

УДК 551.312.4:546.37-137

## ЦЕЗІЙ – 137 У ДОННИХ ОСАДАХ ОЗЕР ОКУНІН І ЧЕРЕПАХА НА ВОЛИНСЬКОМУ ПОЛІССІ

С. Федорович\*, Р. Добровольський\*\*, А. Богуцький \*\*\*

*\*Гданський університет,*

*вул. Домовського, 16 а, 80-264, м. Гданськ, Польща*

*\*\*Університет Марії Кюрі-Скłodовської,*

*Красніцька ал., 2сд, 20-718, м. Люблін, Польща*

*\*\*\*Львівський національний університет імені Івана Франка,*

*вул. Дорошенка, 41, 79000, м. Львів, Україна*

Усі проаналізовані зразки керну документують підвищену концентрацію  $Cs^{137}$  до глибини 25–30 см на дні озер та до глибини 40–45 см у приозерних торфовищах. Вертикальний розподіл концентрації цезію у профілях нерівномірний. Екстремальні концентрації нукліду реєстровані, як звичайно, двічі: у верхній і у нижній частинах профілів. Вони відповідають періодам його збільшеної емісії: після чорнобильської катастрофи 1986 р. (верхній пік) та після активізації випробувань ядерної зброї 1963 р. (нижній пік). Зареєстровано такі максимальні концентрації цезію: 245 Бк/кг – район дослідження оз. Черепаха (приповерхневі партії торфовища) та 486 Бк/кг – у районі дослідження оз. Окунін (верхня частина озерних відкладів).

На підставі наявності в аналізованих профілях двох виразних максимумів концентрацій цезію, які часоно корелюють, визначено темп сучасної озерної седиментації. Його показник для усього періоду останніх 40 років становить: 5,92 мм/рік в оз. Окунін, 2,89 мм/рік в оз. Черепаха. Вдвічі повільніший темп седиментації в озері Черепаха зумовлений штучним обмеженням його живлення внаслідок створення рову навколо озерної улоговини.

*Ключові слова:*  $Cs^{137}$ , концентрація, чорнобильський пік, ядерні вибухи, озера Окунін і Черепаха, швидкість седиментації.

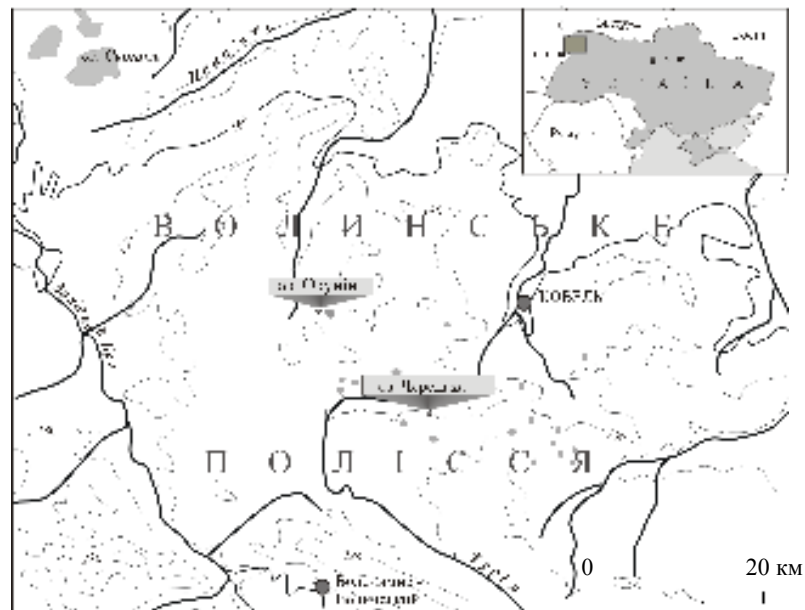
Радіоактивний ізотоп цезію – це ефект модифікації реакції розщеплення. До середовища він потрапляє внаслідок дослідів і експериментів з ядерною зброєю та внаслідок аварій на атомних електростанціях. Уперше він з'явився в атмосфері 1945 р., у наступних роках кількість ізотопу  $Cs^{137}$ , яка потрапила до середовища, прямо залежала від інтенсивності ядерних випробувань. Великомасштабні ядерні експерименти проводили на планеті, починаючи з середини 50-х років ХХ ст. Екстремальні кількості цезію потрапили у середовище в таких часових інтервалах: 1944–1945, 1957–1959, 1962–1964 рр. З середини 60-х років унаслідок обмеження випробувань ядерної зброї зафіксовано значне зменшення емісії цезію в навколишнє середовище [10]. У 1986 р. після аварії на Чорнобильській атомній електростанції зареєстровано чергове збільшення концентрації цезію на поверхні Землі. Його поширення було значне, особливо в Україні, Білорусії, західній частині Росії, а також у країнах Північної Європи [5]. На території Волинського Полісся концентрація цього радіонукліда мала досить суттєві територіальні відмінності (концентрація загалом зростала у східному напрямі): від близько 5–10 кБк/м<sup>2</sup> у західній частині (Шацьке Поозер'я), до близько 200 кБк/м<sup>2</sup> у східній частині [5].

Після ядерного вибуху цезій потрапляє до тропосфери, а згодом – і до обігу в стратосфері. Поширення нукліда в атмосфері і наступне його осадження на поверхні Землі може тривати від кількох тижнів до п'яти років. Максимальне осадження цезію зафіксоване у середніх широтах Північної півкулі ( $\varphi$  40–50° пн. ш.). Його кількість у цій зоні – результат осадження з атмосфери, напряму вітру і типу ґрунтів, у які відбувалось осадження. Цезій, який осаджується на поверхню, зазнає надзвичайно швидкого адсорбування, особливо колоїдною фракцією. Доказом сильної адсорбції є показове зменшення його концентрації з глибиною у ґрунтовому профілі. Привертає також увагу факт зменшення сорбційної здатності ґрунту внаслідок збільшення у відкладах субстанції органічного походження [6]. Тому найліпшим для дослідження концентрації цезію є середовище відкладів з великим вмістом мулистої фракції. Обмежена рухливість нукліда у глибшій частині профілю, його порівняно довгий час піврозпаду (30,2 року) та сильна емісія гамма-випромінювання дають підстави вважати цезій досконалим визначником (датівником) седиментації, ерозії, транспортування [2, 13].

Цезій-137 з успіхом використовують для означення молодих озерних відкладів. Він також дає змогу, особливо в разі додаткового застосування інших методів, визначити типи сучасної седиментації в озерних улоговинах [8, 10, 11]. З метою уникнути інтерпретаційних капканів треба пам'ятати про можливість післяаккумуляційної мобільності в озерних відкладах радіоактивного цезію [9, 11, 12] унаслідок впливу фізичних (дифузія, перенесення у завислому стані) і біологічних (біотурбації) процесів.

Радіоактивне забруднення цезієм вибраних озерно-болотних геосистем Волинського Полісся почали вивчати 1999 р. у проєкті спільних польсько-українських досліджень еволюції озер і боліт Полісся [3, 4, 7]. Для детальних досліджень обрано два невеличкі замкнуті озера Окунін і Черепаха й навколишні приозерні торфовища (рис. 1).

Рис. 1.  
Локалізація  
досліджуваних  
озер.



Озеро Окунін (51°12'N, 24°18'E) розташоване в розложистій карстовій улоговині у водозбірному басейні верхів'я Вижівки (південно-західна частина Волинського Полісся). Це невелике водоймище (площа 17,8 га, довжина 530 м) у формі кола, оточене вузькою смугою приозерних торфовищ. Улоговина озера вироблена безпосередньо у породах верхньої крейди. Корінні породи виходять на поверхню й у зоні добре розвинутого кліфу (північне узбережжя озера) і в широкій літоральній зоні. Озерну улоговину заповнює п'ятиметрова товща голоценових біогенних відкладів [4].

Озеро Черепаха (51°04'N 24 °30'E ) розміщене у водозбірному басейні верхів'їв Турії в межах невеликої (довжина 2,2 км) карстової долини (південна частина Волинського Полісся). Це надзвичайно мале (площа 2,8 га) й одночасно надзвичайно глибоке водоймище (максимальна глибина 8,65 м). Безпосередній басейн озера займає площу до 1 км<sup>2</sup>. Водну масу оточує широка (приблизно 30 м) смуга приозерного торфовища, розрізана ровом навколо улоговини. Рів уберігає озеро від безпосереднього надходження алохтонного матеріалу (площинний злив). Озерна улоговина, як і у випадку озера Окунін, вироблена у верхньокрейдових відкладах. Вона заповнена товщею (8 м) біогенних відкладів, у верхній частині яких залягає темно-сіра пачка гітії.

Керни відбирали з льоду взимку 1999 р. (оз. Окунін) і в 2002 р. (оз. Черепаха) за допомогою бура фірми *Eijkelpamp* (внутрішній діаметр 9 см) Відібрано дев'ять колонок (рис. 2) з профундальної (свердловини Ок-55, Cz-35) і літоральної частин обох озер (свердловини Ок-54а, Ок-56а, Cz-12, Cz-27) та з приозерних торфовищ (свердловини Ок-61, Cz-11). Керни донних відкладів розділено на сегменти товщиною 1 (св. Cz-35) і 5 см (з інших свердловин). Зразки висушено при температурі 40 °С, а потім розтерто у ступці. Після гомогенізації матеріалу виміряно активність Cs<sup>137</sup> з використанням гамма-спектрометрії. Зразки поміщено в олов'яну захисну коробку спектрометричного пристрою з германійовим детектором. Дані про концентрацію цезію опрацьовано на комп'ютері. Час вимірювання – 259 200 с. Маркування виконано на кафедрі геоморфології і геології антропогену Гданського університету.

В оз. Черепаха (Cz-35) концентрацію цезію зареєстровано до глибини 31 см. Чорнобильський пік відображений на глибині 2 см. Концентрація цезію на цій глибині становила 162,3 Бк/кг (див. рис. 2). У пробах, узятих нижче по розрізу, кількість цезію зменшується, і досить радикально. Чергове збільшення концентрації в глибинному профілі виявлене на глибині 11, 13 і 14 см. Важко однозначно відповісти, який із зареєстрованих цезієвих піків відповідає 1963 р., тому що концентрація нуклідів дуже подібна (відповідно, 106,1 Бк/кг у зразку 11 та 103,9 і 101,5 Бк/кг у зразках 13 і 14). Максимуми у зразку 11 та 13 і 14 розділені мінімумом концентрації цезію у зразку 12 (40 % зменшення концентрації). Можна було б зробити висновок про те, що зразок 11 відображає седиментацію цезію у 1963 р., а піки нижче на глибині (зразки 13 і 14) відповідають седиментації цезію у 1959–1963 рр. Якби ці міркування були правильними, то темп озерної седиментації у 1962–1986 рр. становив би 3,9 мм за рік, а в 1959–1963 рр. – близько 7мм за рік. Найповільніший темп седиментації зареєстровано після 1986 р. Протягом останніх 15 років в оз. Черепаха нагромадилось лише 1,3 см осаду.

У верхній частині донних відкладів оз. Окунін (св. Ок-55) концентрація цезію висока – 500 Бк/кг, що відображає чорнобильський пік (див. рис. 2). Така висока концентрація нукліда може бути ефектом вторинного транспортування у завислому стані донних відкладів, або, як уважає А. Булгаков та ін [1], довготривалого проникання радіоактивного цезію у водоймище за посередництвом приозерного торфовища. У чергових 3–5 см зразках кількість цезію різко зменшується, натомість у п'ятому зразку

М

М

Рис. 2. Діаграма розподілу  $Cs^{137}$  у зразках озерних і болотних відкладів, відібраних у межах досліджуваних ділянок.

на глибині 20–25 см збільшується до 120 Бк/кг. Другий максимум цезію відповідає, ймовірно, слідові глобального викиду 1963 р.

Наявність двох чітких максимумів цезію використано для визначення темпу сучасної біогенної седиментації в озері. Середня її кількість для періоду 1963–2001 рр. становить 5,92 мм/рік [7].

В усіх кернах, взятих у приозерному торфовищі Черепаха (свердловини Cz-11, Cz-12, Cz-27), чітко зафіксовано два рівні підвищеної концентрації радіоактивного цезію. Перший з піків (чорнобильський) – у приповерхневих зразках (на глибині 5 см). Концентрації, які йому відповідають, становлять 155–245 Бк/кг (див. рис. 2). Другий, старший, пік цезію виявлено в аналізованих зразках на глибині близько 30 см. Можна його пов'язувати (як і в озерних зразках) зі слідами глобального осадження цезію у 1963 р. Цікаво те, що концентрації цезію в часових піках мають порівнювальні значення на торфовищах і в оз. Черепаха.

Концентрація Cs<sup>137</sup> у торфових профілях біля оз. Окунін виявляє дещо більші відмінності, ніж у торфовищі околиць оз. Черепаха. Підвищені концентрації радіонукліда, які відповідають періодам його збільшеної емісії, зареєстровані у зразках двічі, а то й тричі (св. Ок 56а), і мають чітке зміщення глибше по профілю. Чорнобильський пік у всіх випадках порівняно слабо виражений, а концентрація цезію, яка йому відповідає, набагато менша (60–134 Бк/кг), ніж на дні озера (див. рис. 2). Другий пік зафіксовано на глибині 25–40 см від топографічної поверхні, йому відповідає концентрація цезію близько 155–240 Бк/кг. Така значна концентрація радіоактивного ізотопу на глибинах, які дають змогу відкинути тезу про його первинне залягання, свідчить про значну дифузію нуклідів у торфах (орієнтовно, на глибині близько 15–20 см).

Отже, усі проаналізовані зразки керну документують підвищену концентрацію Cs<sup>137</sup> до глибини 25–30 см на дні озер та до глибини 40–45 см у приозерних торфовищах. Вертикальний розподіл концентрації цезію у профілях нерівномірний. Екстремальні концентрації нукліда зареєстровані, як звичайно, двічі: у верхній і нижній частинах профілів. Вони відповідають періодам його збільшеної емісії: після чорнобильської катастрофи у 1986 р. (верхній пік) та після активізації випробувань ядерної зброї у 1963 р. (нижній пік). Зафіксовано такі максимальні концентрації цезію: 245 Бк/кг – район дослідження “оз. Черепаха” (приповерхневі партії торфовища) та 486 Бк/кг – у районі дослідження “оз. Окунін” (верхня частина озерних відкладів).

За наявністю в аналізованих профілях двох виразних максимумів концентрацій цезію, які часово корелюють, визначено темп сучасної озерної седиментації: його показник для всього періоду останніх 40 років становить 5,92 мм/рік в оз. Окунін, 2,89 мм/рік в оз. Черепаха. Отримані результати корелюють з концентраціями, які виявлено в озерах Північної Польщі [8]. Удвічі повільніший темп седиментації в оз. Черепаха – наслідок штучного обмеження його живлення після створення рову навколо озерної улоговини.

Сьогодні доцільним було б цілеспрямоване виконання в майбутньому додаткових досліджень відібраних озерних кернів, яке б охопило аналіз концентрації свинцю (Pb<sup>210</sup>) у зразках, у яких уже зроблено аналіз Cs<sup>137</sup>. Одночасне дослідження вмісту цих радіоактивних ізотопів дало б змогу з більшою точністю визначити темп сучасної седиментації. Аналіз концентрації Pb<sup>210</sup> допоміг би додатково визначити вік відкладів.

1. *Bulgakov A.A., Konoplev A.V., Smith J.T.* et al. Modelling the long-term dynamics of radiocaesium in closed lakes // *Journal of Environmental Radioactivity*. – 2002. – Vol. 61. – P. 41–53.
2. *Chelmicki W., Świąchowicz J., Araszkiewicz E.* Zastosowanie cezu-137 do badania procesów stokowych na Pogórzu Karpackim // *Przegląd Geofizyczny*. – 1992. – Vol. 37, 3–4. – P. 221–228.
3. *Dobrowolski R., Balaga K., Bogucki A.* et al. Chronostratigraphy of the Okunin and Czerepacha lake–mire geosystems (Volhynia Polesiye, NW Ukraine) during the late glacial and holocene // *Geochronometria*. – 2001. – Vol. 20. – P. 107–115.
4. *Dobrowolski R., Fedorowicz S., Turczyński M., Zaleski I.* Geologiczno-geomorfologiczne i hydrologiczne warunki rozwoju zespołu jezior krasowych Okunin-Somino na Polesiu Wołyńskim (Ukraina NW) // *Naturalne i antropogeniczne przemiany jezior*. *Konf. limnologiczna*. Radzyń k. –Warszawa, 1999.
5. *Dubois G., De Cort M.*, 2001, Mapping  $^{137}\text{Cs}$  deposition: data validation methods and data interpretation // *Journal of Environmental Radioactivity*. – 2001. – Vol. 53. – P. 271–289.
6. *Dumat C., Staunton S.* Reduced adsorption of caesium on clay minerals caused by various humic substances // *Journal of Environmental Radioactivity*. – 1999. – Vol. 46. – P. 187–200.
7. *Fedorowicz S., Tylmann W., Dobrowolski R., Turczyński M.* Application of  $\text{Cs}^{137}$  to estimate modern sedimentation rate in the Okunin and Czerepacha lakes in the Volhynia Polesie (NW Ukraine) // *Limnological Review*. – 2002. P. 2.
8. *Golebiewski R., Bojanowski R., Tylmann W.* et al. Tempo współczesnej sedymentacji osadów w jeziorach wybranych pojezierzy młodoglacjalnych // *Funkcjonowanie geoekosystemów w zróżnicowanych warunkach morfoklimatycznych*. *Monitoring, ochrona, edukacja*. – Poznań: Wydawnictwo Naukowe, 2001. – S. 143–156.
9. *Hamilton-Taylor J., Davison W.* Redox-driven cycling of trace elements in lakes // *Physics and chemistry of lakes*. – New York: Springer Verlag, 1995. – P. 217–264.
10. *He Q., Walling D.E., Owens P.N.* Interpreting the  $^{137}\text{Cs}$  profiles observed in several small lakes and reservoirs in southern England // *Chemical Geology*. – 1996. – Vol. 129. – P. 115–131.
11. *Smith J.T., Ireland D.G., Comans R.N.J., Nolan L.* The mobility of radiocaesium in lake sediment and implications for dating studies // *Dating of sediments and determination of sedimentation rate*, STUK A-145, Finland. – 1998. – P. 76–93.
12. *Smith J.T., Comans R.N.J., Elder D.G.* Radiocaesium removal from European lakes and reservoirs: key processes determined from 16 Chernobyl-contaminated lakes // *Water Res.* – 1999. – Vol. 33. – P. 3762–3774.
13. *Zalewski M., Kapala J., Tomczak M., Mnich Z.* Cez promieniotwórczy w osadach dennych niektórych jezior mazurskich // *Przegląd Geologiczny*. – 1995. – Vol. 43. – P. 656–659.

### **$\text{Cs}^{137}$ IN THE BOTTOM DEPOSITS OF THE OKUNIN AND CHEREPAKHA LAKES IN THE VOLYN POLISSIA**

**S. Fedorovych\*, R.Dobrovolsky\*\*, A.Bogutsky\*\*\***

\**Gdansk University, 16a Domovskiego Str., 80–264, Gdansk, Poland*

\*\**Mary Sklodowska University, Krasnitska lane, 2 cd., 20–718, Lublin, Poland*

\*\*\**Ivan Franko National University of Lviv, Doroshenko Str., 41, UA – 79 000 Lviv, Ukraine*

All the analysed specimens of kern testify to an increased concentration of  $\text{Cs}^{137}$  up to the depth of 25–30 cm on the bottom of the lakes, and up to the depth of 40–45 cm in the peat fields close to the lakes. A vertical distribution of the cesium concentration within the profiles is nonuniform. Extreme concentrations of the nuclide are registered, as a rule, twice: in the upper and in the lower sections of the profiles. They correspond to the periods of its increased emission: following the Chornobyl catastrophe in 1986 (the highest peak), as well as after the activation of nuclear weapons tests in 1963 (the lowest peak). The following maximal concentrations of cesium have been registered: 245 Bq/kg – the area of research being Cherepakha-lake (subsurface parts of the peat field) and 486 Bq/kg – in the research area Okunin-lake (the upper section of the lake depositions). Based on the availability in the analysed profiles of two clear maxima of cesium concentrations, which are partially correlated, the tempo of the present lake sedimentation has been calculated. Its index for the whole period of the last 40 years makes up: 5,92 mm/year in the Okunin lake, 2,89 mm/year in the Cherepakha lake. The tempo of sedimentation turned out to be twice slower in the Cherepakha lake which is caused by its artificial restriction of feeding due to the ditch formed around the lake basin.

*Key words:* Cs<sup>137</sup>, Chernobyl peak, nuclear expositions, Okunin and Cherepakha lakes, speed of sedimentation.

Стаття надійшла до редколегії 26.05.2004  
Прийнята до друку 17.06.2004