

УДК [574.587 + 574.586] (285) (574.56)

А. А. Силаева, А. А. Протасов

**ХАРАКТЕРИСТИКА ГРУППИРОВОК  
БЕСПОЗВОНОЧНЫХ БЕНТОСА И ПЕРИФИТОНА  
ВОДОЕМА-ОХЛАДИТЕЛЯ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС  
ПЕРЕД ВЫВОДОМ ЕГО ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

В статье представлены результаты исследований зообентоса и зооперифитона водоема-охладителя Чернобыльской АЭС в 2012—2013 гг., проведенных в связи с его выводом из эксплуатации и спуском, начавшимся с 2014 г. Контурные группировки в период 2012—2013 гг. были относительно стабильны по составу и количественно. В определенной степени сохранилась ценотическая структура, существовавшая ранее при влиянии сброса подогретой воды: в частности, в зообентосе — поясное распределение поселений дрейссены на глубине 3 и 5 м, концентрирование поселений дрейссены в зооперифитоне на каменной отсыпке направительной дамбы.

**Ключевые слова:** зообентос, зооперифитон, техноэкосистема, водоем-охладитель, сообщество, запас зообентоса, запас зооперифитона.

Водоем-охладитель (ВО) Чернобыльской АЭС (ЧАЭС) является уникальным гидробиологическим и радиоэкологическим объектом, который может выступать модельным для исследований, анализа и прогноза сукцессионных изменений, связанных с трансформацией техногенных водоемов. Прекращение работы ЧАЭС в энергогенерирующем режиме в конце 2000 г. позволило вывести из эксплуатации большую часть систем, для функционирования которых необходима подача технической воды, в целом был существенно сокращен объем водопотребления станции. Однако ВО оставался частью техноэкосистемы, хотя и в «посттехногенной» фазе — его вода использовалась на нужды ЧАЭС, поддержание уровня воды (на 7 м выше р. Припять) требовало постоянного пополнения.

По многим техническим и экономическим причинам в 2008 г. в соответствии с «Програмою зняття з експлуатації Чорнобильської АЕС» было принято решение о выведении из эксплуатации и спуске ВО. Примеров и аналогов подобных мероприятий на охладителях такого размера и степени загрязнения, информации о трансформации экосистемы техногенного водоема в условиях искусственного снижения уровня воды нет.

Для решения задач по спуску ВО с участием авторов было разработано технико-экономическое обоснование (ТЭО), в рамках которого проведены

© А. А. Силаева, А. А. Протасов, 2017

гидробиологические исследования, в частности зообентоса и зооперифитона. ТЭО предусматривало решение вопросов радиационной и экологической безопасности, была разработана программа радиационно-экологического мониторинга. Целью ТЭО являлось безопасное прекращение использования ВО как «технологического объекта» АЭС и создание условий для формирования на месте акватории новых наземных и водных экосистем [10].

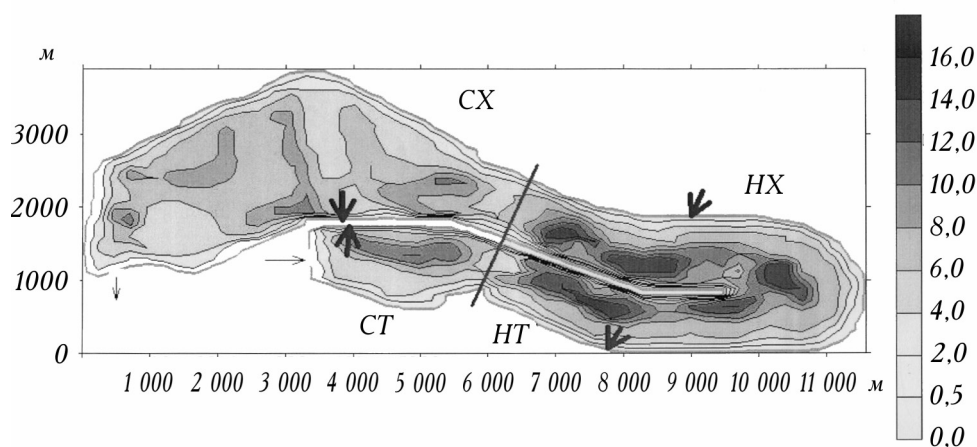
Снижение уровня воды в ВО является одним из важных факторов, влияющих на трансформацию его экосистемы. Этот процесс при неуправляемых условиях может привести к негативным последствиям — массовой гибели гидробионтов, замедлению темпов зарастания растительностью осушенных территорий, повышению трофности, заморным явлениям на оставшейся акватории, ухудшению радиационных и санитарно-эпидемиологических условий прилегающих территорий и др. Для уменьшения негативных последствий спуска в рамках ТЭО было предложено поэтапное контролируемое снижение уровня с шагом 0,5 м, с поэтапным контролем состояния ВО, возможностью коррекции режима снижения, вплоть до его прекращения на основе данных мониторинга.

Однако в 2014 г. после отключения насосов подкачки, начался неконтролируемый спуск ВО, который происходит в настоящее время за счет фильтрации воды через песчаную дамбу и испарения. Поскольку в период спуска происходит отмирание прикрепленных и малоподвижных организмов, особое значение имела оценка состояния беспозвоночных контурных группировок [7].

Комплексные гидробиологические исследования ВО ЧАЭС начались практически с начала функционирования станции (с 1978 г.). Детальные исследования контурных группировок (зообентоса и зооперифитона) показали их значительную динамичность [2, 7]. Бенталь ВО является пространственно сложным биотопом — рельеф дна неровный с многочисленными углублениями, около 28% приходилось на глубины более 10 м (рис. 1). Донные отложения представлены песками, супесями и суглинками, в глубоких замкнутых впадинах преобладали глинистые илы. Биотопы группировок перифитона имели в основном техногенную природу — каменное укрепление берегов, струеразделительной и струенаправительной дамб.

Целью данной работы было: дать характеристику группировок беспозвоночных бентоса и перифитона ВО ЧАЭС в период, предшествовавший его выведению из эксплуатации и спуску, определение изменений, произошедших за 10-летний период (с 2002 г.).

**Материал и методика исследований.** Исследования контурных группировок — зообентоса и зооперифитона ВО, как и ранее, проводили в условно выделенных зонах по ходу бывшего циркуляционного потока: «старая теплая» (СТ) — северо-восточная часть, участок прилегающий к отводящему каналу, «новая теплая» (НТ) — юго-восточная часть, участок второй очереди, далее по ходу бывшего подогретого потока — «новая холодная» (НХ), юго-западная часть, «старая холодная» (СХ) — северо-западная часть, при-



1. Карта-схема водоема-охладителя Чернобыльской АЭС с указанием зон (см. в тексте). Прямая линия условно отделяет части ВО первой и второй очереди. Стрелками отмечены трансекты исследования зообентоса.

легающая к водозабору [13, 14]. Вдоль водоема по его центру построена струенаправительная дамба (СНД), которая делит ВО на две зоны — бывшую «теплую» и «холодную».

Пробы зообентоса и зооперифитона отбирали на протяжении трех сезонов: осенью 2012 г., весной и летом 2013 г. В конце ноября 2012 г. пробы зообентоса были отобраны на двух трансектах в зоне СХ и СТ, в мае и июле 2013 г. — во всех четырех зонах водоема на глубине от уреза воды до 10 м (см. рис. 1). Зообентос «старой» зоны отбирали с каменной отсыпки СНД, «новой» — с берега. Зооперифитон на каменном субстрате (эпилитон) СНД отбирали с глубины 0,5 и 2,0 м. Также исследовали зооперифитон на тростнике обыкновенном (*Phragmites australis* L.) (эпифитон), пробы отбирали вместе с фрагментами стеблей. Зообентос отбирали с помощью дночерпателя СДЧ-250, на мелководных прибрежных участках — с помощью проотборника БЦР [6]. При отборе проб использовали общепринятые методы [4].

При отсутствии сброса подогретых вод температура ВО не отличается от такой природных водоемов. В период исследований зоны ВО различались по температурному режиму незначительно. В ноябре температура воды на разных глубинах составляла 4,4—5,2, в мае — 18,2—20,2, в июле — 22,0—23,8°C. Разница между поверхностной и придонной (до 10 м) температурой достигала 2,0°.

При описании таксономического состава беспозвоночных использовали термин «НОТ» — низший определенный таксон [1], при этом более 70% их идентифицировано до видового ранга. Сходство состава беспозвоночных устанавливали с помощью кластерного анализа [12], по индексам Смирнова [9], Серенсена, Чекановского — Серенсена (в количественной модификации) [5]. Оригинальность фаунистического комплекса (по Смирнову) считали высокой при условии  $t_{xx} > 100$ . В доминирующий комплекс зообентоса и

зооперифитона входили таксоны, доля которых в общих показателях обилия составляла более 50%. Для оценки уровня развития зообентоса и зооперифитона использовали градации значений показателей (численность, общая биомасса), представленные в [4]. Деструкцию рассчитывали с использованием компьютерной программы WaCo, в которой используются формулы зависимости дыхания от массы [4, 15]. Вторичная продукция рассчитана на основании коэффициента  $K_2$ , использовали значение коэффициента 0,26 [11]. Оценку качества среды проводили в соответствии с эколого-санитарными критериями [4].

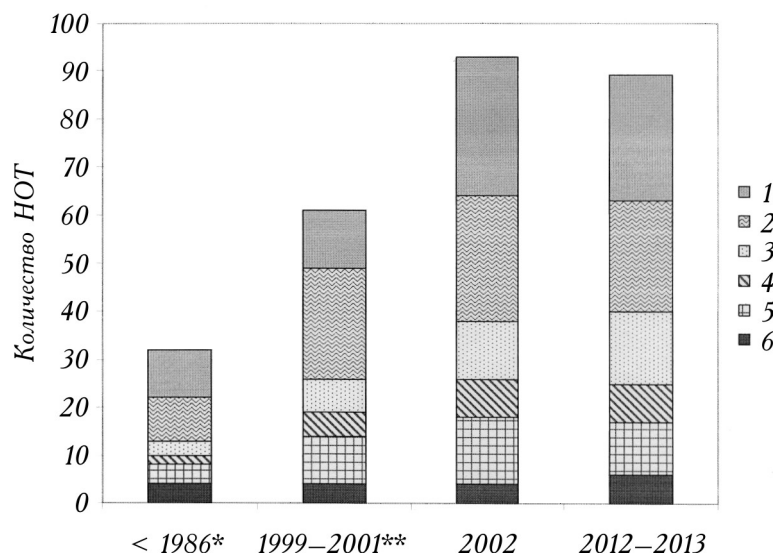
### Результаты исследований и их обсуждение

Зообентос ВО ЧАЭС был достаточно богат — выявлено 89 НОТ беспозвоночных из 16 групп. По количеству таксонов доминировали Oligochaeta (26 НОТ) и Chironomidae (23 НОТ), отличительной чертой зообентоса ВО ЧАЭС является значительное богатство Crustacea (15 НОТ). Ракообразные были приурочены не только к поселениям дрейсены, мизиды, корофииды и гаммариды встречались и на прибрежных песчаных участках. Определено 6 НОТ Bivalvia, по 5 — Trichoptera и Gastropoda, 3 — Hirudinea, 2 — Ephemeroptera, а также гидры, нематоды, клещи, другие Diptera. Подтверждено обитание в ВО вселенца *Ferrissia* sp. [16], моллюск встречался на литоральных участках (глубина 0,5—3,0 м) не только среди поселений дрейссенид, но и на песчаных грунтах. В зообентосе зарегистрировано два вида дрейссенид — *Dreissena polymorpha* Pall. и *D. bugensis* Andr.

«Холодная» и «теплая» зоны водоема мало различались по количеству НОТ и групп, как в пространственном, так и в сезонном аспектах, по результатам кластерного анализа сходство составило более 50%. Основными группами, определявшими таксономическое богатство, были олигохеты и личинки хирономид (их доля в среднем составляла соответственно 31 и 29% общего количества), в меньшей степени — ракообразные (17%) (рис. 2). Таксономическое богатство зообентоса снижалось с глубиной (рис. 3), а наибольшее количество НОТ характерно для участков литорали, в частности для глубины 1 м. В целом распределение таксонов в группах было относительно равномерным — индекс Шеннона составлял в среднем 2,4 бит/таксон. На отдельных станциях количество таксонов также было достаточно высоким — 19 НОТ/станцию.

От уреза до глубины 0,5 м дрейссениды встречались единично или локальными полосами (СТ), на глубине 1 м в зонах НТ, НХ и СХ отмечены поселения *D. bugensis* и *D. polymorpha* в виде друз на песке и на поверхности раковин двустворчатых моллюсков р. *Anodonta*, основные (массовые) поселения дрейссенид характерны для глубины 3—5 м.

В многолетнем аспекте количество таксонов зообентоса ВО увеличивалось от 29—32 в доаварийный период [2] до 61 таксона в 1999—2001 гг. и 93 в 2002 г. [14] (см. рис. 2). То есть, к 2002 г. количество НОТ увеличилось в три раза относительно доаварийного периода, таксономическое богатство после снятия техногенной нагрузки возросло и за последние 10 лет сохраняется на одном уровне. За период 2002—2013 гг. таксономическая структура была

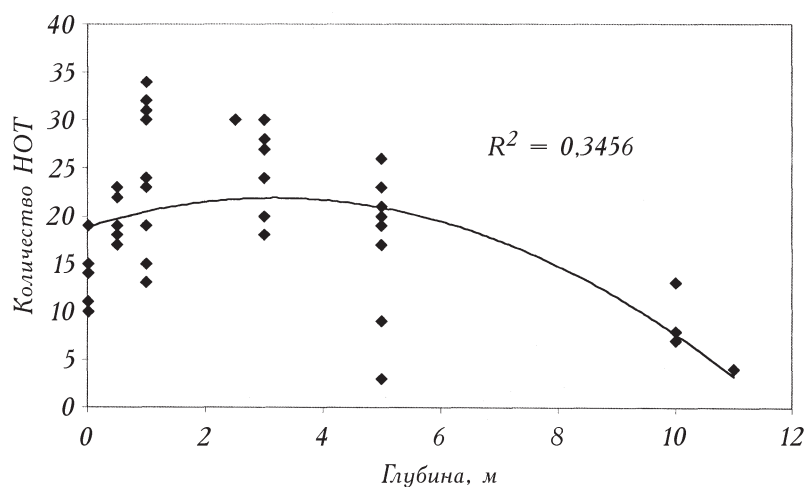


2. Таксономическая структура зообентоса водоема-охладителя ЧАЭС в разные годы (\* по [2], \*\* по [3]). Здесь и на рис. 5: 1 — Oligochaeta; 2 — Chironomidae; 3 — Crustacea; 4 — другие Insecta; 5 — Mollusca; 6 — прочие.

стабильной, сходство состава НОТ зон ВО по индексу Серенсена составляло более 0,5, зоны высокой оригинальностью не отличались (индекс Смирнова был равен 52—113). Доминирование Oligochaeta и Chironomidae сохранялось на протяжении последних лет, их доля в общем количестве НОТ составляла в среднем около 30%. Можно отметить сокращение количества видов брюхоногих моллюсков и двустворчатых моллюсков сем. Cykladidae к 2013 г.

Количественные показатели зообентоса в 2012—2013 гг. на разных станциях значительно различались (табл. 1): численность — от 960 до 57 480 экз/м<sup>2</sup>, биомасса — от 0,43 до 9148,52 г/м<sup>2</sup>, биомасса «мягкого» (без моллюсков) зообентоса — 0,43—50,37 г/м<sup>2</sup>. В целом численность определяли Dreissenidae, Oligochaeta, Chironomidae и Gammaridae. По биомассе доминировала *D. bugensis* (от 90 до 99%), в «мягком» зообентосе — Gammaridae, Chironomidae, Corophiidae и Oligochaeta (см. табл. 1).

Мелководные прибрежные песчаные участки (без учета поселений дрейссены) характеризовались уровнем развития «выше среднего» (по численности) и «очень низким» (по биомассе). По численности доминировали олигохеты *Pristina aequisetata* Bourne, по биомассе — сем. Enchytraeidae. Локально на мелководьях (зона НТ) дрейссена обитала в виде друз с биомассой около 600 г/м<sup>2</sup>. На мелководьях в южной части ВО (глубина до 0,5 м) в донных биотопах отмечены двустворчатые моллюски р. *Unio* с друзьями дрейссены на поверхности раковины. Численность таких перловицевых составляла около 11 экз. на 36 м<sup>2</sup> (0,31 экз/м<sup>2</sup>), биомасса — 1045 г на 36 м<sup>2</sup> (29,03 г/м<sup>2</sup>).



3. Зависимость таксономического богатства зообентоса от глубины в ВО ЧАЭС, 2012—2013 гг.

Локально в зоне СТ на глубине 0,5—1,0 м отмечена полоса дрейссены шириной 1,5—3,0 м с высокими количественными показателями (46,0 тыс. экз/м<sup>2</sup> и до 4,6 кг/м<sup>2</sup> (ноябрь)). На этом участке среди видов-консортов основу численности в почти равных долях составляли корофииды, личинки хирономид и олигохеты нескольких видов (соответственно 27, 24 и 22% общей). Биомассу консортов составляли гаммариды и корофииды (соответственно 32 и 31% общей), а биомассу всего зообентоса здесь определяла дрейссена, ее доля составляла 99%. Подобные по количественным показателям участки отмечены в зоне НТ (май) на глубине 1 м (56,7 тыс. экз/м<sup>2</sup> и 4,5 кг/м<sup>2</sup>).

Как и в предыдущие периоды исследований, на глубине 10 и более метров зообентос имел невысокие показатели обилия с доминированием *S. plutosus* по биомассе (67% общей), тубифицид (39%) и нематод (27%) — по численности. Уровень развития оценивали как «средний» по численности и «низкий» по биомассе.

Основные поселения дрейссены в зообентосе, как и ранее, были локализованы на глубине 3,0 и 5,0 м (зоны НТ, СТ, СХ) и по показателям обилия достигали уровня развития «очень высокий». Так, в «холодной» зоне ВО на глубине 3,0 и 5,0 м биомасса зообентоса в июле достигала соответственно 11 022,92 г/м<sup>2</sup> (СХ) и 9132,40 г/м<sup>2</sup> (НХ). В «теплой» зоне на глубине 5,0 м биомасса дрейссены была значительно ниже — 958,52 г/м<sup>2</sup> (СТ), а на глубине 3,0 м этот моллюск не отмечен.

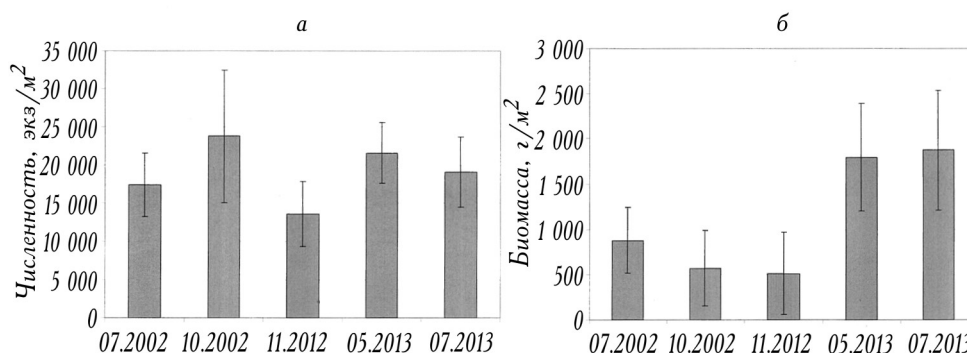
В зообентосе в общих поселениях по количественным показателям *D. bu-gensis* преобладала над *D. polymorpha*. Доля первого вида в численности обоих составила 90%, в биомассе — 98%. Нужно отметить, что в поселениях дрейссены в ноябре регистрировали осевших велигеров, что может свидетельствовать о вероятности наличия двух пиков ее размножения в ВО ЧАЭС.

1. Количественные показатели зообентоса в зонах водоема-охладителя ЧАЭС, 2012 и 2013 гг.

Зоны	Количество НОТ	N	Доминанты по N (%)	B	V «мягкого» зообентоса	Доминанты по V «мягкого» зообентоса (%)
Ноябрь, 2012 г.						
СТ	53	17 807 ± 6545	Chironomidae + Ostracoda + Corophiidae (27 + 13 + 11)	826,53 ± 758,59	16,14 ± 5,82	Gammaridae + Chironomidae (47 + 30)
СХ	25	7280 ± 1958	Nematoda + Enchytraeidae + <i>C. curvispinum</i> (27 + 18 + 13)	44,20 ± 39,18	2,40 ± 0,48	Chironomidae + Corophiidae (33 + 20)
Май, 2013 г.						
СТ	43	21 728 ± 7485	<i>D. bugensis</i> + <i>C. silvestris</i> + Ostracoda (25 + 22 + 18)	1300,37 ± 1289,91	3,95 ± 0,74	Chironomidae + Tubificidae (43 + 18)
НТ	45	14 816 ± 10 038	Dreissenidae + Gammaridae (31 + 24)	906,47 ± 900,99	14,43 ± 9,65	Gammaridae (61)
НХ	47	28 910 ± 6244	Dreissenidae (50)	3143,58 ± 1416,56	12,85 ± 3,90	Gammaridae (54)
СХ	46	22 450 ± 7424	Dreissenidae + Tubificidae (44 + 12)	2165,64 ± 1296,24	12,11 ± 6,38	Gammaridae + Corophiidae (45 + 20)
Июль, 2013 г.						
СТ	36	12 947 ± 2798	Ostracoda + <i>D. bugensis</i> + Tubificidae (30 + 19 + 13)	1093,98 ± 799,78	3,04 ± 0,80	<i>S. histrio</i> + <i>Ch. ishnus</i> + Tubificidae (29 + 17 + 16)
НТ	54	9289 ± 3879	<i>D. bugensis</i> + Gammaridae + Tubificidae (35 + 13 + 12)	1291,80 ± 919,33	5,24 ± 1,21	Gammaridae (57)
НХ	36	27 916 ± 12047	<i>D. bugensis</i> + Gammaridae (48 + 16)	2973,88 ± 1898,71	11,08 ± 5,64	Gammaridae (62)
СХ	45	29 873 ± 11619	<i>D. bugensis</i> + Gammaridae + Naididae (27 + 16 + 12)	2231,56 ± 1750,46	16,75 ± 10,56	Gammaridae + Corophiidae (43 + 22)

Примечание. Здесь и в табл. 2: N, экз/м<sup>2</sup> — численность; B, г/м<sup>2</sup> — биомасса.





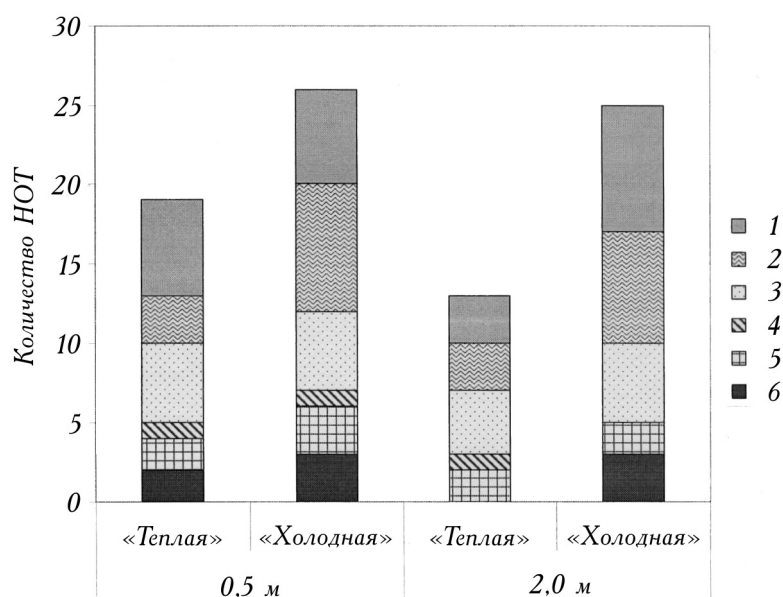
4. Численность (а) и биомасса (б) зообентоса водоема-охладителя ЧАЭС в разные годы.

В многолетнем аспекте биомасса зообентоса увеличивалась от доаварийного периода (в среднем по ВО  $0,55 \text{ г/м}^2$ ) [2], в период 1999—2001 гг. она изменялась в пределах  $20,4—9673,84 \text{ г/м}^2$  (в среднем  $4168,61 \text{ г/м}^2$ ) [3]. В 2002 г. (июль) отмечено снижение биомассы в среднем по ВО до  $878,80 \text{ г/м}^2$ , хотя были отмечены и высокие показатели — до  $4,97 \text{ кг/м}^2$ . К 2013 г. биомасса в среднем по ВО вновь возросла до  $1871,71 \text{ г/м}^2$  (июль) (рис. 4).

На протяжении многих лет сохранилась тенденция возрастания биомассы зообентоса от «теплой» к «холодной» зоне. По глубине общая биомасса изменялась несимметрично относительно направляющей дамбы — на глубине 3 м в «холодной» зоне его биомасса была выше, чем «теплой», на глубине 5 м — наоборот. Эта тенденция, отмеченная в 2002 г., в 2013 г. была характерна для распределения биомассы в «теплой» части, в «холодной» же отмечено ее увеличение от 3 до 5 м. Биомасса «мягкого» зообентоса увеличивалась от доаварийного периода ( $0,46 \text{ г/м}^2$ ) до  $5,71$  и  $5,33 \text{ г/м}^2$  (соответственно 1999—2001 гг. и 2002 г.) и до  $9,97 \text{ г/м}^2$  в 2012—2013 гг. Также сохранилась тенденция более значительного развития «мягкого» зообентоса в «холодной» зоне относительно «теплой», в основном за счет Amphipoda в поселениях дрейссены.

*Зооперифитон каменной наброски.* В 2012—2013 гг. в зооперифитоне было отмечено 44 НОТ беспозвоночных из 15 групп, доминировали Oligochaeta и Chironomidae (по 12 НОТ), другие группы насчитывали 1—4 НОТ. Наименьшее количество НОТ отмечено в ноябре (18), весной и летом эти показатели были близкими (соответственно 34 и 35 НОТ). В целом таксономический состав зооперифитона был сходным по зонам и сезонам (по результатам кластерного анализа — более 65%). Количество НОТ в группах по станциям было невысоким (в июле — от 1 до 8), распределены они были относительно равномерно, индекс Шеннона в среднем составлял  $2,51 \text{ бит/НОТ}$  (июль). Таксономическое богатство в целом определяли ракообразные (27%), чья доля была выше, чем в бентосе, олигохеты и личинки хирономид были представлены примерно одинаково (соответственно 22 и 21% количества НОТ).





5. Таксономическая структура зооперифитона различных зон водоема-охладителя ЧАЭС, июль 2013 г.

В пространственном аспекте наибольшим таксономическим богатством отличалась зона НХ (26 НОТ в мае и 31 в июле), в остальных зонах во все сезоны количество НОТ было сходным и несколько ниже (5—20 НОТ). В целом зооперифитон «холодной» зоны был богаче, чем «теплой», как на глубине до 0,5 м, так и на 2 м (рис. 5).

Количество НОТ зооперифитона было в два раза меньше, чем зообентоса, при этом сходство таксономического состава этих группировок составило 57%, а групповое сходство было более высоким — 77% (по результатам кластерного анализа). В зообентосе отмечено четыре оригинальных группы (Mysidacea, Ephemeroptera, Diptera, Bivalvia), в зооперифитоне — три (Spongia, Kamptozoa, Bryozoa).

В 2012—2013 гг. численность зооперифитона на отдельных станциях изменялась в пределах 11 700—190 313 экз/м<sup>2</sup>, биомасса — 1294,03—17 782,59 г/м<sup>2</sup> (табл. 2). Показатели обилия зооперифитона в ноябре и мае (в среднем) были очень близкими — численность около 81 тыс. экз/м<sup>2</sup>, биомасса — около 11 кг/м<sup>2</sup>, а в июле — практически вдвое ниже. По показателям обилия уровень развития оценивали как «выше среднего» — «высокий» по численности и «предельно высокий» по биомассе.

В пространственном аспекте и по сезонам численность и биомасса зооперифитона были достаточно близкими, индекс Шеннона превышал 2,7 бит/экз при высокой выравненности (0,9). Показатели обилия на глубине до 0,5 в «теплой» и «холодной» зонах различались незначительно, например в июле 2013 г. биомасса составляла соответственно 4,81 и 4,56 кг/м<sup>2</sup>. На

## 2. Количественные показатели зооперифитона (эпилимнона) в зонах водоема-охладителя ЧАЭС, 2012 и 2013 гг.

Зоны	Количество НОТ	N	Доминанты по N, (%)	B	B <sub>П</sub>	Доминанты по B <sub>П</sub> (%)
Ноябрь, 2012 г.						
СТ	17	115 313 ± 75 000	<i>D. bugensis</i> + <i>N. bretscheri</i> (33 + 27)	13 354,98 ± 4427,61	44,93 ± 30,60	<i>D. haemobaphes</i> (61)
CX	5	11 700	<i>D. bugensis</i> + <i>D. villosus</i> (39 + 24)	5965,10	190,10	<i>D. villosus</i> (58)
Май, 2013 г.						
СТ	19	90 938	Gammaridae juv. + <i>D. bugensis</i> + <i>C. silvestris</i> (22 + 20 + 19)	9364,14	100,24	<i>D. haemobaphes</i> (51)
HT	20	67 656	<i>D. bugensis</i> + <i>C. silvestris</i> + Gammaridae juv. + (26 + 19 + 14)	14 456,15	137,93	<i>D. haemobaphes</i> (52)
HX	26	107 800	<i>D. bugensis</i> + <i>C. silvestris</i> + Gammaridae juv. (28 + 21 + 17)	9575,31	156,69	<i>D. haemobaphes</i> + <i>Ch. ischnus</i> + <i>D. villosus</i> (30 + 13 + 10)
CX	20	60 781	<i>D. bugensis</i> + Gammaridae juv. (43 + 12)	11 943,16	52,26	<i>D. haemobaphes</i> + <i>Ch. ischnus</i> + (37 + 34)
Июль, 2013 г.						
СТ	16	40 227	<i>D. bugensis</i> + <i>N. bretscheri</i> (27 + 26)	4772,53	40,74	<i>D. haemobaphes</i> + (73)
HT	18	56 463 ± 22 489	<i>D. bugensis</i> + <i>N. bretscheri</i> (44 + 11)	7854,94 ± 3038,50	41,31 ± 8,14	<i>D. haemobaphes</i> + <i>D. villosus</i> (44 + 21)
HX	31	63 870 ± 17 745	<i>D. bugensis</i> + <i>C. silvestris</i> + <i>N. bretscheri</i> (25 + 18 + 17)	7662,69 ± 2181,84	60,62 ± 14,17	<i>D. haemobaphes</i> + <i>D. villosus</i> (46 + 21)
CX	19	17 397 ± 3186	<i>D. bugensis</i> + <i>N. barbata</i> + <i>D. haemobaphes</i> (26 + 22 + 10)	2772,03 ± 1209,99	122,37 ± 59,80	<i>Spongilla lacustris</i> (81)

Примечание. B<sub>П</sub> — биомасса без учета Арейсенны.

глубине 2 м различия по зонам были более значительны, показатели обилия в «теплой» были выше — численность в 1,7, биомасса — в 1,2 раза. Показатели обилия на разных глубинах также различались — на большей (2 м) численность была выше в 2,0, биомасса — в 2,7 раза. Доминирование дрейссенид в общей биомассе составило от 96 до практически 100%.

Одним из субстратов, на котором обитали беспозвоночные в ВО ЧАЭС, являются стебли *Phragmites australis*. Этот вид доминирует среди воздушно-водных высших растений и зарастает практически весь периметр ВО. Друзы дрейссены в эпифитоне (июль 2013 г.) встречались на трети старых (прошлогодных) стеблей тростника, молодые в основном были свободными от обростания моллюском.

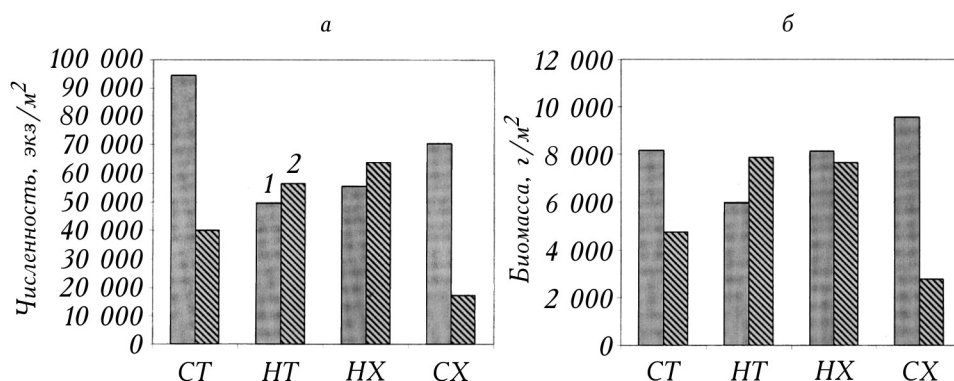
Наличие друз дрейссенид на старых стеблях определяло большее таксономическое богатство и более высокую биомассу эпифитона. На старых стеблях отмечено 23, на молодых — 15 НОТ при сходном групповом составе. Численность беспозвоночных была близкой — на старых 10 071, на молодых — 17 778 экз/м<sup>2</sup>, а биомасса различалась в сотни раз — соответственно 747,53 и 2,24 г/м<sup>2</sup>. По численности на старых стеблях преобладали дрейссениды и *Cricotopus silvestris* Fabr., по биомассе — дрейссениды. На молодых стеблях численность определяли *C. silvestris*, *Nais communis* Pignet и *Polypedilum convictum* Walker, биомассу — личинки хирономид нескольких видов. Отмеченные показатели обилия на тростнике в целом выше, чем по данным исследований 2002 г., а доминанты сохранились, что, вероятно, связано со стабилизацией условий в ВО [13].

В доаварийный период было отмечено значительно большее количество видов зооперифитона — 122, по данным исследований 2002 г. — 84 НОТ. В 2002 г. значительно снизилось видовое богатство олигохет (17 против 31), личинок насекомых (24 против 31) и брюхоногих моллюсков (6 против 18), однако с 3 до 5 увеличилось количество видов мшанок, отмечены Kamptozoa (*Urnatella gracilis* Leidy). В период 2012—2013 гг. количество НОТ снизилось практически во всех группах.

Численность зооперифитона к 2002 г. в среднем снизилась в пять раз относительно доаварийного периода, биомасса же, напротив, увеличилась вдвое из-за увеличения популяции дрейссенид. За последние десять лет численность зооперифитона на каменном субстрате стабилизировалась на уровне около 60 тыс. экз/м<sup>2</sup>, биомасса — около 8 кг/м<sup>2</sup>.

Можно отметить снижение численности и биомассы зооперифитона в «старых» зонах в летний период 2002 и 2013 г. (рис. 6), а распределение показателей обилия по глубине за этот период оставалось стабильным — наибольшие значения характерны для зооперифитона на 2 м: численность в среднем в 1,9, биомасса в 2,5 раза.

В целом, можно сделать вывод, что условия подогрева и циркуляции при работе АЭС создавали более разнообразные условия для существования беспозвоночных зооперифитона, существовало более 20 сообществ, после остановки станции сообщества зооперифитона стали однороднее по составу



6. Численность (а) и биомасса (б) зооперифитона (эпилитона) различных водоема-охладителя ЧАЭС, июль 2002 г. (1) и 2013 г. (2).

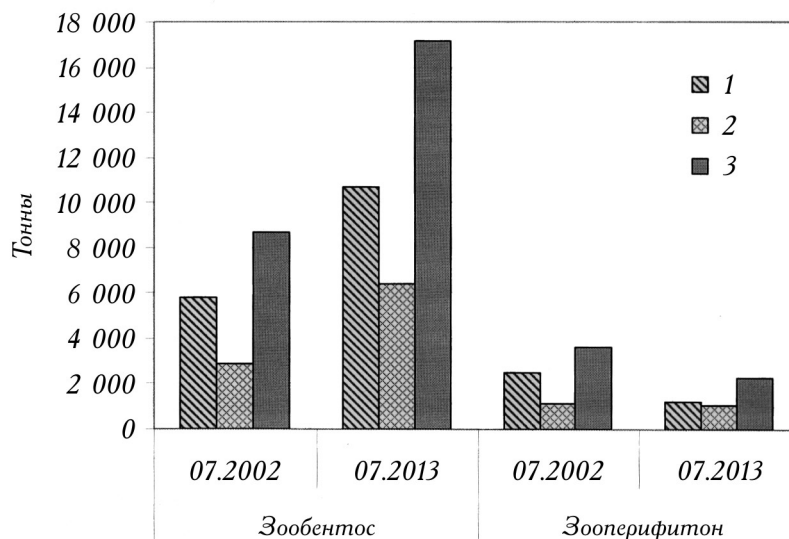
**3. Структурно-функциональные характеристики сообществ зообентоса и зооперифитона в водоеме-охладителе ЧАЭС, июль 2013 г.**

Сообщества	Количество НОТ	$N \pm m$	$B \pm m$	$R \pm m$	$P \pm m$
Зообентос					
<i>D. bugensis</i> ( <i>Ch. ischnus</i> )	48	39 250 ± 7427	4725,2 ± 1298,2	3,93 ± 1,02	33,14 ± 8,62
Chironomidae	44	9795 ± 1174	4,4 ± 0,8	0,05 ± 0,01	0,44 ± 0,06
Зооперифитон					
<i>D. bugensis</i> , 0,5 м ( <i>C. silvestris</i> + <i>N. bretscheri</i> )	25	49 241 ± 16 350	5893,8 ± 1009,8	4,80 ± 0,77	40,44 ± 6,50
<i>D. bugensis</i> , 2,0 м ( <i>N. bretscheri</i> )	28	78 474 ± 19651	12 762,3 ± 1132,8	9,49 ± 1,59	79,94 ± 13,40

Примечание.  $N$  — численность, экз/м<sup>2</sup>;  $B$  — биомасса, г/м<sup>2</sup>;  $R$  — деструкция, кДж/м<sup>2</sup>·ч;  $P$  — продукция, кДж/мм<sup>2</sup>·сут.

и показателям обилия, в 2002 г. их было выделено только три, в основном с доминированием *D. bugensis* [2, 7].

Исходя из сходных количественных показателей и структуры доминирования в контурных группировках можно говорить о существовании разных модификаций сообщества *Dreissena bugensis*. Его характерной особенностью является доминирование этого моллюска как по биомассе, так и по численности. При этом, в бентосе и перифитоне существовали модификации этого сообщества с преобладанием других беспозвоночных-консортов в показателях обилия (табл. 3). Так, в зообентосе вторым доминантом по чис-



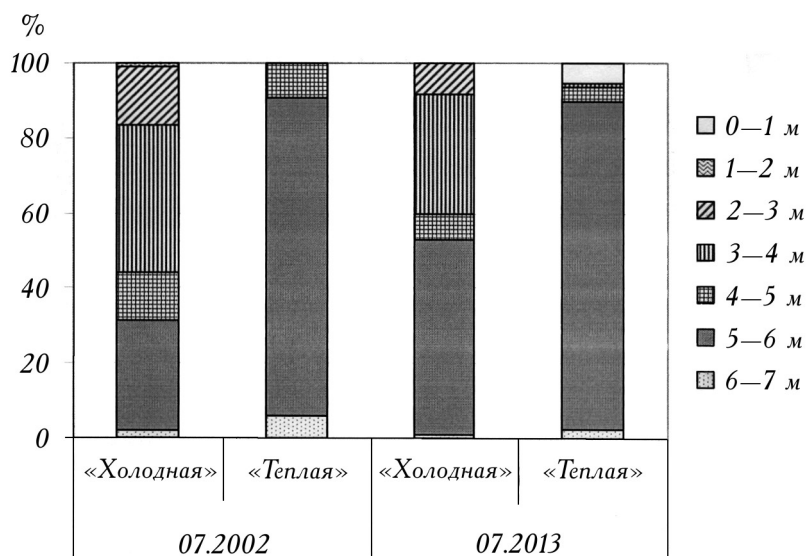
7. Запас беспозвоночных контурных группировок ВО ЧАЭС: 1 — «холодной» зоны; 2 — «теплой» зоны; 3 — суммарно.

ленности и биомассе был *Chaetogammarus ischnus* Stebbing, а в зооперифитоне — *C. silvestris* и *N. bretscheri*. Таксономическое богатство сообщества в зообентосе было выше, чем в перифитоне, а показатели обилия были выше в перифитоне, особенно на глубине 2 м. Доля *D. bugensis* в сообществах в перифитоне была выше на глубине 2 м, чем на 0,5 м. Сообщество *Dreissena bugensis* в донных биотопах локализовано в «теплой» зоне на глубине 5 м, а в «холодной» — на 3 и 5 м.

На литоральных участках ( $h = 0,5—1,0$ ) м локализовано псаммофильное сообщество Chironomidae, которое характеризовалось значительно меньшими показателями обилия относительно дрейссенового (см. табл. 3) и отличалось полидоминантностью: численность определяли Ostracoda, *Cladotanytarsus mancus* Walker и *Stylaria lacustris* (L.), биомассу — *Stictochironomus histrio* Fabr. и *Polypedilum convictum*.

Проведенные расчеты запасов беспозвоночных бентоса в ВО ЧАЭС показали, что к июлю 2013 г. запас зообентоса увеличился относительно аналогичного периода 2002 г. и составил 17 135,7 т (рис. 7), при этом запас в «теплой» части был ниже, чем в «холодной».

Для расчета запаса зооперифитона принята площадь каменных субстратов для «холодной» части 0,242 км<sup>2</sup>, а для «теплой» — 0,166 км<sup>2</sup>. Был учтен коэффициент сложности биотопа равный пяти [6, 7]. Запас зооперифитона в «холодной» части ВО в июле 2013 г. составил 1240,5 т, а в «теплой» — 1039,7 т, всего по водоему — 2280,2 т, то есть несколько снизился с 2002 г. (см. рис. 7).



8. Запас беспозвоночных контурных группировок на разных глубинах водоема-охладителя ЧАЭС в разные годы.

Распределение запаса по глубинам и по зонам ВО было различным—наибольший вклад в «теплой» зоне определял запас на глубине 5—6 м, в «холодной» зоне запас беспозвоночных на глубине 5—6 м к июлю 2013 г. увеличился относительно 2002 г. (рис. 8).

Так как основу биомассы в бентосе и перифитоне ВО на глубинах от уреза до 6 м составляла дрейссена, рассчитан запас без учета массы раковин моллюска, которая ориентировочно составляет 70% массы организма, то есть сырого органического вещества. При снижении уровня воды на 1 м в контурной подсистеме суммарно будут высвобождены 245,0 т биомассы, при последующем снижении уровня воды на 2 м в зону осушения попадет 543,4 т органического вещества, при этом доли перифитона и бентоса будут сходными. При снижении уровня на 3 м количество органического вещества возрастет до 1309,2 т, при этом вклад зообентоса в 3,8 раза превысит такой зооперифитона. При последующем снижении уровня ВО основной вклад в запас органического вещества будет принадлежать бентосу — до 3343,4 т на глубине 5—6 м.

Таким образом, к июлю 2013 г., за более чем 10-летний период, запас зообентоса увеличился вдвое, доля «холодной» зоны осталась более значительной, чем «теплой». Запас перифитона снизился в 1,6 раза, в «холодной» зоне более значительно, чем в «теплой» [7].

Так как при снижении уровня воды важным являлась минимизация негативных последствий, в рамках ТЭО необходимо было выбрать критерии оценки качества среды ВО при мониторинге и уровень, при котором конт-

ролируемый спуск должен был быть приостановлен до улучшения качества среды. Таким критерием нами было выбран мезо-эвтрофный — эвтрофный уровень [10]. Этот уровень был выбран исходя из результатов оценки качества среды в период исследований, а также экспертных подходов. По гидрохимическим и гидробиологическим характеристикам качество среды в ВО оценивалось категориями 1—5 (по [4]), в среднем ранговый показатель был равен 2,8, что соответствует мезо-эвтрофным условиям. В частности, по сапробности зообентоса качество среды оценивалась категориями 4 и 5 («слабо» — «умеренно» загрязненные воды), по содержанию нитритов — категорией 5 («умеренно» загрязненные воды), а по нитратам — категорией 1 («очень чистые»). Критерии мезо-эвтрофного и эвтрофного состояния экосистемы ВО должны были действовать по крайней мере первые три-четыре года выведения водоема из эксплуатации, то есть при снижении уровня воды на 3—4 м.

### Заключение

Таким образом, в период перед спуском ВО ЧАЭС была отмечена относительная стабильность группировок беспозвоночных бентоса и перифитона. В 2012—2013 гг. значительных изменений в таксономическом составе зообентоса относительно 2002 г. не отмечено. В бывшей «теплой» зоне на мелководных участках (глубина 0,5—1,0 м) существовали поселения дрейссены со значительной биомассой. Биомасса «мягкого» зообентоса на протяжении периода исследований находилась на стабильном уровне — порядка 10 г/м<sup>2</sup>.

В эпибитоне, при сходных доминантах, таксономическое богатство было ниже, чем в зообентосе. Показатели его обилия были выше на большей глубине. Как и в зообентосе, основным доминантом по биомассе была дрейссена. Показатели обилия в эпибитоне в целом выше, чем в 2002 г., а доминанты сохранились. В многолетнем аспекте таксономическое богатство и численность зооперифитона снизились, а биомасса возросла. В целом по ВО наличие поселений дрейссены определило уровень развития зообентоса и зооперифитона от «высокого» до «выше среднего». В контурных биотопах, как и ранее, по количественному развитию преобладает сообщество *Dreissena bugensis*.

\*\*

*У зв'язку з виведенням з експлуатації і спуском водойми-охолоджувача Чорнобильської АЕС, що почався з 2014 р., проведено дослідження безхребетних контурних угруповань. У статті представлено результати досліджень зообентосу і зооперифітону у період 2012—2013 рр., які можна вважати вихідними для подальшого аналізу змін у контурній підсистемі за умови спуску. Контурні угруповання таксономічно і кількісно є стабільними. Певною мірою зберігається ценотична структура, визначена колишнім впливом підігрітої води: у зообентосі — поясний розподіл поселень дрейсенід на глибині 3 і 5 м, зооперифітон у вигляді поселень дрейсенід сконцентрований на кам'яному укріпленні берега.*

\*\*

*Studies of invertebrate contour groups were carried out in view of stop of exploitation and draining of cooling pond of the Chernobyl NPP, which began in 2014. The results of researches of zoobenthos and zooperiphyton over the years 2012—2013 can be considered as*



*reference for subsequent analysis of changes in the contour subsystem during draining. The contour groups taxonomically and quantitatively were relatively stable. Cenotic structure, determined by the former influence of heated water has been preserved. The belt distribution of the Dreissena settlements at the depth of 3 and 5 m was preserved in zoobenthos, in the form of settlements of zooperiphyton, Dreissena is concentrated on a stone shore reinforcement.*

\*\*

1. Баканов А.И. Использование характеристик разнообразия зообентоса для мониторинга состояния пресноводных экосистем // Мониторинг биоразнообразия. — М., 1997. — С. 278—282.
2. Гидробиология водоемов-охладителей тепловых и атомных электростанций Украины / Отв. ред. М.Ф. Поливанная. — Киев: Наук. думка, 1991. — 191 с.
3. Лукашев Д.В., Северенчук Н.С. Изменение структуры макрозообентоса водоема-охладителя Чернобыльской АЭС в условиях уменьшения тепловой нагрузки на экосистему // Гидробиол. журн. — 2004. — Т. 40, № 4. — С. 64—72.
4. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / За ред. В. Д. Романенка. — К.: Логос, 2006. — 408 с.
5. Песенко Ю.А. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. — М.: Наука, 1982. — 188 с.
6. Протасов А.А. Пресноводный перифитон. — Киев: Наук. думка, 1994. — 307 с.
7. Протасов А.А., Силаева А.А. Контурные группировки гидробионтов в техно-экосистемах ТЭС и АЭС. — Киев, 2012. — 274 с.
8. Протасов А.А., Силаева А.А., Лукашев Д.В. Изменения в составе и структуре зообентоса пруда-охладителя Чернобыльской АЭС // Биоразнообразие и роль зооценозов в естественных и антропогенных экосистемах: Материалы II Междунар. конф. — Днепропетровск: Изд-во Днепропетров. ун-та, 2003. — С. 73—75.
9. Смирнов Е.С. Таксономический анализ. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1969. — 187 с.
10. Техніко-економічне обґрунтування (ТЕО) зняття з експлуатації водоймища-охолоджувача Чорнобильської АЕС. — К.: Інститут проблем безпеки атомних електростанцій НАН України, 2013. — Том 1. — 290 с.
11. Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. — Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. — 463 с.
12. Pielou E.C. The interpretation of ecological data. — New York: Willey, 1984. — 25 p.
13. Protasov A.A., Silayeva A.A. Communities of invertebrates of the cooling pond of the Chernobyl nuclear power station. Report 2. Communities of zooperiphyton, their composition and structure // Hydrobiol. J. — 2006. — Vol. 42, N 2. — P. 13—30.

14. Protasov A.A., Silayeva A.A. Communities of invertebrates of the cooling pond of the Chernobyl NPS. Report 3. Communities of zoobenthos, their composition and structure // Ibid. — Vol. 42, N 3. — P. 3—23.
15. Protasov A.A., Sinitsina O.O., Kolomiets A.V. Use of the WaCo (Water Communities) package to process the hidrobiological samples and create the databases on zoology and algology (FoxPro) // Тр. Зоол. ин-та РАН. — 1999. — Т. 278. — С. 132.
16. Semenchenko V., Laenko T. First record of the invasive North American gastropod *Ferrissia fragilis* (Tryon, 1863) from the Pripyat River basin, Belarus / Aquatic Invasions. — 2008. — Vol. 3, Iss. 1. — P. 80—82.

Институт гидробиологии НАН Украины

Поступила 21.07.17