

ENVIRONMENT PROTECTION

UDC 504.054:519.876.5(045)

Yuri Kutlakhmedov¹
Andrian Iavniuk²RADIONUCLIDES BEHAVIOUR MODELLING OF ¹³⁷CS AND ⁹⁰SR
IN GLYBOKE AND DALEKE LAKES OF CHERNOBYL EXCLUSION ZONE¹Institute of Cell Biology and Genetic Engineering, National Academy of Sciences of Ukraine
Academic Zabolotnyi street 148, 03680, Kyiv, Ukraine²National Aviation University
Kosmonavta Komarova avenue 1, 03680, Kyiv, Ukraine
E-mails: ¹ecoetic@yandex.ru; ²a_yavnyuk@ukr.net

Abstract. Results of ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr radionuclides behaviour modelling, which are the most spread radioisotopes in water bodies of Chernobyl Exclusion Zone are represented. Dynamics of radionuclides activity is modelled in water body components as the percentage of their total stock. Quantitative transfer of the radionuclides between water body components in the Chernobyl Exclusion Zone is determined and predicted.

Keywords: activity, box model, radionuclide contamination, radionuclides behaviour.

1. Introduction

Radionuclide contamination of the environment in general and fresh water in particular, caused by operation of nuclear fuel cycle enterprises and accidents at these is the extremely actual problem nowadays.

Water bodies within the Chernobyl Exclusion Zone constitute a unique radioecological test ground allowing us with a high degree of reliability to appraise quantitative parameters of radionuclide content in biohydrocenoses (Gudkov 2006).

Modelling migration processes, distribution and accumulation of technogenic radionuclides in components of the water ecosystems shall assist in resolving a number of problems related to the prospects of economic usage of water resources within radionuclide-contaminated territories and shall facilitate elaboration of the countermeasures minimising the impact of ionizing radiation upon functionality of biosystems.

2. Analysis of the Latest Researches and Publications

When process of radionuclide transfer into bottom sediments, which are the main depot of radionuclides accumulation in water bodies is studied, two principal mechanisms are distinguished: biogenic and chemogenic (Fesenko et al. 2004). Biogenic migration means absorption of radionuclides by hydrobionts conducive to transfer of the radionuclides into the bottom sediments as a result of their physiological processes. Chemogenic

migration is divided into three directions: first direction means sorption of radionuclides in suspensions of organic origin followed by sedimentation onto the water body bottom where the radionuclides shall be sorbed directly by the bottom sediments. Second direction means simultaneous precipitation with crystalizing calcium carbonate (the most frequent phenomenon with ⁹⁰Sr). The third direction means sorption capture of radionuclides with coagulating gels of iron, manganese or aluminium hydroxides (Fesenko et al. 2004).

Change in the specific activity of the radionuclides in water in the event of its one-time ingress into a water body may be described with the following equation (Fesenko et al. 2004):

$$\frac{\partial C_1(t)}{\partial t} = \frac{D}{L} \frac{\partial C_2(z,t)}{\partial z} - \frac{V_0 K_p C_1(t)}{L} - \lambda C_1(t), \quad (1)$$

$$z = -V_0 t, t > 0,$$

where C_1 – specific activity of the radionuclides in water, Bq cm⁻³;

$C_2(z,t)$ – their specific activity in the bottom sediments at depth z and time t ;

D – efficient diffusion coefficient of radionuclides in the bottom sediments, cm² year⁻¹;

L – average depth of the water body, dm;

V_0 – increment rate of the bottom sediment layer (as a result of detrital matter formation), cm year⁻¹;

K_p stands for the coefficient characterising distribution of radionuclides between the solid and liquid phases in a water body;

λ – radioactive decay constant, year⁻¹.

Box models are often used to describe the transfer (transition) and migration of radionuclides in any ecosystem. The entire transfer chain of radionuclides in such models is divided into "boxes". Interaction between boxes in mathematical models is determined by coefficients describing the transfer speed (Kutlakhmedov et al. 2003).

The box model method adequately describes the transfer of radionuclides in hillside ecosystems exemplified with a system including eight boxes: "Forest", "Outskirts", "Meadow", "Terrace", "Flood Plain", "Water", "Biota", "Bottom Sediments". Impact of the contamination upon the people is considered in the form of a separate ninth box, where collective dose for human population is accumulated (Petrusenko 2008).

To model the transfer of radionuclides in typical ecosystems of villages in Ukraine, the box model method is applicable as well. Such method allows us to appraise adequately and prognosticate certain radioecological processes between basic links of the trophic chain "soil – hay – cows – milk – forest products – people" in such systems (Beliaiev 1991; Gudkov 2006; Matvieieva et al. 2006).

3. Aim of Research

The aim of research is to create box models of ^{137}Cs and ^{90}Sr radionuclides behaviour in closed water bodies, to predict radioisotopes transfer and distribution in components of fresh-water ecosystems.

4. Materials and Methods

The box models for migration processes of radionuclides were constructed for Glyboke and Daleke Lakes, which are the most radionuclide-contaminated water bodies within the Chernobyl Exclusion Zone. Behaviour of ^{137}Cs and ^{90}Sr was analysed, since they are the main dose-forming isotopes in contaminated water bodies and in their biotic components. The constructed models (Fig. 1) included such boxes as "Land Runoff", "Water", "Biota (common reed)", "Bottom sediments".

In the course of modelling, the decay factor of radionuclides was taken into account. Initial data (see Table) for solution of the systems of differential equations (1) were taken from a collective monography (Kuzmenko et al. 2010). Systems of differential equations describing the transfer of radionuclides between biotic and abiotic components in Glyboke and Daleke Lakes were solved by virtue of Maple VI software:

$$\begin{cases} \frac{dC_0}{dt} = -a_{01}C_0 - \lambda C_0, \\ \frac{dC_1}{dt} = a_{01}C_0 - a_{12}C_1 + a_{21}C_2 + a_{31}C_3 - a_{13}C_1 - \lambda C_1, \\ \frac{dC_2}{dt} = a_{12}C_1 - a_{21}C_2 - a_{23}C_2 + a_{32}C_3 - \lambda C_2, \\ \frac{dC_3}{dt} = a_{13}C_1 - a_{31}C_3 + a_{23}C_2 - a_{32}C_3 - \lambda C_3, \end{cases}$$

where a_{01} , a_{12} , a_{21} , a_{23} , a_{32} , a_{13} , a_{31} – rates of radionuclides transfer between boxes;

C_0 – C_3 – activity of radionuclides as % of their total stock in the ecosystem.

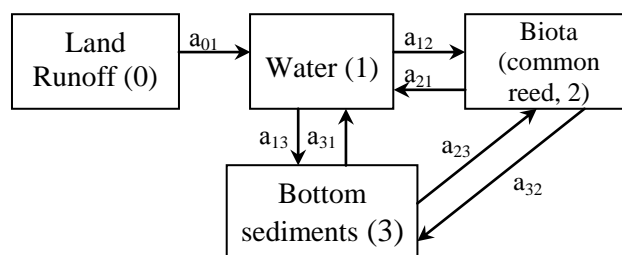


Fig. 1. Schematic diagram of the box model for transfer of ^{137}Cs and ^{90}Sr radionuclides in water bodies of the Chernobyl Exclusion Zone

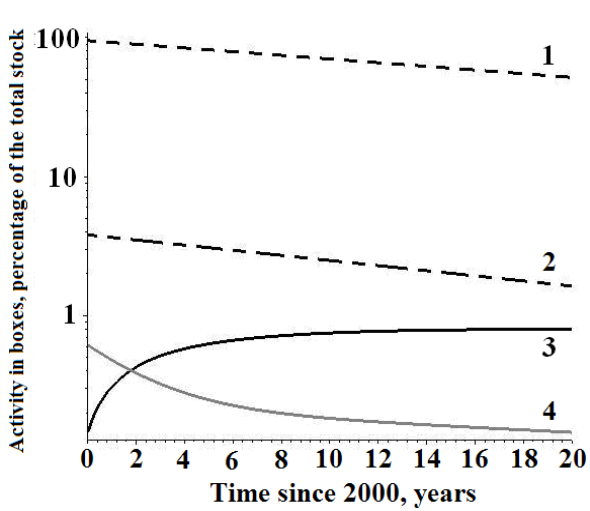
Results of the research with the model are shown on Fig. 2. It was found that communities of common reed accumulated less than 1 % at most of ^{137}Cs and ^{90}Sr in Glyboke and Daleke Lakes during 20 years following the sampling time in 2000-2004 years. This, most likely, may be explained with that some equilibrium in distribution of radionuclides between components of Lake ecosystems has been established after the accident in 1986. Activity in other boxes (land runoff, water, bottom sediments) is reducing gradually. Reduction of radionuclides activity in water and bottom sediments can be related to the transfer of the radionuclides into other components such as suspensions, detrital products, as well as higher aquatic plants.

Thus, the higher aquatic plants, being an integral component of ecosystems in fresh water, influence on redistribution and migration processes of radionuclides in water bodies.

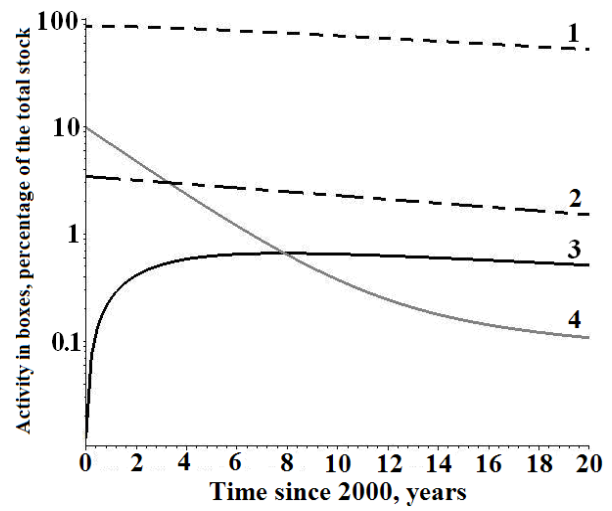
Although radionuclides content in common reed communities is slight as compared with the total stock, the transfer of radionuclides to biotic components shall be nevertheless taken into account for elaboration of a set of measures aimed at prevention and minimisation ionising radiation impact consequences on the biota in water ecosystems.

Content of the main dose-contributing radionuclides ^{137}Cs and ^{90}Sr in the components of Glyboke and Daleke Lakes, MBq

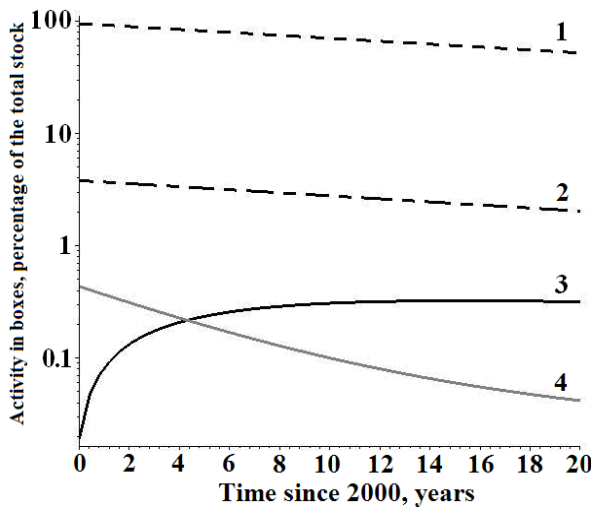
Component of ecosystem	Glyboke Lake		Daleke Lake	
	^{137}Cs	^{90}Sr	^{137}Cs	^{90}Sr
Bottom sediments	962000	444000	51800	37000
Water	6200	50900	236	1650
Seston	2471	800	73	58
Biota	4598	3035	155	96
Communities of higher water plants (common reed, sedge, reed mace, Sparganium)	1458.6	260.4	41.90	4.1



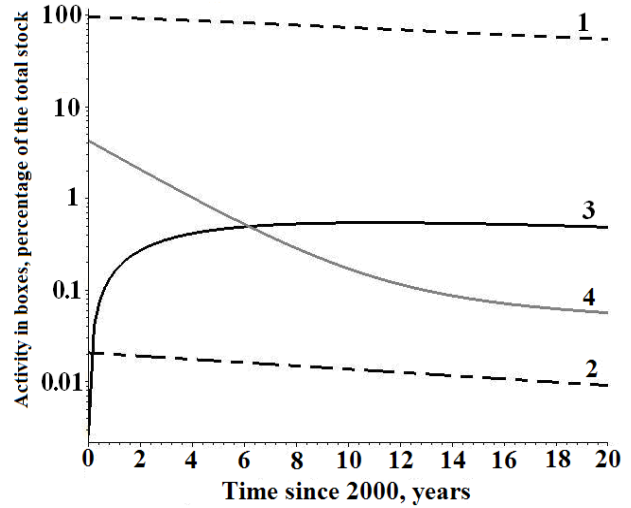
a



b



c



d

Fig. 2. Calculations of ^{137}Cs and ^{90}Sr activity change in boxes of Glyboke (*a, b*) and Daleke (*c, d*) Lakes:

- 1 – Bottom sediments;
- 2 – Land runoff;
- 3 – Biota (Common reed);
- 4 – Water

5. Conclusions

1. Box models of radionuclide-contaminated Glyboke and Daleke Lakes in the Chernobyl Exclusion Zone have been designed and analysed.

2. Slight increase of the radionuclides content (<1%) in "Biota (common reed)" box of Glyboke and Daleke Lakes in the Chernobyl Exclusion Zone has been obtained.

3. General reduction of ^{137}Cs and ^{90}Sr radionuclides content in abiotic components of the water bodies (in particular, in "Land Runoff", "Water" and "Bottom Sediments" boxes) as some percentage of their total stock in ecosystems has been prognosticated.

4. Research results may be used to calculate the radio-capacity of radionuclide-contaminated water bodies, to elaborate measures aimed at minimisation of adverse consequences of ionising radiation for the biota.

References

Beliaiev, S.T. 1991. *Radioactive emissions to the biosphere*. Moscow, Atomizdat. 237 p. (in Russian).

[Беляев С.Т. Радиоактивные выбросы в биосфере / С.Т. Беляев. – Москва: Атомиздат, 1991. – 237 с.]

Fesenko, S.V.; Skotinnikova, O.G.; Skriabin, A.M.; Safronova, N.G.; Gontarenko, I.A. 2004. *Modelling long-term migration of ^{137}Cs and ^{90}Sr in a standing fresh water body*. Radiation Biology. Radioecology. Vol. 44, N 4: 466–472 (in Russian).

[Фесенко С.В. Моделирование долгосрочной миграции ^{137}Cs и ^{90}Sr в непроточном пресноводном водоеме / С.В. Фесенко, О.Г. Скотинникова, А.М. Скрыбин, Н.Г. Сафронова, И.А. Гонтаренко // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2004. – Т. 44, № 4. – С. 466–472.]

Gudkov, D.I. 2006. *Radionuclides in components of water ecosystems within the Chernobyl Exclusion Zone: distribution, migration, radiation burden, biological effects*. Abstract of the doctoral thesis in Biological Science for specialty 03.00.01 "Radiobiology". Kyiv. 35 p. (in Ukrainian).

[Гудков Д.І. Радіонукліди в компонентах водних екосистем зони відчуження Чорнобильської АЕС: розподіл, міграція, дозові навантаження, біологічні ефекти: Автореферат

дис. на здобуття наукового ступеня доктора біологічних наук: спец. 03.00.01 – «Радіобіологія» / Д.І. Гудков. – Київ, 2006. – 35 с.]

Kutlakhmedov, Yu.O.; Korogodin, V.I.; Koltover, V.K. 2003. *Fundamentals of Radioecology*. Teaching aid. Under the editorship of V.P. Zotov. Kyiv, Vyshcha Shkola, 319 p. (in Ukrainian).

[Кутлахмедов Ю.О. Основы радиоэкологии: навчальний посібник / Ю.О. Кутлахмедов, В.І. Корогодін, В.К. Кольтовер; за ред. В.П. Зотова. – Київ: Вища школа, 2003. – 319 с.]

Kuzmenko, M.I.; Gudkov, D.I.; Kireiev, S.I.; Beliaiev, V.V.; Volkova, O.M.; Klenus, V.G.; Kaglian, O.Ye.; Shevtsova, N.L.; Shyroka, Z.O.; Nasvit, O.I. 2010. *Technogenic radionuclides in fresh water ecosystems: monography*. Kyiv, Institute of Hydrobiology at NAS of Ukraine, Naukova Dumka. 262 p. (in Ukrainian).

[Кузьменко М.І. Техногенні радіонукліди у прісноводних екосистемах: монографія / М.І. Кузьменко, Д.І. Гудков, С.І. Кіреєв, В.В. Беляєв, О.М. Волкова, В.Г. Кленус, О.Є. Каглян, Н.Л. Шевцова, З.О. Широка, О.І. Насвіт. – Київ: Інститут гідробіології НАН України; Наукова думка, 2010. – 262 с.]

Matvieieva, I.V.; Kutlakhmedov, Yu.O.; Isaenko, V.M.; Kryvorotko, V.M. 2006. *Comparison of radioecological processes as exemplified by villages contaminated with ^{137}Cs and ^{90}Sr and evaluated with the box model method*. Nuclear Physics and Energetics. Volume 18, N 2: 73–77 (in Ukrainian).

[Матвеева І.В. Порівняння радіоекологічних процесів на прикладі сіл, забруднених ^{137}Cs та ^{90}Sr , оцінених за методом камерних моделей / І.В. Матвеева, Ю.О. Кутлахмедов, В.М. Ісаєнко, В.М. Криворотько // Ядерна фізика та енергетика. – 2006. – Т. 18, № 2. – С. 73–77.]

Petrusenko, V.P.; Shmakov, I.P.; Kutlakhmedov, Yu.O. 2008. *Stability analysis of an ecosystem dynamic model under radionuclide migration*. Nuclear Physics and Energetics. Volume 23, N 1: 73–77 (in Ukrainian).

[Петрусенко В.П. Аналіз стійкості динамічної моделі екосистеми щодо міграції радіонуклідів / В.П. Петрусенко, І.П. Шмаков, Ю.О. Кутлахмедов // Ядерна фізика та енергетика. – 2008. – Т. 23, № 1. – С. 73–77.]

Ю.О. Кутлахмедов¹, А.А. Явнюк². Моделювання поведінки радіонуклідів ¹³⁷Cs та ⁹⁰Sr в озерах Глибоке та Далеке Чорнобильської зони відчуження

¹Інститут клітинної біології та генетичної інженерії НАН України, вулиця Академіка Заболотного, 148, Київ, Україна, 03680

²Національний авіаційний університет, проспект Космонавта Комарова, 1, Київ, Україна, 03680

E-mails: ¹ecoetic@yandex.ru; ²a_yavnyuk@ukr.net

Описано методологію моделювання поведінки радіоізотопів ¹³⁷Cs та ⁹⁰Sr, що є основними дозоутворюючими радіонуклідами, в компонентах водойм Чорнобильської зони відчуження. Змодельовано та спрогнозовано перехід ¹³⁷Cs та ⁹⁰Sr між поверхневим стоком, водою, вищою водною рослинністю (очерет звичайний) та донними відкладами в озерах Глибоке та Далеке Чорнобильської зони відчуження. З використанням методу камерних моделей, що є одним із найбільш доступних та зручних методів моделювання в екології, досліджено відсоток активності радіонуклідів у компонентах водойм від загального їх запасу у водних екосистемах. Отримано результати, що свідчать про несуттєве підвищення активності радіонуклідів у популяціях вищих водних рослин (очерет звичайний) із часом. Результати досліджень можуть бути корисними при розробці нових та вдосконаленні існуючих заходів зі зменшення вмісту радіонуклідів у водоймах, а також мінімізації та попередження негативних наслідків йонізуючого випромінювання для біоти прісних водойм.

Ключові слова: активність, камерна модель, поведінка радіонуклідів, радіонуклідне забруднення.

Ю.А. Кутлахмедов¹, А.А. Явнюк². Моделирование поведения радионуклидов ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr в озерах Глубокое и Далекое Чернобыльской зоны отчуждения

¹Институт клеточной биологии и генетической инженерии НАН Украины, улица Академика Заболотного, 148, Киев, Украина, 03680

²Национальный авиационный университет, проспект Космонавта Комарова, 1, Киев, Украина, 03680

E-mails: ¹ecoetic@yandex.ru; ²a_yavnyuk@ukr.net

Описана методология моделирования поведения радиоизотопов ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr, которые являются основными дозоформирующими радионуклидами, в компонентах водоемов Чернобыльской зоны отчуждения. Смоделирован и спрогнозирован переход ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr между поверхностным стоком, водой, высшей водной растительностью (тростник обыкновенный) и донными отложениями в озерах Глубокое и Далекое Чернобыльской зоны отчуждения. С использованием метода камерных моделей, являющегося одним из наиболее доступных и удобных методов моделирования в экологии, исследован процент активности радионуклидов в компонентах водоемов от их общего запаса в водных экосистемах. Получены результаты, свидетельствующие о незначительном повышении активности радионуклидов в популяциях высших водных растений (тростник обыкновенный) со временем. Результаты исследований могут быть полезными при разработке новых и усовершенствовании существующих мер уменьшения содержания радионуклидов в водоемах, а также минимизации и предупреждения негативных последствий ионизирующего излучения для биоты пресных водоемов.

Ключевые слова: активность, камерная модель, поведение радионуклидов, радионуклидное загрязнение.

Kutlakhmedov Yuri. Doctor of Biology.

Head of Laboratory of Biosystems Radioecological Reliability, Institute of Cell Biology and Genetic Engineering, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine.

Education: Kyiv State University of T. G. Shevchenko, Physical Faculty, major “Physics (of the rigid body)” (1967).

Research area: ecology, radioecology, ecological processes modelling.

Publications: 256 including 15 monographies.

E-mail: ecoetic@yandex.ru.

Iavniuk Andrian. Postgraduate student.

National Aviation University, Kyiv, Ukraine.

Education: major “Ecology and Environment Protection”, National Aviation University, Kyiv, Ukraine (2011).

Research area: radiobiology, radioecology, ecological processes modelling, ecology.

Publications: 17.

E-mail: a_yavnyuk@ukr.net.