,2 км), у місті Южноукраїнськ та 15 населених пунктах, на контрольному посту в с. Рябоконево (33,5 км) було в межах від 0,10 мкЗв/год до 0,12 мкЗв/год, що не перевищувало допустимих значень (0,3 мкЗв/год).

Штучна радіоактивність приземного повітря ЗС ПАЕС обумовлена переважно ізотопом ^{137}Cs на фоні природних і космогенних радіонуклідів (^{40}K , ^7Be). Радіонукліди ^{137}Cs , ^{60}Co , ^{58}Co , ^{54}Mn , ^{134}Cs

Concentrations of the ^{90}Sr and ^{137}Cs radionuclides in water bodies during the survey period did not exceed the normative values according to NRBU-97 [11]. Taking into account that the Pivdennyi Bug River is critical as a source of economic and drinking water supply, the requirements of «DR-2006», State Sanitary Rules and Norms 2.2.4-171-10 [12, 13] are applied to ^{90}Sr and ^{137}Cs radionuclides providing the value for drinking water of 2000 Bq/m³ for both.

Average values of tritium content in the Tashlytsky cooling reservoir (Fig. 4) range at a runtime from 105,792 Bq/m³ to 142,500 Bq/m³.

Average values of tritium content in the water of Pivdennyi Bug River at control points since 2015 till 2021 was from 11,584 Bq/m³ to 13,000 Bq/m³ in the village of Oleksiivka and within 14,677–12,167 Bq/m³ in the village of Buzke not exceeding the permissible level. According to NRBU-97 [11], the permissible concentration of tritium in drinking water is $3.0\text{E}+07$ Bq/m³.

Radiation situation in the settlements of the PUNPP SZ

Average value of the gamma radiation dose rate for 2015–2021 period in the SZ at the PUNPP industrial site (0.2 km distance), in the city of Yuzhnoukrainsk and 15 settlements, and at the control post in the village of Riabokoneve (33.5 km distance) was from 0.10 $\mu\text{Sv/h}$ to 0.12 $\mu\text{Sv/h}$, which did not exceed the permissible values (0.3 $\mu\text{Sv/h}$).

Artificial radioactivity of the surface air at the PUNPP SZ is formed mainly by the ^{137}Cs isotope against the background of natural and cosmogenic radionuclides (^{40}K , ^7Be). The ^{137}Cs , ^{60}Co , ^{58}Co , ^{54}Mn , and ^{134}Cs

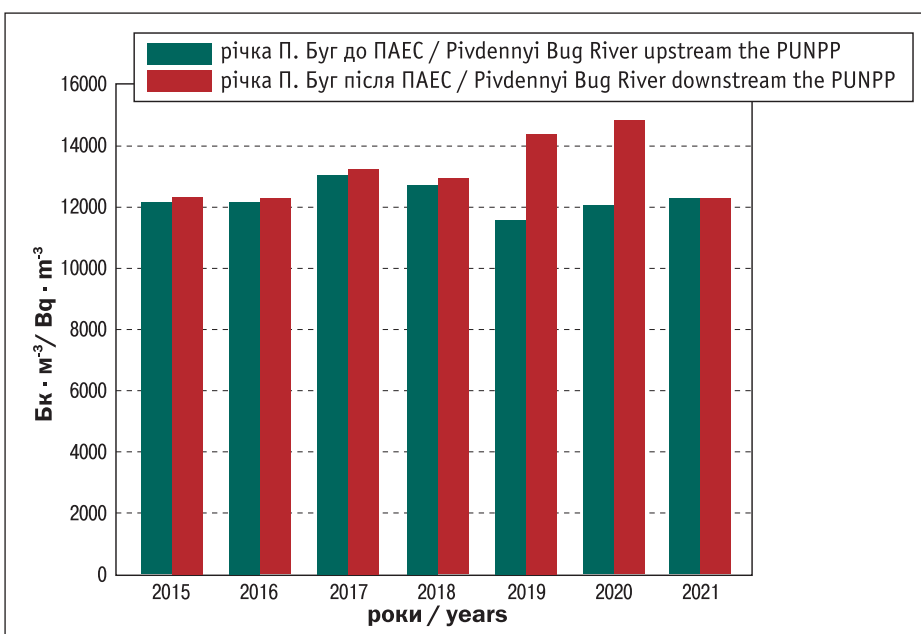


Рисунок 4. Динаміка концентрації ^3H у р. Південний Буг у точках контролю

Figure 4. Time pattern of ^3H concentration in the Pivdennyi Bug River at the control points

Таблиця 4

Середні концентрації радіонуклідів у атмосферному повітрі населених пунктів ЗС ПАЕС (мкБк/м³)

Table 4

Average concentrations of radionuclides in atmospheric air of the PUNPP SZ settlements (μBq/m³)

| Точка спостереження Control points | Радіонуклід Radionuclide | Рік / Year | | | | | Допустимі концентрації в повітрі для населення Permissible air concentrations for population |
|--|-----------------------------|------------|-------|-------|-------|-------|---|
| | | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | |
| Проммайданчик PUNPP industrial site | ¹³⁷ Cs | 0,373 | 0,705 | 0,493 | 2,858 | 0,448 | 0,800 |
| | ¹³⁴ Cs | 0,743 | 0,260 | 0,267 | 0,277 | 0,279 | 1,000 |
| | ⁹⁰ Sr | 0,147 | 1,307 | 1,310 | 0,783 | 0,658 | 0,200 |
| м. Южноукраїнськ City of Yuzhnoukrainsk | ¹³⁷ Cs | 0,430 | 0,334 | 0,413 | 3,722 | 0,294 | 0,800 |
| | ¹³⁴ Cs | 0,701 | 0,256 | 0,258 | 0,265 | 0,264 | 1,000 |
| | ⁹⁰ Sr | 0,106 | 1,568 | 0,978 | 1,286 | 0,490 | 0,200 |
| с. Рябоконево (контрольний пост) Village of Riabokoneve (control station) | ¹³⁷ Cs | 0,322 | 0,844 | 0,629 | 1,986 | 0,271 | 0,800 |
| | ¹³⁴ Cs | 0,277 | 0,517 | 0,236 | 0,245 | 0,245 | 1,000 |
| | ⁹⁰ Sr | 0,115 | 0,222 | 0,156 | 0,566 | 0,497 | 0,200 |

реєструються у 50–100 % відібраних проб. Радіонукліди ⁵¹Cr, ¹³¹I, ^{110m}Ag, ⁹⁵Nb, ¹⁰³Ru присутні в повітрі епізодично, у період проведення планово-попереджувальних ремонтів.

Кількісні показники радіонуклідів у атмосферному повітрі ЗС приведені в таблиці 4.

Середньорічні значення питомої концентрації радіонуклідів у приземному шарі атмосферного повітря за період спостережень із 2015 року по 2021 рік свідчать, що вміст ізотопів ¹³⁷Cs і ⁹⁰Sr у повітрі ЗС рівномірно розподілений по постах радіаційного контролю.

На рисунках 5–6 наведена динаміка зміни середньорічної концентрації радіонуклідів ⁹⁰Sr та ¹³⁷Cs у приземному шарі атмосферного повітря за період спостережень на стаціонарних постах радіаційного контролю: проммайданчик ПАЕС, с. Рябоконево (контрольний пост).

radionuclides are registered in 50–100 % of the sampled specimens. The ⁵¹Cr, ¹³¹I, ^{110m}Ag, ⁹⁵Nb, and ¹⁰³Ru appear in the air sporadically during the periods of planned and preventive services and repairs.

Quantitative parameters of radionuclide content in atmospheric air of the SZ are given in Table 4.

Average annual values of specific concentration of radionuclides in the surface layer of atmospheric air for the observation period since 2015 till 2021 show that the content of ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr isotopes in the SZ air was evenly distributed among the radiation control posts.

Figures 5–6 show the time patterns of changes in the average annual concentration of ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr radionuclides in surface layer of atmospheric air during the survey period at the stationary radiation monitoring stations i.e. the PUNPP industrial site and village of Riabokoneve (the monitoring site).

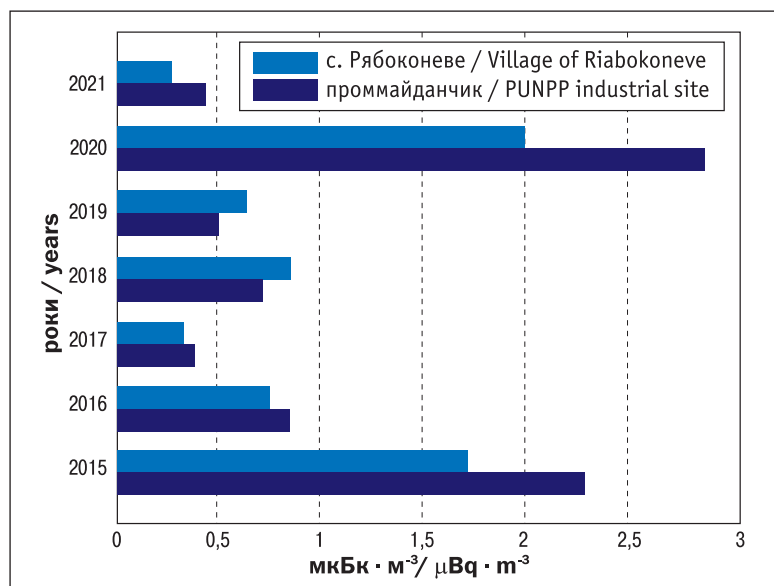


Рисунок 5. Середні концентрації радіонукліду ¹³⁷Cs у атмосферному повітрі населених пунктів ЗС ПАЕС

Figure 5. Average concentrations of ¹³⁷Cs radionuclide in atmospheric air of the PUNPP SZ settlements

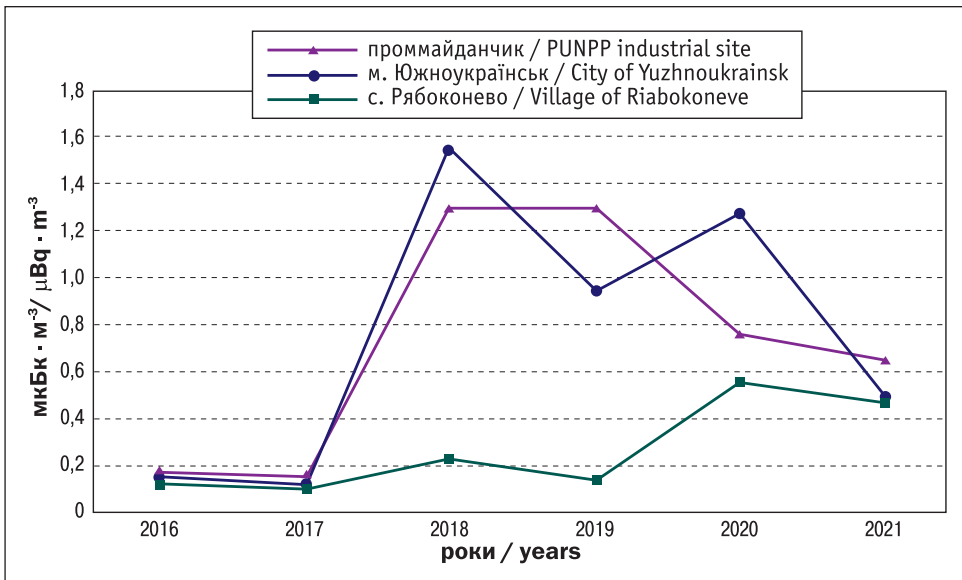


Рисунок 6. Середні концентрації радіонукліду ⁹⁰Sr у атмосферному повітрі населених пунктів зони спостереження ПАЕС

Figure 6. Average concentrations of ⁹⁰Sr radionuclide in atmospheric air of the PUNPP SZ settlements

Максимальні середні значення концентрації в атмосферному повітрі ¹³⁷Cs за період 2015–2021 рр. склали: проммайданчик ПАЕС – 2,858 мкБк/м³, м. Южноукраїнськ – 3,722 мкБк/м³, с. Рябоконево – 1,986 мкБк/м³, що не перевищує допустимі значення згідно НРБУ, для ¹³⁷Cs – 0,8 Бк/м³. Максимальні середні значення концентрації в повітрі ⁹⁰Sr склали: проммайданчик ПАЕС – 1,310 мкБк/м³, м. Южноукраїнськ – 1,568 мкБк/м³, с. Рябоконево – 0,566 мкБк/м³, що не перевищувало допустимих значень згідно з НРБУ-97 [11] для ⁹⁰Sr – 0,2 Бк/м³.

The maximum average values of ¹³⁷Cs concentration in atmospheric air for the period of 2015–2021 were 2.858 μBq/m³ at the PANPP industrial site, 3.722 μBq/m³ in Yuzhnoukrainsk city, and 1.986 μBq/m³ in Riabokoneve village, not exceeding the permissible value of 0.8 Bq/m³ for ¹³⁷Cs according to the NRBU-97 [11]. Maximum average values of the ⁹⁰Sr air concentration were 1,310 μBq/m³ at the PANPP industrial site, 1,568 μBq/m³ in Yuzhnoukrainsk city, and 0.566 μBq/m³ in Riabokoneve village, not exceeding the permissible value 0.2 Bq/m³ for ⁹⁰Sr according to NRBU-97 [11].

Вміст радіонуклідів у ґрунті, рослинності та сільськогосподарській продукції

Вміст радіонуклідів у пробах ґрунту та рослинності в ЗС ПАЕС представлено в таблицях 5–8.

У ґрунті вміст ⁹⁰Sr рівномірний у всіх радіусах ЗС по віддаленості від ПАЕС від 1,03 Бк/кг до 0,24 Бк/кг, що підтверджує дуже низький рівень викиду ⁹⁰Sr у навколишнє середовище АЕС. Вміст ¹³⁷Cs у всіх радіусах спостереження складає від 19,15 Бк/кг до

Radionuclide content in soil, vegetation and agricultural products

Content of radionuclides in soil and vegetation samples in the PUNPP SZ is shown in Tables 5–8.

The soil content of ⁹⁰Sr was uniform in the SZ radii at all distances from the NPP and range from 1.03 Bq/kg to 0.244 Bq/kg, which confirms the very low level of ⁹⁰Sr environmental emission from the NPP. Content of ¹³⁷Cs at the all observation radii ranged from 19.15 Bq/kg to

Таблиця 5

Вміст радіонукліду ⁹⁰Sr у ґрунті ЗС за радіусами спостереження в динаміці (Бк/кг)

Table 5

Soil content of ⁹⁰Sr in the ZS by observation radii at a runtime (Bq/kg)

| Радіус спостереження Observation radius | Рік / Year | | | | | | |
|---|------------|------|------|------|------|------|------|
| | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 |
| 0-й (територія АЕС) / «Zero» (NPP territory) | 0,45 | 0,54 | – | 0,78 | 0,52 | 0,44 | 0,24 |
| 1-й (0–3 км) / 1 st (0–3 km) | 0,45 | 0,68 | 0,55 | 0,75 | 0,42 | 0,55 | 0,55 |
| 2-й (3–8 км) / 2 nd (3–8 km) | 0,60 | 0,49 | 0,42 | 0,90 | 0,65 | 0,44 | 0,67 |
| 3-й (8–16 км) / 3 rd (8–16 km) | 0,66 | 0,52 | 0,46 | 0,66 | 0,25 | 0,65 | 0,36 |
| 4-й (16–24 км) / 4 th (16–24 km) | 1,03 | 0,44 | 0,76 | 0,82 | 0,38 | 0,55 | 0,59 |
| с. Рябоконево (33,5 км) / Riabokoneve village (33.5 km) | 0,83 | 0,49 | 0,63 | 0,71 | 0,15 | 0,67 | 0,46 |

Таблиця 6

Вміст радіонукліду ¹³⁷Cs у ґрунті ЗС за радіусами спостереження в динаміці (Бк/кг)

Table 6

Soil content of ¹³⁷Cs in the ZS by observation radii at a runtime (Bq/kg)

| Радіус спостереження Observation radius | Рік / Year | | | | | | |
|---|------------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 |
| 0-й (територія АЕС) / «Zero» (NPP territory) | 3,65 | 8,68 | 12,37 | 5,38 | 4,65 | 8,81 | 2,85 |
| 1-й (0–3 км) / 1 st (0–3 km) | 9,88 | 7,23 | 18,72 | 9,62 | 8,45 | 6,04 | 4,02 |
| 2-й (3–8 км) / 2 nd (3–8 km) | 6,64 | 5,94 | 12,84 | 12,19 | 11,54 | 7,32 | 7,86 |
| 3-й (8–16 км) / 3 rd (8–16 km) | 8,64 | 9,53 | 12,80 | 9,49 | 11,34 | 7,34 | 8,14 |
| 4-й (16–24 км) / 4 th (16–24 km) | 9,33 | 10,05 | 11,47 | 9,83 | 14,54 | 7,76 | 8,33 |
| с. Рябоконеве (33,5 км) / Riabokoneve village (33.5 km) | 15,53 | 8,40 | 10,91 | 20,46 | 19,15 | 6,11 | 7,47 |

Таблиця 7

Вміст радіонукліду ⁹⁰Sr у рослинності за радіусами спостереження в динаміці (Бк/кг)

Table 7

Content of ⁹⁰Sr in vegetation by observation radii at a runtime (Bq/kg)

| Радіус спостереження Observation radius | Рік / Year | | | | | | |
|---|------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 |
| 0-й (територія АЕС) / «Zero» (NPP territory) | 0.35 | 0.35 | 0.174 | 0.248 | 0.201 | 0.112 | 0.165 |
| 1-й (0–3 км) / 1 st (0–3 km) | 0.41 | 0.36 | 0.157 | 0.264 | 0.215 | 0.109 | 0.382 |
| 2-й (3–8 км) / 2 nd (3–8 km) | 0.37 | 0.34 | 0.186 | 0.255 | 0.171 | 0.105 | 0.115 |
| 3-й (8–16 км) / 3 rd (8–16 km) | 0.41 | 0.40 | 0.201 | 0.211 | 0.212 | 0.114 | 0.175 |
| 4-й (16–24 км) / 4 th (16–24 km) | 0.33 | 0.32 | 0.213 | 0.231 | 0.207 | 0.223 | 0.190 |
| с. Рябоконеве (33,5 км) / Riabokoneve village (33.5 km) | 0.26 | 0.30 | 0.210 | 0.232 | 0.261 | 0.243 | 0.106 |

Таблиця 8

Вміст радіонукліду ¹³⁷Cs у рослинності за радіусами спостереження в динаміці (Бк/кг)

Table 8

Content of ¹³⁷Cs in vegetation by observation radii at a runtime (Bq/kg)

| Радіус спостереження Observation radius | Рік / Year | | | | | | |
|---|------------|------|------|------|------|------|------|
| | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 |
| 0-й (територія АЕС) / «Zero» (NPP territory) | 0.44 | 0.26 | 0.26 | 0.27 | 0.36 | 0.25 | 0.28 |
| 1-й (0–3 км) / 1 st (0–3 km) | 0.41 | 0.26 | 0.27 | 0.28 | 0.31 | 0.31 | 0.27 |
| 2-й (3–8 км) / 2 nd (3–8 km) | 0.45 | 0.21 | 0.25 | 0.27 | 0.31 | 0.26 | 0.24 |
| 3-й (8–16 км) / 3 rd (8–16 km) | 0.44 | 0.25 | 0.24 | 0.29 | 0.32 | 0.25 | 0.24 |
| 4-й (16–24 км) / 4 th (16–24 km) | 0.39 | 0.24 | 0.21 | 0.28 | 0.38 | 0.29 | 0.24 |
| с. Рябоконеве (33,5 км) / Riabokoneve village (33.5 km) | 0.53 | 0.27 | 0.26 | 0.37 | 0.32 | 0.26 | 0.29 |

2,85 Бк /кг. Вміст радіонукліду ⁹⁰Sr у рослинності за радіусами спостереження в динаміці складає від 0,10 до 0,41 Бк /кг, а вміст ¹³⁷Cs від 0,21 Бк /кг до 0,53 Бк /кг. Приведені дані свідчать, що значущого внеску, пов'язаного з експлуатацією об'єктів ПАЕС, у радіоактивне забруднення ґрунту та рослинності не спостерігається.

Результати дослідження вмісту ¹³⁷Cs у пробах молока, зернових культур і овочів, відібраних на фермах і в населених пунктах, розташованих у ЗС ПАЕС представлені в таблиці 9.

Вміст ¹³⁷Cs в злаках у населених пунктах складав від 0,076 Бк/кг до 0,185 Бк/кг, вміст ¹³⁷Cs у молоці –

2.85 Bq/kg. Content of ⁹⁰Sr in vegetation according to the radii of observation at a runtime was from 0.103 Bq/kg to 0.410 Bq/kg, and content of ¹³⁷Cs varied at that from 0.210 Bq/kg to 0.530 Bq/kg. The given data show that there was no significant contribution to radioactive contamination of soil and vegetation due to the operation of PUNPP facilities.

Study results on the ¹³⁷Cs content in the specimens of milk, grain crops and vegetables, sampled on farms and in settlements located in the PUNPP SZ are presented in Table 9.

Content of ¹³⁷Cs in cereals sampled in the settlements was from 0.076 Bq/kg to 0.185 Bq/kg, content

Таблиця 9

Вміст радіонукліда ¹³⁷Cs у харчових продуктах населених пунктів ЗС ПАЕС в динаміці (Бк/кг) *

Table 9

Content of ¹³⁷Cs in food products at the PUNPP SZ settlements at a runtime (Bq/kg) *

| Точка спостереження Control points | Харчовий продукт Food products | Рік / Year | | | | | |
|---|-----------------------------------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 |
| с. Констянтинівка (6 км) Kostyantynivka village (6 km distance) | зернові / grain crops | 0,085 | 0,158 | 0,131 | 0,116 | 0,077 | 0,095 |
| | молоко / milk | 0,078 | 0,088 | 0,081 | 0,079 | 0,079 | 0,082 |
| | картопля / potato | 0,113 | 0,185 | 0,187 | 0,136 | 0,083 | 0,127 |
| | цибуля / onion | 0,125 | 0,181 | 0,124 | 0,109 | 0,070 | 0,104 |
| с. Бузьке (7,5 км) Buzke village (7.5 km distance) | зернові / grain crops | 0,123 | 0,078 | 0,121 | 0,111 | 0,079 | 0,139 |
| | молоко / milk | 0,093 | 0,085 | 0,085 | 0,078 | 0,077 | 0,077 |
| | картопля / potato | 0,191 | 0,185 | 0,122 | 0,159 | 0,085 | 0,096 |
| | цибуля / onion | 0,168 | 0,192 | 0,135 | 0,114 | 0,074 | 0,098 |
| смт. Арбузинка (А) (11 км) Arbuzynka village (A) (11 km distance) | зернові / grain crops | 0,089 | 0,185 | 0,145 | 0,119 | 0,076 | 0,089 |
| | молоко / milk | 0,096 | 0,097 | 0,085 | 0,073 | 0,082 | 0,076 |
| | картопля / potato | 0,076 | 0,221 | 0,112 | 0,107 | 0,083 | 0,11 |
| | цибуля / onion | 0,102 | 0,223 | 0,107 | 0,129 | 0,073 | 0,103 |
| с. Рябоконево (контрольний пост 33,5 км) Riabokoneve village (control station, 33.5 km distance) | зернові / grain crops | 0,116 | 0,185 | 0,126 | 0,128 | 0,086 | 0,103 |
| | молоко / milk | 0,081 | 0,075 | 0,072 | 0,071 | 0,078 | 0,07 |
| | картопля / potato | 0,183 | 0,211 | 0,163 | 0,152 | 0,078 | 0,093 |
| | цибуля / onion | 0,086 | 0,221 | 0,108 | 0,091 | 0,073 | 0,074 |

Примітка. * – значення наведені в 0,5 мінімально детектованої активності спектрометра при вимірюванні конкретної проби.
Note. * – values of the 0.5 MDA by spectrometer in the specific sample.

0,070–0,970 Бк/кг, вміст ¹³⁷Cs у картоплі та цибулі від 0,076 Бк/кг до 0,222 Бк/кг. Отримані дані свідчать, що рівні вмісту радіонуклідів ¹³⁷Cs у продуктах харчування були значуще нижчі допустимих рівнів ДР-2006. Вміст ¹³⁷Cs не перевищував 1,0 % від сумарної активності.

ОБГОВОРЕННЯ

За даними аналізу показників радіаційного моніторингу радіаційний вплив на довкілля, пов’язаний з викидами та скидами радіоактивних речовин, утворених у виробничому циклі ПАЕС, в умовах повсякдення, незначний. Порівняльний аналіз аналогічних даних діяльності Рівненської АЕС [14], що належить до радіоактивно забруднених територій, підтверджує, що середня концентрація радіонуклідів в атмосферному повітрі населених пунктів ЗС ПАЕС та ЗС РАЕС на декілька порядків величин менша, ніж встановлена нормативними документами.

Разом з цим, на РАЕС викиди дещо вищі: ІРГ, ДЖН в атмосферному повітрі складають менше 0,2 % ліміту викиду, викиди ¹³¹I – соту відсотка [14]. Індокси ліміту газо-аерозольних викидів нуклідів енергоблоків РАЕС складають залежно від нукліду: від сотої відсотка для ³H до 7,97 E-06 для ⁵¹Cr.

Скиди РАЕС до річки Стир, за показниками радіонуклідів, які контролюються, не вносять

in milk was 0.070–0.970 Bq/kg, and content in potatoes and onions was from 0.076 Bq/kg to 0.222 Bq/kg. Obtained data indicate that the levels of ¹³⁷Cs in food products are significantly lower than the permissible values of DR-2006. The ¹³⁷Cs content is not exceeding at that the 1.0 % of total activity.

DISCUSSION

According to the analysis of radiation monitoring parameters, the environmental radiation impact due to emissions and discharges of radioactive substances formed in the PUNPP production cycle in everyday conditions is insignificant. Comparative analysis with similar data on the operation of Rivnenska NPP (RNPP) situated on the radiologically contaminated territory confirms that average radionuclide concentration in atmospheric air of the SZ settlements of the PUNPP and RNPP was several orders of magnitude lower vs. one established by the regulatory documents.

At the same time, emissions at the RAPP are somewhat higher, just the IRG and LLN in atmospheric air make up less than 0.2 % of the emission limit, emissions of ¹³¹I – a hundredth of a percent [14]. Indexes of the limits of gas-aerosol emissions from the RNPP power units vary depending on the nuclide i.e. from one hundredth of a percent for ³H to 7.97 E-06 for ⁵¹Cr.

The RNPP discharges to the Styr River, according to the parameters of radionuclides under monitoring,

суттєвих змін в якість поверхневих вод, як і скиди ПАЕС до р. Південний Буг. Максимальні концентрації ^{137}Cs і ^{60}Co складають близько тисячних відсотка, а ^{131}I – сотих відсотка від допустимого значення НРБУ.

В ЗС РАЕС спостерігається нерівномірне забруднення поверхневого шару ґрунту ^{137}Cs «чорнобильського» походження. Питома активність ^{137}Cs у сільськогосподарській продукції в ЗС РАЕС не перевищувала допустимі рівні вмісту в продуктах харчування (зерно, картопля, молоко), але показники були значно вищі порівняно з ЗС ПАЕС.

Аналіз отриманих нами даних вмісту радіонуклідів в приземній складовій атмосфері та водоймах (р. Південний Буг, Олександрівське водосховище) свідчить про тенденцію до їх зниження порівняно з даними Григор'євої Л. І., Коваленко Г. Д., Сагеди С. О., що може бути обумовлено впровадженням Комплексної (зведеної) програми підвищення безпеки АЕС України [7, 5, 15].

За результатами багаторічних досліджень було визначено ефективну дозу зовнішнього та внутрішнього опромінення людини внаслідок надходження радіонуклідів у довкілля з газо-аерозольними викидами й рідкими скидами Южно-Української і Рівненської АЕС [16, 17]. В умовах нормальної експлуатації АЕС провідне значення у формуванні дози внутрішнього опромінення людини належить пероральному шляху надходження з продуктами харчування і питної води, що пов'язано з використанням води поверхневих водойм для зрошення.

ВИСНОВКИ

Радіаційний вплив на довкілля, пов'язаний з викидами та скидами радіоактивних речовин, утворених у виробничому циклі ПАЕС в умовах повсякдення, незначний. Середня концентрація радіонуклідів в атмосферному повітрі населених пунктів ЗС на декілька порядків величин менша, ніж встановлена нормативними документами щодо гранично допустимих концентрацій. Газо-аерозольні викиди ІРГ, ДЖН, ^{131}I в атмосферу не перевищували встановлених допустимих рівнів і склали соту відсотка до ліміту викиду ІРГ, ДЖН і тисячну відсотка для ^{131}I . Сумарні фактичні викиди ^{137}Cs та ^{90}Sr енергоблоками ПАЕС в атмосферу в 2015–2021 рр. не перевищували встановлених допустимих рівнів.

Максимальні середні значення концентрації в атмосферному повітрі ЗС ^{137}Cs за період 2015–

do not significantly change the quality of surface water, as well as the PUNPP discharges to the Pivdennyi Bug River. The maximum concentrations of ^{137}Cs and ^{60}Co were about thousandths of a percent, and of ^{131}I – hundredths of a percent of the permissible value by the NRBU.

Uneven contamination of the soil surface layer with ^{137}Cs of the «Chornobyl» origin was observed in the RNPP site. Specific activity of ^{137}Cs in agricultural products in the RNPP SZ did not exceed the permissible levels of content in food products (grain, potatoes, and milk), but values were significantly higher compared to the PUNPP SZ.

Analysis of data obtained by us on the content of radionuclides in atmospheric surface component and water bodies (the Pivdennyi Bug River, Oleksandrivske Reservoir) indicates a trend to their decrease compared to the data by L. I. Grigorieva, G. D. Kovalenko, and S. O. Sageda, which may be due to implementation of the Comprehensive (consolidated) program for improving the safety of NPPs in Ukraine [7, 5, 15].

The effective dose of human external and internal exposure due to the environmental release of radionuclides with gas-aerosol emissions and liquid discharges of the Pivdenoukrainska and Rivnenska NPPs was determined according to the results of multi-years research [16, 17]. Under the normal operation of nuclear power plants the oral route of radionuclide incorporation with food and drinking water which is associated with the use of water from surface reservoirs for irrigation is the key contributor in the formation of internal exposure dose.

CONCLUSIONS

The environmental radiation impact associated with emissions and discharges of radioactive substances formed in the PUNPP production cycle in everyday conditions is insignificant. The average concentration of radionuclides in atmospheric air of the SZ settlements was several orders of magnitude lower than that set by the regulatory documents on maximum permissible concentrations. Gas-aerosol atmospheric emissions of IRG, LLN, and ^{131}I did not exceed the established permissible levels and were a hundredth of a percent of the emission limit for IRG and LLN, and a thousandth of a percent for ^{131}I . The total actual atmospheric emissions of ^{137}Cs and ^{90}Sr by the PUNPP power units in 2015–2021 did not exceed the established permissible levels.

Maximum average values of ^{137}Cs concentration in atmospheric air of SZ for the period of 2015–2021

2021 рр. склали від 2,858 мкБк/м³ (проммай-данчик ПАЕС) до 1,986 мкБк/м³ (с. Рябоконе-во), а максимальні середні значення концент-рації в повітрі ⁹⁰Sr склали від 1,310 мкБк/м³ до 0,566 мкБк/м³ відповідно, що не перевищує до-пустимі величини згідно з НРБУ-97.

Концентрації радіонуклідів ⁹⁰Sr і ¹³⁷Cs у водних об'єктах, зокрема, у ставку-охолоджувачу, р. Пів-денний Буг у точках контролю (с. Олексіївка і с. Бузьке) за досліджуваний період не перевищува-ли нормативних величин згідно з НРБУ-97.

Вміст ⁹⁰Sr і ¹³⁷Cs, рівномірний у всіх радіусах спостереження ЗС по віддаленості від ПАЕС, підтверджує дуже низький рівень викиду ⁹⁰Sr і ¹³⁷Cs у навколишнє середовище ПАЕС. Вміст ¹³⁷Cs у пробах молока, зернових культурах і овочах, відібраних на фермах і в населених пунктах, роз-ташованих у ЗС ПАЕС, значуще нижчий допус-тимих рівнів і не перевищує 1,0 % від сумарної активності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Завдяки спільним проектам з Westinghouse Україна стане одним зі світових лідерів ядерної енергетики. Енергоатом. Новини. 04.06.2022 р. URL: <https://www.energoatom.com.ua/news-archive-04-06-2.html>
2. Богданьок О. «Енергоатом» та Westinghouse оголосили про розширення співробітництва. Суспільне. Новини. 3 червня 2022, 13:30. URL: <https://suspilne.media/246322-energoatom-ta-westinghouse-ogolosili-pro-rozsirennia-spivrobitnictva/>
3. Євстігнєєва О. Завдання для України – стати лідером зеленої енергетики в ЄС. Економічна правда. 10 січня 2023. URL: <https://www.epravda.com.ua/columns/2023/01/10/695821/>
4. Чунарьов О. В. Оцінка господарської діяльності та якості поверхневих вод в басейні Південного Бугу: автореф. дис. ... канд. геогр. наук: спеціальність 11.00.07 «Гідрологія суші, водні ре-сурси, гідрохімія». Київ, 2008. 13 с.
5. Коваленко Г. Д., Сегеда С. О. Екологічний стан водних об'єктів Відокремленого підрозділу «Южно-Українська АЕС» та особливості мікрокліматичних умов прилеглих територій. *Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист*. 2012. Вип. 4. С. 68-75.
6. Томілін Ю. А., Григор'єва Л. І. Радіонукліди у водних екосисте-мах південного регіону України: міграція, розподіл, накопичен-ня, дозове навантаження на людину і контрзаходи. Миколаїв: Вид. центр МДГУ ім. Петра Могили, 2008. 270 с.
7. Григор'єва Л. І., Томілін Ю. А., Григор'єв К. В. Радіоекологічний ризик винесення радіонуклідів у довкілля з викидами та скида-ми АЕС. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2012. Вип. 1 (53). С. 30-36.
8. Ризик розвитку судинної патології сітківки у опромінених у різному віці осіб внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС / П. А. Федірکو,

ranged from 2.858 μBq/m³ (PUNPP industrial site) to 1.986 μBq/m³ (Riabokoneve village), and maxi-mum average values of the air ⁹⁰Sr concentration ranged from 1.310 μBq/m³ to 0.566 μBq/m³ respec-tively not exceeding the permissible values according to NRBU-97.

Concentrations of ⁹⁰Sr and ¹³⁷Cs radionuclides in water bodies, in particular in the cooling pond, Pivdennyi Bug River, and at the control points (Oleksiivka and Buzke villages) during the studied period did not exceed the normative values according to NRBU-97.

The content of ⁹⁰Sr and ¹³⁷Cs was uniform in all observation radii of the SZ by distance from the NPP, confirming the very low level of ⁹⁰Sr and ¹³⁷Cs environ-mental emission from the PUNPP. Content of ¹³⁷Cs in the samples of milk, grain crops and vegetables, taken at farms and in settlements located within the PUNPP SZ, was significantly lower than permissible levels and did not exceed 1.0 % of the total activity.

REFERENCES

1. [Thanks to joint projects with Westinghouse, Ukraine will become one of the world leaders in nuclear energy]. Energoatom. News. 04.06.2022. Ukrainian. Available from: <https://www.energoatom.com.ua/news-archive-04-06-2.html>.
2. Bohdanyok O. [«Energoatom» and Westinghouse announced the expansion of cooperation]. Suspilne. News. June 3, 2022, 13:30. Ukrainian. Available from: <https://suspilne.media/246322-energoatom-ta-westinghouse-ogolosili-pro-rozsirennia-spivrobitnictva/>
3. Yevstignyeva O. [The task for Ukraine is to become a leader in green power industry in the EU]. Economichna Pravda. January 10, 2023. Ukrainian. Available from: <https://www.epravda.com.ua/columns/2023/01/10/695821/>
4. Chunariv O. V. [Assessment of economic activity and surface water quality in the Pivdennyi Bug basin] [theses for dissertation]. Kyiv; 2008. 13 p. Ukrainian.
5. Kovalenko GD, Segeda SO. [Ecological condition of water bodies of the separated subdivision «Yuzhno-Ukrainska NPP» and features of microclimatic conditions of adjacent territories]. *Technological and environmental safety and civil protection*. 2014;(4):68-75. Ukrainian.
6. Tomilin YuA, Grygoryeva LI. [Radionuclides in water ecosystems of the southern region of Ukraine: migration, distribution, accumulation, dose load on humans and countermeasures]. Mykolayiv, Publ. Center of the Petro Mohyla Memorial BSN University; 2008. 270 p. Ukrainian.
7. Grygoryeva LI, Tomilin YuA, Grygoryev KV. [Radioecological risk of release of radionuclides into the environment with emissions and discharges from nuclear power plants]. *Nuclear and Radiation Safety*. 2012;1(53):30-36. Ukrainian.
8. Fedirko PA, Babenko TF, Dorichevska RYu, Garkava NA. Retinal vas-cular pathology risk development in the irradiated at different ages

- Т. Ф. Бабенко, Р. Ю. Дорічевська, Н. А. Гарькава. *Проблеми радіаційної медицини та радіобіології*. 2015. Вип. 20. С. 467-473.
9. Проблеми медичної експертизи захворювань, що призвели до втрати працездатності та смерті внаслідок впливу іонізуючого опромінення в умовах чорнобильської катастрофи у віддаленому післяаварійному періоді / В. О. Сушко, О. О. Колосинська, О. М. Татаренко та ін. *Проблеми радіаційної медицини та радіобіології*. 2018. Вип. 23. С. 471-480.
 10. Захворюваність на злоякісні новоутворення мешканців малих забруднених радіонуклідами територіальних одиниць чорнобильського регіону у віддаленому післяаварійному періоді / А. Є. Присяжнюк, М. М. Фузик, Н. А. Гудзенко та ін. *Проблеми радіаційної медицини та радіобіології*. 2020. Вип. 25. С. 265-284.
 11. Міністерство охорони здоров'я України. Про введення в дію Державних гігієнічних нормативів «Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97)»: Постанова N 62 від 01.12.97. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0062282-97#Text> (дата звернення: 2.05.2023)
 12. Про затвердження Державних гігієнічних нормативів «Допустимі рівні вмісту радіонуклідів ¹³⁷Cs та ⁹⁰Sr у продуктах харчування та питній воді» (ДР-2006) URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0845-06#Text> (дата звернення: 2.05.2023)
 13. Про затвердження Державних санітарних норм та правил «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» ДСанПін 2.2.4-171-10 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0304-22#n4> (дата звернення: 2.05.2023)
 14. Вплив діяльності Рівненської АЕС на природне та соціальне середовище зони спостереження / В. А. Прилипко, М. М. Морозова, І. В. Бондаренко та ін. *Проблеми радіаційної медицини та радіобіології*. 2019. Вип. 24. С. 131-149.
 15. Комплексна (зведена) програма підвищення безпеки енергоблоків АЕС України: техніко-економічне обґрунтування 26.12.2011 / Донецький науковий центр за завданням ДП «Укрдержбудекспертиза» від 26.12.11 Р. № 5206; директор О. Ф. Коновалов; керівн. В. П. Кириченко. Донецьк, 2011. С. 27-38.
 16. Григорьева Л. И. Радиационная нагрузка на человека в районе АЭС. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2010. Вип. 1 (45). С. 19-24.
 17. Бончук Ю. В., Ратиа Г. Г., Кашпаров А. В. Выбросы при нормальной эксплуатации АЭС и облучение населения. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2009. Вип. 1. С. 12-17.
- as a result of Chernobyl NPP accident. *Probl Rad Med Radiobiol*. 2015;20:467-473.
9. Sushko VO, Kolosynska OO, Tatarenko OM, Nezgovorova GA, Brestjana ZhM, Ustinov SI, et al. Problems of medical expertise for diseases that bring to disability and death as a result of radiation exposure influence in conditions of the Chernobyl catastrophe in remote postaccidental period. *Probl Rad Med Radiobiol*. 2018;23:471-480.
 10. Prysyzhnyuk AYe, Fuzik MM, Gudzenko NA, Bazyka DA, Fedorenko ZP, Ryzhov AYU, et al. Incidence of malignant neoplasms among residents of small radionuclide-contaminated Chernobyl districts in a post-accident period. *Probl Rad Med Radiobiol*. 2020;25:265-284.
 11. Ministry of Health of Ukraine. [About the introduction into force of the State hygienic standards «Standards of radiation safety of Ukraine (NRBU-97)»]: Resolution № 62 from December 01, 1997. Ukrainian. Available from: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0062282-97#Text> [cited 2.05.2023].
 12. [On the approval of the State hygienic regulations «Permissible levels of radionuclides ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr in food and drinking water» (DR-2006)]. Ukrainian. Available from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0845-06#Text> (cited 2.05.2023).
 13. [On the approval of the State sanitary norms and rules «Hygienic requirements for drinking water intended for human consumption». DSanPin 2.2.4-171-10]. Ukrainian. Available from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0304-22#n4> (cited 2.05.2023).
 14. Prylypko VA, Morozova MM, Bondarenko IV, Petrychenko OO, Romanenko OM, Tuz KK, et al. Impact of the Rivne NPP activity on natural and social environment of the control area. *Probl Rad Med Radiobiol*. 2019;24:131-149.
 15. Konovalov OF, Kyrychenko VP. [Comprehensive (consolidated) program to improve the safety of power units of NPPs of Ukraine: technical and economic justification. 26.12.2011 #5206]. Donetsk: Donetsk Research Center by the task of SE «UkrDerzhBudExpertiza»; 2011. p. 27-38. Ukrainian.
 16. Grygoryeva LI. [Radiation burden on human in NPP area]. *Nuclear and Radiation Safety*. 2010;1(45):19-24. Ukrainian.
 17. Bonchuk Yu. V., Ratia G. G., Kashparov A. V. [Emissions during normal operation of nuclear power plants and public exposure]. *Nuclear and Radiation Safety*. 2009;12(1):12-17. Russian.

ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРІВ

Прилипко Валентина Антонівна – доктор медичних наук, професор, завідувач лабораторії медико-соціальних досліджень, Інститут радіаційної гігієни та епідеміології ННЦРМ, м. Київ, Україна, ORCID ID: 0000-0002-7903-3686

Морозова Марина Миколаївна – науковий співробітник лабораторії медико-соціальних досліджень, Інститут радіаційної гігієни та епідеміології ННЦРМ, м. Київ, Україна, ORCID ID: 0000-0003-3805-6766

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Valentyna A. Prylypko – Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Laboratory for Medical and Social Research, Institute of Radiation Hygiene and Epidemiology of the NRCRM, Kyiv, Ukraine, ORCID ID: 0000-0002-7903-3686

Maryna M. Morozova – Research Fellow, Laboratory of Medical and Social Research, Institute of Radiation Hygiene and Epidemiology of the NRCRM, Kyiv, Ukraine, ORCID ID: 0000-0003-3805-6766

Озерова Юлія Юріївна – науковий співробітник лабораторії медико-соціальних досліджень, Інститут радіаційної гігієни та епідеміології ННЦРМ, м. Київ, Україна, ORCID ID: 0000-0002-5591-1560

Гришан Андрій Васильович – начальник цеху радіаційної безпеки ВП «Південноукраїнська АЕС» ДП «Енергоатом», м. Южноукраїнськ, Україна

Пелюх Олександр Олександрович – начальник управління інформації і громадських зв'язків ВП «Південноукраїнська АЕС» ДП «Енергоатом», м. Южноукраїнськ, Україна

Yulia Y. Ozerova – Research Fellow of the Laboratory for Medical and Social Research, Institute of Radiation Hygiene and Epidemiology of the NRCRM, Kyiv, Ukraine, ORCID ID: 0000-0002-5591-1560

Andriy V. Gryshan – Head Radiation Safety Department, SE «Pivdennoukrainska NPP» DE «NAEK «Energoatom», Yuzhnoukrainsk, Ukraine

Oleksandr O. Pelyukh – Head of the Information and Public Relations Department of the SE «Pivdennoukrainska NPP» DE «NAEK «Energoatom», Yuzhnoukrainsk, Ukraine

Стаття надійшла до редакції 15.06.2023

Received: 15.06.2023