

УДК 574.63:628.394.17:594.1

ОЦЕНКА РОЛИ ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ В ПРОЦЕССАХ БИОГЕННОЙ МИГРАЦИИ РАДИОНУКЛИДОВ В ПРЕСНОВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ: НА ПРИМЕРЕ ВОДОЕМА-ОХЛАДИТЕЛЯ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

Лукашев Д. В.

В результате аварии на ЧАЭС произошло радиоактивное загрязнение обширных водосборных территорий крупных полесских рек (Днепр, Припять, Уж). В результате смыва радиоактивных элементов данными водотоками происходит постоянное поступление радионуклидов в систему каскада водохранилищ Днепра. Пресноводные двустворчатые моллюски, имеющие крупную карбонатную раковину характеризуются наибольшими среди гидробионтов коэффициентами накопления таких радионуклидов как ^{90}Sr . В бентосе и перифитоне двустворчатые моллюски могут составлять до 70% общей биомассы беспозвоночных. При наличии благоприятных условий некоторые виды способны образовывать поселения плотностью до 50 кг/м^2 .

Для проведения исследований был выбран водоем-охладитель ЧАЭС по причине наличия массового развития двустворчатых моллюсков, значительных концентраций радионуклидов в различных компонентах его экосистемы, известных гидрологических и гидрохимических условиях водоема. Кроме того, данный водоем является единственным, для которого проведена оценка общего количества радионуклидов, поступивших во время аварии – $55,5 \times 10^{12}$ – $16,65 \times 10^{13}$ Бк ^{137}Cs и $55,5 \times 10^{12}$ – $74,0 \times 10^{12}$ Бк ^{90}Sr [1].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили в 1998-2000 гг. на водоеме-охладителе ЧАЭС. Описание гидрологического и гидрохимического режимов данного водоема содержится в опубликованных работах [2]. Моллюсков рода *Dreissena* собирали на 27 постоянных станциях при помощи дночерпателя (16×16 см) или скребка. Моллюсков семейства Unionidae собирали вручную с учетом площади. Определяли видовой состав моллюсков в поселениях, размерную и возрастную структуры.

Определение фильтрационной активности моллюсков проводили методом весового учета количества осажденной взвеси в конусах [3].

Концентрацию ^{137}Cs определяли методом γ -спектрометрии на полупроводниковом детекторе Canberra Well GCW2022-7500SL (55 × 58 мм) на счетном устройстве EG&G ORTEC OMNIGAM. Содержание ^{90}Sr определяли по

активности дочернего Y^{90} на жидкостно-синтиляционном счетчике "1220-Quantulus" после предварительного радиохимического выделения.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В водоеме-охладителе ЧАЭС нами отмечено 8 видов моллюсков, относимых к двум отрядам – Venerida (*Dreissena bugensis*, *D. polymorpha*) и Unionida (*Unio tumidus falcatus*, *U. conus borysthenicus*, *U. pictorum ponderosus*, *U. limosus graniger*, *U. rostratus*, *Colletopterum piscinale*). За период проведения работ в поселениях дрейссены было отмечено доминирование моллюсков *D. bugensis*, а в поселениях унионид – *U. conus* и *U. pictorum*. Биомасса поселений моллюсков рода *Dreissena* летом 2000 г. колебалась от 1668 (район сброса) до 21417 г/м² (район водозабора). Наиболее плотные поселения этих моллюсков были приурочены к не обогреваемой части водоема. Непосредственно в районе сброса отработанных теплых вод энергоблока ЧАЭС на протяжении исследований данные моллюски отсутствовали или были малочисленны. Средняя биомасса моллюсков *Dreissena* в перифитонных и бентосных поселениях летом 2000 г. составляла 12482±3385 и 5716±1180 г/м² соответственно. Площадь этих биотопов, где отмечали постоянные поселения этих моллюсков, составляла 1,02 км² для перифитона и 5,86 км² для бентоса. Отсюда, общие запасы дрейссены в водоеме-охладителе летом 2000 г. оценивались в 48,0±7,7 тыс. т. В донных поселениях было сосредоточено 70% всей биомассы дрейссены. Причем 82% биомассы поселений этих моллюсков находится на не обогреваемой части водоема.

Поселения унионид приурочены к заиленным пескам на глубине 1–5 м, тянущихся по периметру водоема вдоль берега. Плотность поселений моллюсков семейства Unionidae в различных районах водоема более однородна и колебалась от 397 до 1000 г/м². Средняя биомасса этих моллюсков летом 2000 г. составляла 443±250 г/м². Общая площадь, которую занимают униониды в водоеме-охладителе, составляет примерно 1,6 км². Отсюда, общие запасы унионид в водоеме-охладителе летом 2000 г. составляли 0,71±0.30 тыс. т.

Таким образом, в водоеме-охладителе ЧАЭС летом 2000 г. находилось около 49 тыс. т моллюсков. Данная оценка дана без учета ежегодной динамики прироста и убыли биомассы моллюсков. Известно, что среднегодовые общие запасы моллюсков в водоеме-охладителе первой очереди строительства в 1981 г. (площадь зеркала в 2 раза меньше современной) составляли 463–531 т, а прирост и убыль за год составляли 20,0 и 21,2 тыс. т соответственно [2]. Таким образом, полученное значение летней биомассы моллюсков является приближенным. На протяжении года в водоеме обитает во много раз большая биомасса моллюсков.

Концентрацию ^{90}Sr определяли в раковинах моллюсков отдельно от мягких тканей, так как данный радионуклид преимущественно накапливается в карбонатных структурах [4]. Содержание радионуклидов в моллюсках из различных районов водоема-охладителя сильно отличается. Причем экстремальные показатели концентрации ^{137}Cs в моллюсках не совпадают с таковыми для ^{90}Sr .

Можно видеть, что на накопление радионуклидов влияет характер биотопа (табл. 1).

Зная запасы массовых видов моллюсков в водоеме-охладителе, можно оценить количество аккумулированных ими радионуклидов. Запас радионуклидов рассчитывали исходя из того, что раковина в среднем составляет около 50% общей массы тела особи (от 30% для *C. piscinale*, до 56% для *U. pictorum*). По нашим оценкам летом 2000 г. в мягких тканях двустворчатых моллюсков было накоплено $2,82 \times 10^{10} \pm 1,03 \times 10^{10}$ Бк ^{137}Cs и $7,75 \times 10^8 \pm 1,68 \times 10^8$ Бк ^{90}Sr , что соответственно составляет 0,02–0,05% общего количества радиоцезия и 0,001% общего количества радиостронция, поступивших в экосистему водоема во время аварии. В раковинах моллюсков было депонировано около $8,75 \times 10^{10} \pm 8,76 \times 10^9$ Бк ^{90}Sr , что составляет 0,12 – 0,16% от его общих запасов в водоеме.

Таблица 1

Среднее содержание радионуклидов (Бк/кг) в моллюсках рода *Dreissena* и семейства Unionidae в различных биотопах водоема-охладителя ЧАЭС, 2000 г.

Биотоп	Мягкие ткани				Раковина	
	^{137}Cs	±	^{90}Sr	±	^{90}Sr	±
<i>Dreissena</i>						
Перифитон	779	196	35,6	14,9	3155	315
Бентос	1079	264	31,1	4,1	3674	362
Unionidae						
Прибрежная полоса	1289	126	78,3	12,0	6928	1243

Однако после отмирания особей мягкие ткани достаточно быстро разлагаются и радионуклиды, накопленные в них, снова поступают в воду. По этой причине лишь аккумулированные в карбонатных створках радионуклиды депонируются в донных отложениях и могут выводиться на достаточно долгое время из интенсивного круговорота.

Седиментация двустворчатыми моллюсками включает в себя два процесса: активное извлечение взвесей при пропускании воды через фильтрационный аппарат и ускорения гравитационной седиментации взвесей благодаря выделению в воду флокулирующих веществ. Мы объединяем оба эти процесса в понятие "седиментационная активность".

Количество седиментированного моллюсками вещества водоема-охладителе в течение вегетационного сезона значительно колеблется. На интенсивность фильтрации влияют такие факторы, как температура воды, состав и концентрация взвесей в воде. Кроме сезонной динамики седиментационной активности моллюсков нами были отмечены значительные суточные колебания количества осаждаемой взвеси. Скорость осаднения взвеси моллюсками рода *Dreissena* колебалась от 0,0016 до 0,0103 г взвеси на 1 г живой массы особей за сутки и в среднем за вегетационные сезоны 1999-2000 гг. составила $0,0029 \pm 0,0009$ г/г×сут. Скорость седиментации моллюсками семейства Unionidae, относящихся к разным

видам, была близка и колебалась в течение вегетационных сезонов 1999–2000 гг. от 0,0002 до 0,0021 г/г×сут. В среднем седиментационная активность этих моллюсков составляла $0,0005 \pm 0,00001$ г/г×сут.

Таким образом, поселение дрейссены в перифитоне с 1 м^2 с биомассой 12482 г за сутки в среднем за сезон отфильтровывает $36,2 \pm 3,0$ г взвеси. Все поселения моллюсков рода *Dreissena* за сутки седиментировали из воды $139,2 \pm 22,3$ т взвесей, поселения моллюсков семейства Unionidae – $350,0 \pm 13,6$ кг. За вегетационный сезон 2000 г. двустворчатые моллюски водоема-охладителя ЧАЭС могли седиментировать $27,7 \pm 4,7$ тыс т взвесей. Если считать, что темпы седиментации взвесей моллюсками за последние годы были неизменными, то можно предположить, что за послеаварийный период этими гидробионтами было переведено в донные отложения более $387 \pm 65,8$ тыс. т взвешенного вещества.

Как взвеси, так и седиментированные моллюсками осадки, характеризовались высокими уровнями содержания радионуклидов. Среднее содержание ^{137}Cs в седиментированных осадках летом 2000 г. составляло $229,4 \pm 34,4$ кБк/кг, а ^{90}Sr – $58,0 \pm 2,9$ кБк/кг. Значительная концентрация радиоцезия связана с процессами адсорбции на тонких взвесьях, причем сорбированный коллоидами ^{137}Cs определяет до 70% радиоактивности воды в природных водоемах [5]. Содержание радионуклидов в осажденных моллюсками взвесьях тесно коррелировало с содержанием радионуклидов в водных взвесьях. Таким образом, прохождение сестона через фильтрационный аппарат моллюсков не влияет на его радионуклидный состав.

Если взять за основу полученную величину седиментационной активности моллюсков в водоеме-охладителе за последние годы, то можно оценить количество радионуклидов, которые осаждаются вместе с взвесьями и депонируются в донных осадках. За вегетационный сезон 2000 г. двустворчатые моллюски могли перевести в донные отложения в виде нерастворимых осадков около $6,36 \times 10^{12} \pm 1,08 \times 10^{12}$ Бк ^{137}Cs и $1,61 \times 10^{12} \pm 2,73 \times 10^{11}$ Бк ^{90}Sr , что составляет 3,8 – 11,5% общего радиоцезия и 2,2 – 2,9% общего радиостронция от общего количества этих радионуклидов в экосистеме водоема. Можно предположить, что за 14 лет после аварии моллюски могли седиментировать около $9,0 \times 10^{13}$ Бк ^{137}Cs и $2,3 \times 10^{13}$ Бк ^{90}Sr (предполагая, что параметры популяций моллюсков находились на современном уровне). Таким образом, количество радиоцезия, которое могло поступить в донные отложения за это время составляет около 50%, а радиостронция – 35% от общих запасов этих радионуклидов.

Отсюда видно, что влияние двустворчатых моллюсков на интенсификацию процессов поступления радионуклидов в донные отложения в условиях пресноводных экосистем может быть значительным. Естественно все наши оценки носят лишь приближенный характер, так как не учитывают процессов растворения раковин под действием слабокислых донных растворов, процессов перекристаллизации арагонита створок, ресуспендирования донных отложений под действием как биотических, так и абиотических факторов.

ВЫВОДЫ

1. В водоеме-охладителе ЧАЭС отмечено 8 видов двустворчатых моллюсков.
2. Общие запасы дрейссены летом 2000 г. в водоеме-охладителе составляли $48,0 \pm 7,7$ тыс. т, унионид – $0,71 \pm 0,30$ тыс. т.
3. В мягких тканях двустворчатых моллюсков (дрейссена и униониды) в 2000 г. было накоплено $2,82 \times 10^{10} \pm 1,03 \times 10^{10}$ Бк ^{137}Cs и $7,75 \times 10^8 \pm 1,68 \times 10^8$ Бк ^{90}Sr . В раковинах было депонировано около $8,75 \times 10^{10} \pm 8,76 \times 10^9$ Бк ^{90}Sr .
4. За вегетационный сезон 2000 г. двустворчатые моллюски водоема-охладителя ЧАЭС могли перевести в донные отложения $27,7 \pm 4,7$ тыс т взвесей в которых содержалось $6,36 \times 10^{12} \pm 1,08 \times 10^{12}$ Бк ^{137}Cs и $1,61 \times 10^{12} \pm 2,73 \times 10^{11}$ Бк ^{90}Sr .

Список литературы

1. Кузменко М. И. Радиоэкологические проблемы водоемов Украины // Гидробиол. журн. – 1998. – Т. 34, № 6. – С. 95-119.
2. Протасов А. А., Сергеева О. А., Кошелева С. И. и др. Гидробиология водоемов-охладителей тепловых и атомных электростанций Украины. – К.: Наук. думка, 1991. – 192 с.
3. Stanczykowska A. Ecology of *Dreissena polymorpha* (Pall.) (Bivalvia) in lakes // Pol. Arch. Hydrobiol. – 1977. – Vol. 24, № 4. – P. 461-530.
4. Лукашов Д. В. Особливості накопичення радіонуклідів прісноводними двостулковими молюсками у водоймі-охолоджувачі ЧАЕС // Вісн. Київ. нац. ун-ту. Біологія. – 2000. – Вип. 32. – С. 58–59.
5. Каглян А. Е., Паньков И. В., Волкова Е. Н. Радиоэкологические исследования экосистем верхнего Днепра // Гидробиол. журн. – 1992. – Т. 28, № 3. – С. 98-101.