

Д. И. Гудков, А. А. Протасов, В. И. Щербак, Т. Н. Дьяченко,  
А. Е. Каглян, А. А. Силаева, О. В. Пашкова

## Современное гидробиологическое и радиоэкологическое состояние водоема-охладителя Чернобыльской АЭС

(Представлено академиком НАН Украины В. Д. Романенко)

*На протяжении 2012–2013 гг. выполнены исследования качественного и количественного состава сообществ макрофитов, фито- и зоопланктона, фито- и зооперифитона, зообентоса, а также рыб водоема-охладителя Чернобыльской АЭС. Проанализированы уровни радионуклидного загрязнения и оценены разовые запасы радионуклидов в основных компонентах экосистемы водоема в период, предшествующий его выведению из эксплуатации.*

Водоем-охладитель Чернобыльской АЭС (ВО ЧАЭС) является искусственным водоемом, сооруженным на правобережном участке поймы р. Припять, основным назначением которого являлось обеспечение водой теплообменного оборудования и систем пожаротушения станции при эксплуатации энергоблоков. Берега водоема сформированы частично надпойменной террасой, а в основном — дамбой протяженностью 25 км, шириной 70–100 м и высотой 5,7 м. Длина ВО составляет 11,5 км, средняя ширина — 2,2 км, площадь — 22,9 км<sup>2</sup>, средняя глубина — 6,5 м, на отдельных участках — до 18–20 м, объем при НПУ — 149 млн м<sup>3</sup>. Водное зеркало ВО находится на 6–7 м выше уровня р. Припять, вследствие чего происходит интенсивная фильтрация воды через тело дамбы. Покрытие расходов на фильтрацию и испарение осуществляется путем подкачки воды из р. Припять при помощи береговой насосной станции.

В период аварии на ЧАЭС 1986 г. в результате ветрового переноса и осаднения на водную поверхность, а также поступления через отводящий канал с реакторными водами радиоактивных веществ экосистема ВО подверглась интенсивному радионуклидному загрязнению. Преобладающая часть поступивших в ВО радиоактивных веществ достаточно быстро аккумулировалась донными отложениями и водными организмами, а поскольку последние являются эффективными концентраторами радионуклидов, то в настоящее время в биомассе гидробионтов ВО сосредоточены значительные количества радиоактивных веществ, вовлеченных в биогеохимический круговорот.

В декабре 2000 г. был досрочно остановлен последний действующий энергоблок ЧАЭС и начаты работы по снятию станции с эксплуатации. В настоящее время на ЧАЭС осуществляются технические и административные мероприятия, которые определяются общими положениями обеспечения безопасности при снятии с эксплуатации атомных электростанций. Поскольку на сегодняшний день количество воды в ВО многократно превышает потребности ЧАЭС, возникла необходимость решения вопроса о дальнейшей судьбе водоема и рассмотрения возможных стратегий выведения его из эксплуатации.

Целью настоящих исследований была оценка современного состояния экосистемы ВО ЧАЭС и уровней радионуклидного загрязнения основных компонентов биоты в период, предшествующий его выведению из эксплуатации.

---

© Д. И. Гудков, А. А. Протасов, В. И. Щербак, Т. Н. Дьяченко, А. Е. Каглян, А. А. Силаева,  
О. В. Пашкова, 2015

В 2012–2013 гг. были изучены качественный состав и количественное развитие макрофитов, фито- и зоопланктона, фито- и зооперифитона, зообентоса, ихтиофауны, а также уровней содержания основных дозобразующих радионуклидов в водных организмах. Исследовалась удельная активность  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  у наиболее распространенных в ВО высших водных растений и водорослей, а также двустворчатых моллюсков и рыб. Отбор проб растительных организмов и моллюсков выполняли по всей акватории ВО, лов рыбы осуществляли в северо-западной части водоема.

Среди макрофитов было выявлено 18 видов высших водных растений из 14 семейств. Ширина пояса зарослей воздушно-водной растительности, окружающей водоем практически по всему периметру, колебалась от 1 до 30 и более метров, в среднем составляя 6–12 м. Доминировали тростниковые ассоциации с высотой растений 1,5–3,9 м и плотностью зарастания 68–456 побегов на  $\text{м}^2$ . Фитомасса тростника, произрастающего выше уреза воды, составляла 1,0–1,5, погруженных зарослей — 2,0–10,6  $\text{кг}/\text{м}^2$  (здесь и далее весовые характеристики и удельная активность радионуклидов приведены для сырой биомассы). Общая площадь зарастания ВО макрофитами в 2013 г. составила около 82 га, а запас фитомассы — 1930 т.

В фитопланктоне отмечено от 29–33 (лето) до 131 (весна) видовых и внутривидовых таксонов водорослей из 8 отделов. Осенью и летом в таксономическом разнообразии доминировали диатомовые (до 63%), весной — диатомовые и зеленые водоросли. В весенний период численность фитопланктона составляла от 1,63–2,08 до 6,67–7,55 млн кл/ $\text{дм}^3$ , летом — 18,10–27,80 млн кл/ $\text{дм}^3$ , при этом 62–97% численности летнего фитопланктона формировали представители сине-зеленых водорослей. В фитоперифитоне было обнаружено 154 вида из 6 отделов: на твердом субстрате (эпилитон) — 129, на высших водных растениях — 90 видов. Наибольшим видовым богатством характеризовались диатомовые водоросли (53% общего количества), зеленые (27%) и сине-зеленые (16%). В осенний период наблюдали увеличение доли диатомовых — до 78% и значительное снижение зеленых — до 5%. Разовый запас фитопланктона ВО в 2012–2013 гг. был в пределах 184–420 т, фитоперифитона — около 21 т.

Зоопланктон ВО весной и летом 2013 г. характеризовался достаточно высоким таксономическим богатством, выявлен 51 таксон беспозвоночных — 23 коловраток, 13 — ветвистых и 13 — веслоногих ракообразных, а также ракушковые раки и велигеры дрейссены. В целом ведущую роль в таксономическом богатстве играли коловратки, составляя в среднем более 50% общего количества таксонов. Общая численность зоопланктона в среднем по водоему составляла 7522 тыс. экз/ $\text{м}^3$  (весна) и 773 тыс. экз/ $\text{м}^3$  (лето), биомасса — соответственно 6,26 и 0,31  $\text{г}/\text{м}^3$ . Разовый запас зоопланктона в весенний период составил 96,8  $\text{т}/\text{км}^2$ , в летний период — более чем в 10 раз ниже — 8,9  $\text{т}/\text{км}^2$ . Общий разовый запас зоопланктона в ВО летом составил 204 т, весной — 2217 т.

В зообентосе ВО было зарегистрировано 89 таксонов беспозвоночных из 16 групп. Наибольшим богатством отличались олигохеты (26) и личинки хирономид (23 таксона). Наличие поселений дрейссены определило достаточно высокий уровень биомассы зообентоса — до 9,1  $\text{кг}/\text{м}^2$  (глубина 5 м), при этом биомасса “мягкого” зообентоса была порядка 10  $\text{г}/\text{м}^2$ . В среднем в 2012–2013 г. запас зообентоса в ВО ЧАЭС на глубине до 10 м составил 16,7 тыс. т.

В зооперифитоне на каменистом субстрате (эпилитон) было отмечено 44 таксона беспозвоночных, основное таксономическое богатство определяли личинки хирономид и олигохеты (по 12 таксонов). Численность зооперифитона находилась в пределах 11 700–185 000

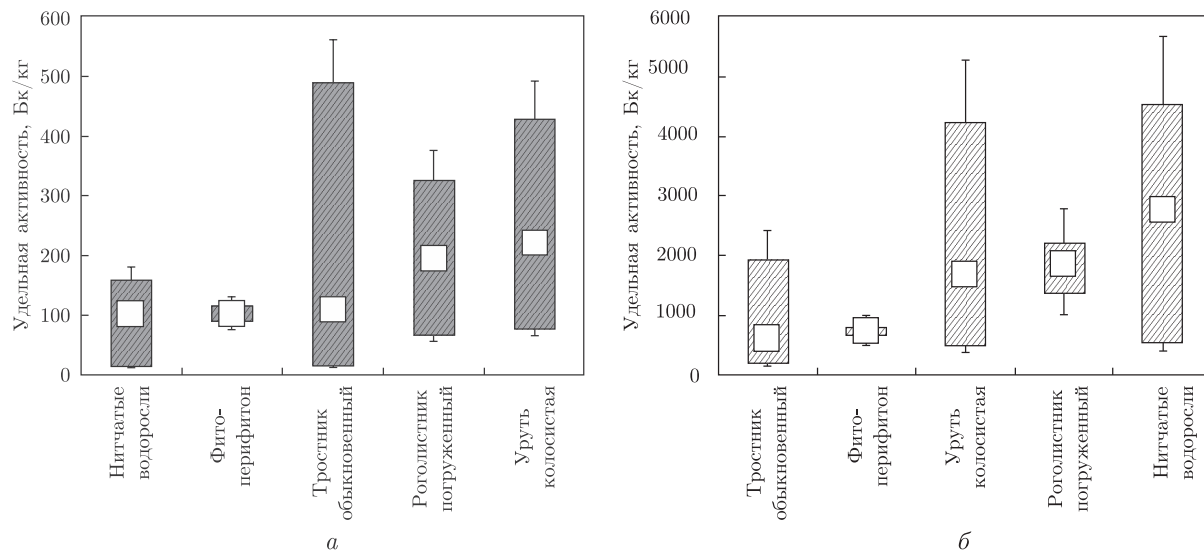


Рис. 1. Диапазоны и средние значения удельной активности  $^{90}\text{Sr}$  (а) и  $^{137}\text{Cs}$  (б) в водных растениях ВО в 2012–2013 гг.

экз./м<sup>2</sup>, биомасса — 1294,03–17781,94 г/м<sup>2</sup>. Общий разовый запас зооперифитона на каменной отсылке струенаправляющей дамбы составлял от 2,5 тыс. т в июле 2013 г. до 4,1 тыс. т в мае 2013 г.

Рыбное население ВО в доаварийный период состояло из 33 видов, относящихся к 7 семействам, среди которых самым большим видовым богатством отличалось семейство карповых (19 видов) [1]. Прочие семейства (окуневые, сомовые, щуковые и др.) были представлены 1–2 видами. Основная часть видов рыб попала в ВО из р. Припять и ее пойменной системы при сооружении водоема. Некоторые виды (белый и пестрый толстолобики, сом канальный, форель, большеротый буффало и др.) были заселены в ВО в 1983–1985 гг. с целью развития рыбоводства. Анализ видового состава рыбного населения, по данным [2], и встречаемости доминирующих видов на современном этапе, а также оценка продукционных характеристик основных кормовых объектов и использование материалов исследований на водоемах-аналогах позволили установить, что в настоящее время биомасса рыб ВО может колебаться в пределах 220–750 кг/га. Таким образом, предполагается, что общий запас рыбы ВО составляет от 500 до 1700 т.

Современный уровень и состав радионуклидного загрязнения водной биоты ВО обусловлены, в первую очередь, качественным и количественным составом радиоактивных веществ, поступивших в водоем и на территорию его водосбора в период активной фазы аварии на ЧАЭС в 1986 г., а также процессами их распределения в компонентах экосистемы водоема. Последующая динамика концентрирования радионуклидов водными организмами обусловлена преимущественно гидрохимическим и гидрологическим режимом ВО, а также интенсивностью процессов вторичного поступления радиоактивных веществ в водную толщу. Наиболее значимыми среди них являются трансформация в почвах водосборных территорий и донных отложениях водоема физико-химических форм радионуклидов и их вовлечение в биогеохимический круговорот, а также транспорт за пределы ВО.

Среди растительных организмов наиболее высокие удельные активности как  $^{90}\text{Sr}$ , так и  $^{137}\text{Cs}$ , отмечены для погруженных растений (рис. 1), которые имеют хорошо разветвлен-

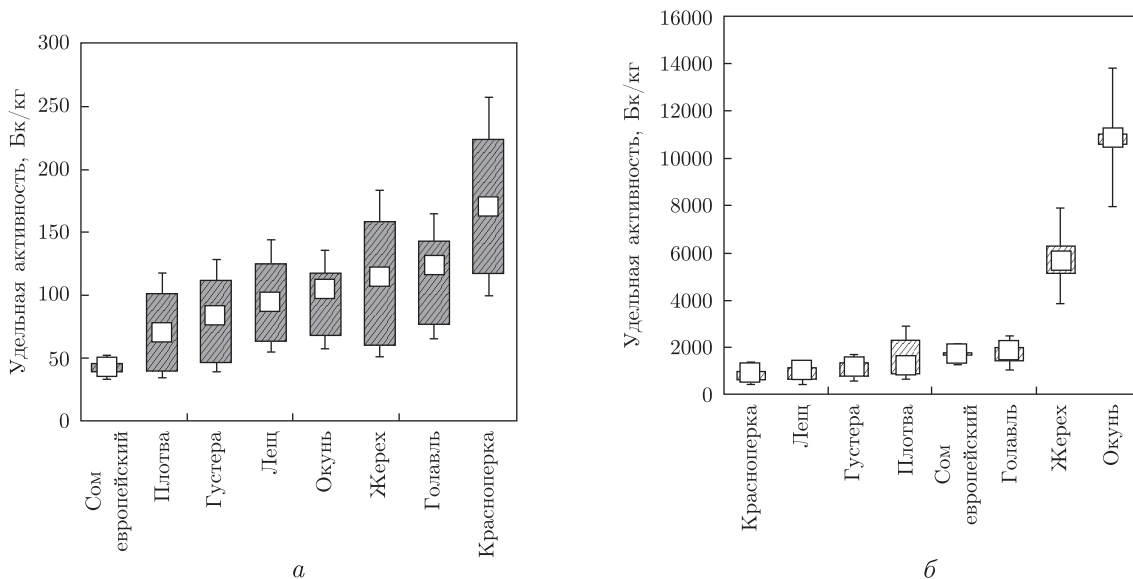


Рис. 2. Диапазоны и средние значения удельной активности  $^{90}\text{Sr}$  (а) и  $^{137}\text{Cs}$  (б) в рыбах ВО в 2012–2013 гг. \* — 1 экземпляр массой 12,7 кг

ные вегетативные органы и, соответственно, эффективную поверхность для сорбирования и аккумуляции радионуклидов. Также сравнительно высоким содержанием  $^{137}\text{Cs}$  характеризовались нитчатые водоросли и сообщества перифитона.

Двустворчатые моллюски традиционно характеризуются высоким содержанием  $^{90}\text{Sr}$ , накапливающимся, в первую очередь, в раковинах по химической аналогии с кальцием (табл. 1). Вызывает интерес высокая удельная активность радионуклидов в створках отмершей дрейссены, которые в значительных количествах сосредоточены в донных отложениях ВО и на их поверхности.

Средние значения удельной активности  $^{90}\text{Sr}$  для различных видов рыб были в пределах 43–171 Бк/кг (рис. 2). Средние значения содержания  $^{137}\text{Cs}$  у рыб ВО зарегистрированы в диапазоне 922–10 880 Бк/кг. Наибольшая удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  была присуща хищным видам, в среднем в 5 раз превышая аналогичные средние показатели для “мирных”. Рыбы ВО ЧАЭС традиционно демонстрируют выраженный “эффект трофических уровней” с наиболее интенсивной концентрацией  $^{137}\text{Cs}$  хищными видами. Минимальные активности  $^{137}\text{Cs}$  у “мирных” видов отмечены для красноперки и леща.

Распределение  $^{90}\text{Sr}$  по основным компонентам биоценоза ВО ЧАЭС показало, что преимущественное количество радионуклида находится в представителях зообентоса и зоопе-

Таблица 1. Удельная активность радионуклидов у моллюсков ВО в 2012–2013 гг., Бк/кг

Вид	$^{90}\text{Sr}$		$^{137}\text{Cs}$	
	Диапазон	Среднее	Диапазон	Среднее
Дрейссена (целиком)*	564–1371	880 ± 220	81–945	579 ± 245
Дрейссена (створки)**	1683–2415	2068 ± 257	485–1584	856 ± 480
Перловица ( <i>Unio pictorum</i> )	640–2818	1330 ± 744	166–260	231 ± 33
Беззубка ( <i>Anodonta cygnea</i> )	559–598	581 ± 14	123–524	323 ± 134

\* В пробах присутствовали два вида дрейссены — *D. bugensis* и *D. polymorpha*. \*\* Створки отмерших моллюсков.

рифитона (до 98%), а именно — в створках живых моллюсков дрейссены, а также в раковинах отмерших, значительная масса которых сосредоточена в донных отложениях (табл. 2). Около 1,6%  $^{90}\text{Sr}$  находится в макрофитах и менее одного процента распределено между сообществами зоо- и фитопланктона, фитоперифитона и рыбами ВО.

Распределению  $^{137}\text{Cs}$  присущ более равномерный характер, хотя основное его количество, как и в случае  $^{90}\text{Sr}$ , сосредоточено в организмах зообентоса и зооперифитона — около 70%. Однако при этом увеличилась доля  $^{137}\text{Cs}$  в других группировках гидробионтов ВО по сравнению со  $^{90}\text{Sr}$ : до 13,4% — в макрофитах, до 0,5 и 3,0%, соответственно, в фитоперифитоне и фитопланктоне, до 3,9% — в зоопланктоне и до 10,1% — в рыбах.

Таким образом, настоящие и предшествующие [2, 4–6] исследования позволяют заключить, что ВО ЧАЭС остается одним из наиболее загрязненных радионуклидами водоемов Чернобыльской зоны отчуждения, а также экологической системой, в которой сосредоточены большие запасы высших водных растений, фито- и зоопланктона, фито- и зооперифитона, зообентоса и рыб. Поскольку гидробионты являются эффективными концентраторами радионуклидов, то в настоящее время в биоте ВО содержатся значительные количества радиоактивных веществ, вовлеченных в биогеохимические циклы. Несмотря на относительно небольшую величину биомассы водных организмов, по сравнению с водной компонентой и донными отложениями, роль гидробионтов в биогеохимическом круговороте радионуклидов в экосистеме ВО может быть определяющей. На сегодняшний день разовый запас радионуклидов в гидробионтах ВО составляет около 46 ГБк  $^{90}\text{Sr}$  и 37 ГБк  $^{137}\text{Cs}$ .

После аварии на ЧАЭС наиболее быстрое снижение удельной активности радионуклидов в биоте ВО происходило до 1988 г., а к началу 1990-х динамические показатели содержания основных дозообразующих радионуклидов  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  вышли на сравнительно стабильный уровень [1, 4–7]. В последние 10–15 лет происходит продолжающееся постепенное снижение удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  на фоне относительной стабилизации этого показателя для  $^{90}\text{Sr}$  как в воде, так и в основных сообществах гидробионтов ВО.

В 2012–2013 гг. содержание  $^{137}\text{Cs}$  во всех выловленных особях рыб ВО продолжало значительно превышать санитарно-гигиенические допустимые уровни, согласно принятым

Таблица 2. Разовые запасы радионуклидов в компонентах биоценоза ВО ЧАЭС в 2012–2013 гг.

Группировки / Компонент	$^{90}\text{Sr}$		$^{137}\text{Cs}$	
	ГБк	%	ГБк	%
<i>Макрофиты</i>				
Воздушно-водные растения	0,619	1,36	3,430	10,22
Погруженные растения	0,113	0,24	0,865	2,58
Нитчатые водоросли	0,008	0,02	0,212	0,63
Всего	0,740	1,62	4,507	13,43
Фитоперифитон	0,021	0,05	0,152	0,45
Фитопланктон	0,011–0,025*	0,04**	0,606–1,375*	2,95**
Зоопланктон	0,018–0,199*	0,24**	0,224–2,420*	3,94**
Зообентос	14,890	32,50	9,797	29,19
Зооперифитон	3,246	7,08	2,349	7,00
Рыбы	0,050–0,172	0,24	1,544–5,262	10,14
Створки дрейссены***	26,677	58,23	11,042	32,90
Всего	45,653–45,970	100	30,221–36,904	100

\* Запасы радионуклидов для фито- и зоопланктона рассчитаны при помощи коэффициентов накопления из базы данных [4]. \*\* Расчет выполнен на основании усредненных данных за период исследований. \*\*\* Створки отмерших моллюсков.

в Украине нормативам для рыбной продукции [8] — в среднем в 20 раз, максимально зарегистрированное значение — в 74 раза. Содержание  $^{90}\text{Sr}$  также во всех случаях превышало допустимые уровни — в среднем в 3 раза, с максимальным показателем — более чем в 6 раз.

Мероприятия, связанные с выведением ВО из эксплуатации, приведут к изменению важнейших биотических и абиотических факторов водной среды, обеспечивающих необходимые условия существования водных организмов, формирование и функционирование их популяций, сообществ, биоценозов и экосистемы в целом. Одним из главных абиотических факторов, влияние которых будет определяющим, является снижение уровня воды, которое в первые годы приведет к неизбежному отмиранию значительного количества гидробионтов, в первую очередь фито- и зоообрастаний, а также высших водных растений. Это обусловит поступление в водоем органических веществ, деструкция которых потребует дополнительных расходов кислорода, а также изменение гидрохимического и гидробиологического режима. Соответственно, для минимизации избыточного поступления органических веществ и кислородного дефицита крайне важно поэтапное, контролируемое снижение уровня воды в ВО для обеспечения нормального функционирования экосистемы водоема и ее постепенной трансформации в водно-болотную экосистему.

Поскольку в настоящее время ВО не является водоемом, который имеет хозяйственное, техническое или другое целевое назначение, основными подходами при определении критериев экологического состояния водоема, подлежащих мониторингу при выведении его из эксплуатации, являются минимизация негативных последствий для водной экосистемы, которые могут привести к резкому ухудшению экологической ситуации в ВО и массовой гибели водных организмов, а также недопущение ухудшения санитарно-эпидемиологической ситуации в ВО и на прилегающих территориях.

В качестве значений экологического потенциала, т. е. комплекса критериев оценки экологического состояния водоема, по которым следует вести наблюдение и не допускать существенных изменений при выведении ВО из эксплуатации, следует выбрать показатели мезо-эвтрофного состояния по экологической классификации качества поверхностных вод суши [9]. Эти показатели состояния экосистемы ВО должны действовать по крайней мере первые 2–3 года в течение выведения водоема из эксплуатации. В дальнейшем при благоприятных условиях трансформации экосистемы ВО и изменении трофности водоема возможна корректировка некоторых санитарно-экологических критериев.

Считаем, что ВО ЧАЭС является уникальным гидробиологическим и радиоэкологическим полигоном, который может рассматриваться в качестве модельного водоема как для анализа и прогноза сукцессионных изменений, так и экстремальных последствий радиоактивного загрязнения водных экосистем, включая оценку влияния изменений гидрологического, гидрохимического и гидробиологического режима на биогенную трансформацию физико-химических форм радионуклидов при выведении водоема из эксплуатации. Особое внимание при этом должно быть уделено выявлению основных тенденций динамики накопления радионуклидов, формирования дозовых нагрузок и эффектам хронического радиационного воздействия у водных организмов.

*Авторы выражают признательность сотрудникам ГСП “Чернобыльская АЭС” и ГСП “Чернобыльский спецкомбинат” Государственного агентства по управлению зоной отчуждения, а также сотрудникам Института проблем безопасности атомных электростанций НАН Украины за содействие при выполнении исследований на ВО ЧАЭС.*

1. *Вовк П. С., Простантинов В. Е.* Состояние экосистемы пруда-охладителя ЧАЭС в условиях радиоактивного загрязнения. – Чернобыль, 1997. – 44 с.

2. Рябов И. Н. Радиоэкология рыб водоемов в зоне влияния аварии на Чернобыльской АЭС. – Москва: Т-во науч. изд. КМК, 2004. – 215 с.
3. ERICA Assessment Tool 1.0 (Version November 2012). The integrated approach seeks to combine exposure /dose/effect assessment with risk characterisation and managerial considerations (<http://www.ERICA-tool.com>).
4. Гудков Д. И., Каглян А. Е., Кленус В. Г., Назаров А. Б. Динамика содержания радионуклидов в высших водных растениях зоны отчуждения Чернобыльской АЭС // Наук. зап. Терноп. держ. пед. ун-ту. Сер. Біологія. Спец. вип. “Гідроєкологія”. – 2005. – № 3(26). – С. 114–117.
5. Гудков Д. И., Каглян А. Е., Назаров А. Б., Кленус В. Г. Динамика содержания и распределение основных дозобразующих радионуклидов у рыб зоны отчуждения Чернобыльской АЭС // Гидробиол. журн. – 2008. – 44, № 3. – С. 95–113.
6. Гудков Д. И., Назаров А. Б., Дзюбенко Е. В. и др. Радиоэкологические исследования пресноводных моллюсков в Чернобыльской зоне отчуждения // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2009. – 49, № 6. – С. 703–713.
7. Лукашов Д. В., Вовк П. С. Екологія та радіоекологія двостулкових моллюсків водойми-охолоджувача ЧАЕС. – Чорнобиль, 1999. – 67 с.
8. Допустимі рівні вмісту радіонуклідів  $^{137}\text{Cs}$  і  $^{90}\text{Sr}$  у продуктах харчування та питній воді (ДР-97). – Київ, 1997. – 38 с.
9. Романенко В. Д., Жукінський В. М., Оксіюк О. П. та ін. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями. – Київ: Символ-Т, 1998. – 28 с.

*Институт гидробиологии НАН Украины, Киев*

*Поступило в редакцию 08.05.2014*

**Д. І. Гудков, О. О. Протасов, В. І. Щербак, Т. М. Дьяченко, О. Є. Каглян,  
А. А. Силаєва, О. В. Пашкова**

### **Сучасний гідробіологічний і радіоекологічний стан водойми-охолоджувача Чорнобильської АЕС**

*Впродовж 2012–2013 рр. виконано дослідження якісного та кількісного складу угруповань макрофітів, фіто- і зоопланктону, фіто- і зооперифітону, зообентосу, а також риб водойми-охолоджувача Чорнобильської АЕС. Проаналізовано рівні радіонуклідного забруднення та оцінено разові запаси радіонуклідів в основних компонентах екосистеми водойми в період, що передуює його виведенню з експлуатації.*

**D. I. Gudkov, A. A. Protasov, V. I. Scherbak, T. N. Dyachenko, A. E. Kaglyan,  
A. A. Syllaieva, O. V. Pashkova**

### **Current hydrobiological and radioecological state of the Chernobyl NPP cooling pond**

*During 2012–2013, the research of the qualitative and quantitative compositions of macrophyte, phyto- and zooplankton, phyto- and zooperiphyton, zoobenthos, and fish communities of the Chernobyl NPP cooling pond was conducted. The levels of radioactive contamination and the assessment of single radionuclide stocks in the main components of the cooling pond's ecosystem in the period preceding its decommissioning are analyzed.*