

УДК [577.34:556.531:574.5](285)

В.В. БЕЛЯЕВ, Е.Н. ВОЛКОВА, С.П. ПРИШЛЯК, А.А. ПАРХОМЕНКО

Институт гидробиологии НАН Украины  
пр. Героев Сталинграда, 12, Киев, 04210, Украина

## **ОСОБЕННОСТИ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОЛИГОТРОФНЫХ ВОДОЕМОВ**

Изучены особенности радиоактивного загрязнения олиготрофного озера. Описано распределение и свойства донных отложений. Плотность загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  песков была 25–70 кБк/м<sup>2</sup>,  $^{90}\text{Sr}$  до 300 Бк/м<sup>2</sup>. Плотность загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  илов до 30 кБк/м<sup>2</sup>,  $^{90}\text{Sr}$  – до 200 Бк/м<sup>2</sup>.

*Ключевые слова:* водоемы, донные отложения, радионуклиды

В круговороте вещества водоемы играют роль транзита или аккумуляции. В полной мере это относится и к радионуклидам. Исследования, выполненные в начале эпох глобальных выпадений [1, 8], выявили основные закономерности распределения искусственных радионуклидов в пресноводных экосистемах. Большинство искусственных радиоактивных изотопов в пресноводных водоемах концентрируются в донных отложениях, при этом интенсивность накопления радионуклидов донными отложениями обратнопропорциональна диаметру слагающих их частиц, и, соответственно, удельная активность песков во много раз меньше, чем глинистых илов. Многочисленные радиоэкологические исследования загрязненных вследствие аварии на Чернобыльской АЭС водоемов показали, что в илистых донных отложениях концентрируется 90–100 % активности радионуклидов, присутствующих в водоеме [3–7, 9].

Особенностью радиоактивного загрязнения малопродуктивных водоемов является то, что в таких водоемах уровни содержания радионуклидов в ихтиофауне во много раз выше, чем в рядом расположенных высокопродуктивных водоемах [1, 3]. Изучению радиоактивного загрязнения других компонентов малопродуктивных водоемов уделялось меньше внимания. Эпизодические исследования [4] выявили, что в малопродуктивных водоемах радиоактивное загрязнение песков сопоставимо или превышает радиоактивное загрязнение илов. Поэтому целью работы было исследование особенностей радиоактивного загрязнения донных отложений малопродуктивного водоема.

Работа была выполнена при поддержке НАН Украины, договора №№ К-8-51/2013 и К-8-51/2014 «Визначення об'ємів допустимих скидів радіонуклідів підприємствами ядерного паливного циклу у водойми різного трофічного статусу з урахуванням швидкості очищення водних мас від штучних радіонуклідів».

### **Материал и методы исследований**

Исследование распределения радионуклидов проведено на примере олиготрофного оз. Белое, расположенного во Владимирецком районе Ровенской области. Центр озера имеет координаты 26°1'30" в.д. и 51°38'51" с.ш. Согласно гидрохимическому районированию, озеро относится к Волинскому Полесью. Это замкнутое озеро, не имеющее наземного притока и стока, вытянутое в меридиальном направлении. Максимальная длина озера 1500 м, максимальная ширина – 740 м, длина береговой линии – 3,7 км. По нашим расчетам площадь озера составляет 833000 м<sup>2</sup>. (Использована картографическая информация геопортала Роскосмоса, [www.geoportalsomz.ru](http://www.geoportalsomz.ru)). По сообщениям местных жителей максимальная глубина озера достигает 29 м. Восточный берег возвышается над окружающей местностью. На удалении 20–40 м от уреза воды западного берега возвышается гряда. Северо-западный берег низкий. В восточном и северном направлениях расположена дренажная система.

Радиоэкологические исследования на озере проводятся с 1998 г. В воде и рыбах озера были зарегистрированы аномально высокие концентрации  $^{137}\text{Cs}$  [4, 7]. При этом специальные исследования донных отложений не проводились. Съемка донных отложений была проведена в 2013–2014 гг. Пробы донных отложений отбирали пробоотборником СДЧ-250. Вдоль

береговой линии на глубинах до 1 м, пробы отбирали цилиндрической трубкой и определяли тип донных отложений до глубины 1,6 м. Обследование некоторых участков проводили с помощью легководолазного снаряжения. Водно-физические свойства донных отложений и потери при прокаливании (ППП) определяли по [2]. Содержание  $^{90}\text{Sr}$  определяли по оксалатной методике [2]. Содержание гамма-излучающих радионуклидов определяли гамма-спектрометрическим методом [2]. Использовали гамма-спектрометрическую установку с полупроводниковым детектором ДГДК-100Б и анализатором SBS-30 и оригинальной пассивной защитой. Эффективность регистрации гамма-квантов  $^{137}\text{Cs}$  около 0,7 %. Удельная активность донных отложений приведена в Бк/кг сухой массы.

### Результаты исследований и их обсуждение

Известно, что накопление радионуклидов донными отложениями зависит от их типа (гранулометричного состава), поэтому, сначала приведем краткую характеристику донных отложений. Установлено, что до глубины 1,7–2 м дно водоема покрывают пески, далее наблюдается резкий склон с перепадом в 2–3 м. Это склон перекрыт слоем ила толщиной 5–10 см и интенсивно зарастает погруженной водной растительностью, преимущественно урутью колосистой и рдестом пронзеннолистным, реже встречаются элодея канадская и роголистник темно-зеленый. Визуально заросли растительности наблюдаются до глубины 5–6 м. До глубины 13–14 м мощность слоя ила составляет 5–15 см, больше толщина слоя на ровных участках и в углублениях, меньше на склонах. На больших глубинах мощность слоя илстых отложений превышает 30 см.

На глубинах до 2-х м влажность песков составляет 16–23 %, объемная масса скелета 1,5–1,7 г/см<sup>3</sup>, ППП – 0,3–0,7 %. На больших глубинах показатели влажности и ППП увеличиваются в 2–2,5 раза до 37–57 % и 1–1,7%, соответственно, закономерно уменьшается объемная масса скелета до 1,1–1,4 г/см<sup>3</sup>. Влажность верхнего слоя глинистых илов составляет 215–1880 %, объемная масса скелета 0,05–0,39 г/см<sup>3</sup>. Илы преимущественно сформированы органическим веществом, про что свидетельствуют величины ППП – 11–71 % (в основном 40–65 %). Для илов величины ППП и объемной массы скелета обратнопропорциональны.

В августе 2013 г. удельная активность растворенного в водных массах  $^{137}\text{Cs}$  составляла  $111 \pm 6$  Бк/м<sup>3</sup>, что в несколько раз больше, чем концентрация радионуклида в воде Киевского водохранилища. Содержание растворенного в воде озера  $^{90}\text{Sr}$  ( $22,2 \pm 1,9$  Бк/м<sup>3</sup>) было в 5 раз меньше, чем  $^{137}\text{Cs}$ . Содержание сорбированного на взвесах  $^{137}\text{Cs}$  было  $3083 \pm 225$  Бк/кг,  $^{90}\text{Sr}$  –  $606 \pm 581$  Бк/кг. Доля сорбированных на взвесах радионуклидов была незначительной – около 3,6 %, что обусловлено незначительной мутностью – 1,3 г/м<sup>3</sup>.

На глубинах до 1,5 м содержание  $^{137}\text{Cs}$  в верхнем (0–10 см) слое песка составляло от 140 до 212 Бк/кг. Удельная активность слоя 10–15 см была в 1,5 раза меньше. Содержание радионуклида в расположенных ниже слоях не превышало 6 Бк/кг. Плотность загрязнения верхнего 30-ти сантиметрового слоя составляла от 25 до 58 кБк/м<sup>2</sup>. На больших глубинах в песках максимальное содержание радионуклида наблюдалось в слое 10–20 см, в расположенных ниже слоях удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  резко уменьшалась. Плотность загрязнения достигала 70 кБк/м<sup>2</sup>. В местах с мощностью ила более 3 см содержание  $^{137}\text{Cs}$  в песках не превышало 30 Бк/кг. Содержание  $^{90}\text{Sr}$  в песках не превышало 1 Бк/кг, плотность загрязнения – 300 Бк/м<sup>2</sup>. Удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  в верхнем слое илов регистрировалась в значительных пределах – от 50 до 5344 Бк/кг. Наибольшая активность наблюдалась в верхнем 2–3 сантиметровом слое. Удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  экспоненциально снижалась к слою 20–25 см. Удельная активность  $^{90}\text{Sr}$  в илах достигала 100 Бк/кг, в основном составляла до 30 Бк/кг. Плотность загрязнения илов оз. Белое составляла не более 30 кБк/м<sup>2</sup>  $^{137}\text{Cs}$  и не более 200 Бк/м<sup>2</sup>  $^{90}\text{Sr}$ . Разница плотности радиоактивного загрязнения илов и песков объясняется незначительным количеством сухого вещества в радиоактивно-загрязненном слое илов.

### Выводы

Особенностью загрязнения илов олиготрофного оз. Белое является то, что наибольшие уровни загрязнения регистрируются до глубины 14 м, в более глубоких местах удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  намного меньше. Также следует отметить, что в местах, где мощность илов не превышает

20 см, весь слой илов загрязнен искусственными радионуклидами. Плотность загрязнения илов  $^{137}\text{Cs}$  не превышает 30 кБк/м<sup>2</sup>,  $^{90}\text{Sr}$  – 200 Бк/м<sup>2</sup>.

По сравнению с такими эвтрофными водоемами как Киевское, Каневское водохранилища и водоем-охладитель ЧАЭС, в олиготрофном оз. Белое плотность загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  песков в несколько раз выше, чем илов. В перечисленных эвтрофных водоемах плотность загрязнения илов  $^{137}\text{Cs}$  выше, чем песков в десятки раз. Так же, в отличие от эвтрофных водоемов, в оз. Белое меньше мощность слоя донных отложений (илистого и песчаного типа), загрязненного  $^{137}\text{Cs}$ .

1. Марей А. Н. Санитарная охрана водоемов от загрязнений радио-активными веществами / А. Н. Марей. – М.: Атомиздат, 1976. – 224 с.
2. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / За ред. В. Д. Романенка. – НАН України. Інститут гідробіології. – К.: ЛОГОС, 2006. – 408 с.
3. Моделирование и изучение механизмов переноса радиоактивных веществ из наземных экосистем в водные объекты зоны влияния Чернобыльской аварии. / Заключительный отчет проекта экспериментального сотрудничества. Под ред. У. Сансоне и О. В. Войцеховича. – К.: Чернобыльтехинформ, 1996. – 195 с.
4. Параметри розподілу радіонуклідів у водоймах різного трофічного статусу / О. М. Волкова, В. В. Беляєв, О. О. Пархоменко, С. П. Пришляк // Природа Західного Полісся та прилеглих територій: зб. наук. пр. / за заг. Ред. Ф. В. Зузука. – Луцьк: Східноєвроп. нац. ун-т ім. Лесі Українки, 2014. – № 11. – С. 127–132.
5. Радиоактивное и химическое загрязнение Днепра и его водохранилищ после аварии на чернобыльской АЭС / В. Д. Романенко, М. И. Кузьменко, Н. Ю. Евтушенко и др. – К.: Наукова думка, 1992. – 194 с.
6. Радиогеоэкология водных объектов зоны влияния аварии на ЧАЭС / под ред. О. В. Войцеховича; – К.: Чернобыльинтеринформ, 1997. – Т. 1 – 308 с.
7. Радіонукліди у водних екосистемах України / М. І. Кузьменко, В. Д. Романенко, В. В. Деревець [та ін.] – К.: Чернобыльинтеринформ, 2001. – 318 с.
8. Тимофеева-Ресовская Е. А. Распределение радиоизотопов по основным компонентам пресноводных водоемов / Е. А. Тимофеева-Ресовская. – Свердловск: УФАН СССР, 1963. – 78 с.
9. Чернобыль: Радиоактивное загрязнение природных сред / Ю. А. Израэль, С. М. Вакуловский, В. А. Ветров и др. – Л.: Гидрометеоздат, 1990. – 296 с.

*V.V. Belyaev, O.M. Volkova, S.P. Prishlyak, O.O. Parhomenko*

Інститут гідробіології НАН України, Київ

#### ОСОБЛИВОСТІ РАДІОАКТИВНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ОЛІГОТРОФНИХ ВОДОЙМ

Вивчені особливості радіоактивного забруднення олиготрофного озера. Наведено розподіл та властивості донних відкладів. Щільність забруднення  $^{137}\text{Cs}$  пісків була 25 – 70 кБк/м<sup>2</sup>,  $^{90}\text{Sr}$  до 300 Бк/м<sup>2</sup>. Щільність забруднення  $^{137}\text{Cs}$  шару мулів була до 30 кБк/м<sup>2</sup>,  $^{90}\text{Sr}$  до 200 Бк/м<sup>2</sup>.

*Ключеві слова: водойми, донні відклади, радіонукліди*

*V.V. Belyaev, O.M. Volkova, S.P. Prishlyak, O.O. Parhomenko*

Institute of Hydrobiology of NAS of Ukraine, Kyiv

#### PECULIARITIES OF RADIOACTIVE CONTAMINATION OF OLIGOTROPHIC WATER BODIES

Peculiarities of radioactive contamination of oligotrophic lake were studied. Distribution and properties of bottom sediments have been described. The density of contamination  $^{137}\text{Cs}$  of sand was 25–70 kBq/m<sup>2</sup>,  $^{90}\text{Sr}$  to 300 Bq/m<sup>2</sup>. The density of contamination  $^{137}\text{Cs}$  mud reached 30 kBq/m<sup>2</sup>,  $^{90}\text{Sr}$  – 200 Bq/m<sup>2</sup>.

*Keywords: water bodies bottom sediments, radionuclides*