

СООБЩЕНИЯ

УДК 574:574.582:504.445.05

© 2006

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИТО- И ЗООПЛАНКТОННЫХ ОРГАНИЗМОВ КАК БИОИНДИКАТОРОВ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДЫ В РАЙОНЕ РАЗМЕЩЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ЯТЦ

В.П. Гусева, М.Я. Чеботина, А.В. Трапезников

Россия, г. Екатеринбург, Институт экологии растений и животных УрО РАН

Изучено содержание ^{90}Sr и ^{137}Cs в фитопланктоне и зоопланктоне Белоярского водохранилища в условиях повышенного поступления радионуклидов в водную экосистему. Приводятся данные о динамике содержания ^{90}Sr и ^{137}Cs в указанных группах планктонах организмов в течение летнего сезона. Проведен сравнительный анализ коэффициентов накопления радионуклидов для фитопланктона, зоопланктона и других гидробионтов и грунта, который позволил рекомендовать фито- и зоопланктон в качестве биоиндикаторов радиоактивного загрязнения слаборадиоактивных сбросных вод, поступающих в водные экосистемы от предприятий ядерно-топливного цикла.

Планктон представляет собой сообщество мелких организмов, свободно дрейфующих в воде. Он включает в себя растительную (фитопланктон) и животную (зоопланктон) компоненты и насчитывает большое число видов, способных быстро изменять свой качественный и количественный состав в зависимости от времени суток, сезона года и местообитания даже в пределах одного водоема. Ввиду огромной суммарной сорбционной поверхности планктона, он способен быстро поглощать разнообразные радионуклиды и другие загрязнители природных вод. В радиоэкологическом плане планктональные организмы изучены наименее слабо по сравнению с другими представителями водного биоценоза, что обусловлено трудоемкостью отбора больших количеств планктона, необходимого для радиоэкологического анализа.

Цель нашего исследования заключается в разработке методики разделения растительной и животной компонент планктона, оценке их накопительной способности и возможности использования этих групп организмов для биоиндикации радиоактивного загрязнения водной среды в местах расположения предприятий ядерно-топливного цикла.

МЕТОДИКА

Работа проводилась в 2004 г. на территории Белоярского водохранилища, в месте выхода в него промывневой канализации (ПЛК). В канал попадают стоки с двух предприятий: Белоярской АЭС, где в настоящее время работает 3-й энергоблок, и Свердловского филиала научно-исследовательского и конструкторского института энерготехники (СФНИКИЭТ), где работает экспериментальный реактор. Методика отбора и анализа проб фито- и зоопланктона для определения видового состава, численности и биомассы подробно описана в работе [1]. Для определения содержания радионуклидов в планктоне его отбирали при помощи сачков, изготовленных из мельничного газа № 70 и № 21 соответственно для суммарного планктона и зоопланктона. После сцеживания воды планктон высушивали, взвешивали, растирали и анализировали на содержание ^{137}Cs . Воду из водоема в количестве 20–40 л на повторность выпаривали, сухой остаток озоляли и также анализировали на содержание радионуклидов.

Определение содержания ^{137}Cs в пробах проводили с помощью сцинтилляционного γ-спектрометра с использованием программного

обеспечения "Прогресс". Ошибка счета не превышала 15–20 %.

Определение ^{90}Sr в озелененных образцах планктона проводили радиохимическим методом, основанном на выщелачивании химических элементов би соляной кислотой с последующим осаждением оксалатов щелочно-земельных элементов и выделением из раствора оксалатов ^{90}Sr в виде карбонатов. Содержание ^{90}Sr определяли по дочернему ^{90}Y после их разделения безугольным аммиаком [2]. Радиометрию полученных осадков производили на малофоновой установке УМФ-2000 с полупроводниковым детектором из высокомоного кремния размером 20×20 мм. Статистическая ошибка измерений не превышала 10–15 %.

В процессе обработки результатов измерений, используя данные по биомассе фито- и зоопланктона в пробе, концентрации радионуклида в ней и соотношения сырой и сухой массы фито- и зоопланктона, мы производили соответствующие расчеты, которые позволили определить концентрации радионуклидов в каждой из этих групп организмов.

ХАРАКТЕРИСТИКА ПЛАНКТОННОГО КОМПЛЕКСА

Период наблюдений включал 9 временных точек. В разные временные точки было зарегистрировано от 25 до 40 видов фитопланктона и от 6 до 10 видов зоопланктона. Среди фитопланктонных организмов преобладали в основном зеленые водоросли (в среднем 13 видов, составляющих 42 % от общего числа видов), в меньшем процентном отношении представлены диатомовые и синезеленые водоросли (соответственно 6 и 7 видов, т.е. 21 % и 23 %). Среди зоопланктона примерно в равных соотношениях встречались ветвистоусые ракчи и коловратки (в среднем по 4 вида, составляющие по 36–40 % от общего количества видов). Веслоногие ракчи представлены двумя видами (~20 % от общего количества видов).

Как показывают данные табл. 1, численность фитопланктона за летний период варьировала от 15 (06.10.2004) до 235 (09.08.2004) млн.кл./л при среднем значении 93 млн.кл./л. Временная точка 25.08.2004 характеризовалась резким увеличением численности фитопланк-

тона (до 2300 млн.кл./л) в результате цветения воды (при учете средних значений численности и биомассы фитопланктона эта точка не учитывалась). Численность зоопланктона была в среднем в 3000 раз меньше по сравнению с фитопланктоном и составляла в среднем 34 тыс.экз./м³ (от 2 до 87 тыс.экз./м³ в разные временные интервалы). Биомасса фитопланктона составляла в среднем 15 г/м³, она была практически постоянна в течение летне-осеннего периода (исключая период цветения воды), но в октябре снизилась примерно в 4 раза, что связано с наступлением осенних холодов. Биомасса зоопланктона варьировала от 0,02 до 4,6 г/м³ при среднем значении 1 г/м³. Наиболее низкий показатель также зарегистрирован в октябре. В среднем биомасса фитопланктона превышала таковую зоопланктона примерно в 15 раз.

Среди доминирующих видов фитопланктона с августа по октябрь преобладала синезеленая водоросль *Microcystis aeruginosa*, которая в конце августа вызывала цветение воды, достигнув пика численности 2280 млн.кл./л. В этот момент она составляла 99 % от численности всего фитопланктона и 90 % от общей биомассы фитопланктона. Кроме нее, в разное время наблюдений по биомассе доминировали *Melosira sp.*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Ceratium hirundinella* и др. водоросли (табл. 2). Среди зоопланктона преобладали ветвистоусые ракчи – *Daphnia cucullata*, *Chydorus sphaericus*, *Bosmina kessleri* и веслоногий – *Eudiaptomus graciloides* (табл. 3).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

На рис. 1 приведена динамика концентраций ^{90}Sr в фито- и зоопланктоне на выходе промывневой канализации в водоем-охладитель. Как видно из рисунка, в период наблюдений концентрация радионуклида в фитопланктоне варьировала от 67 до 167 Бк/кг сухой массы при среднем значении 109 ± 11 Бк/кг. Соответствующий показатель для зоопланктона изменялся от 83 до 224 Бк/кг при среднем значении 139 ± 17 Бк/кг. Статистическая обработка экспериментальных данных указывает на отсутствие различий в накопительной способности фито- и зоопланктона в отношении этого радионуклида (уровень значимости $p > 0,05$).

Таблица 1

Численность и биомасса фито- и зоопланктона в месте выхода в Белоярское водохранилище промливневой канализации

Показатель		12.07	19.07	26.07	3.07	9.08	16.08	25.08	7.09	6.10
Фитопланктон	Численность, млн.кл./л	48	47	98	90	235	127	2299	88	15
	Биомасса, г/м ³	18,9	17,6	15,9	13,8	17,5	14,4	163,5	17,8	4,5
Зоопланктон	Численность, тыс.экз./м ³	27	42	76	15	5	8	87	44	2
	Биомасса, г/м ³	0,36	2,05	4,6	0,08	0,06	0,24	1,8	0,29	0,02

Таблица 2

Биомасса доминирующих видов фитопланктона в месте выхода в Белоярское водохранилище промливневой канализации (% от общей биомассы фитопланктона)

Вид	12.07	19.07	26.07	3.08	9.08	16.08	25.08	7.09	6.10
<i>Melosira sp.</i>	32	36	—	—	—	18	—	—	—
<i>Microcystis aeruginosa</i>	—	—	—	40	62	55	90	—	20
<i>Ceratium hirundinella</i>	14	—	12	11	—	14	—	—	—
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	13	—	17	—	—	—	—	16	—
<i>Cryptomonas marssonii</i>	—	20	—	—	—	—	—	—	24
<i>Stephanodiscus sp.</i>	—	—	19	—	—	—	—	—	—
<i>Girosigma sp.</i>	—	—	—	11	—	—	—	—	—
<i>Rhoicosphenia curvata</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	13

Таблица 3

Биомасса доминирующих видов зоопланктона в месте выхода в Белоярское водохранилище промливневой канализации (% от общей биомассы зоопланктона)

Вид	12.07	19.07	26.07	3.08	9.08	16.08	25.08	7.09	6.10
<i>Chydorus sphaericus</i>	53	—	—	—	—	27	—	45	45
<i>Daphnia cucullata</i>	28	40	—	22	13	—	20	—	—
<i>Macrocylops albidus</i>	—	33	87	15	—	—	22	22	—
<i>Eudiaptomus graciloides</i>	—	—	—	26	58	64	50	14	—
<i>Bosmina kessleri</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	45



Рис. 1. Динамика концентраций ^{90}Sr в фито- и зоопланктоне района ПЛК
Белоярского водохранилища, Бк/л сухой массы



Рис. 2. Динамика концентраций ^{137}Cs в фито- и зоопланктоне района ПЛК
Белоярского водохранилища, Бк/кг сухой массы

На рис. 2 показана динамика изменения концентраций ^{137}Cs в указанных выше группах планктонных организмов. Видно, что концентрация радионуклида в фитопланктоне изменяется в пределах от 1810 до 6450 Бк/кг сух. массы при среднем значении 4880 ± 550 Бк/кг. Резкое снижение концентрации ^{137}Cs в пробе фитопланктона 25.08.2004 связано с цветением воды – за счет резкого нарастания числа молодых клеток во время цветения происходит разбавление радионуклида в массе фитопланктона [1]. Концентрация ^{137}Cs в зоопланктоне изменялась в пределах от 2500 до 4600 Бк/кг (среднее значение 3250 ± 250 Бк/кг). Статистическая обработка данных показала, что данный радионуклид накапливается фитопланктоном больше, чем зоопланктоном (уровень значимости $p < 0,01$). Это превышение составляет в среднем 1,5 раза.

Исходя из установленных нами величин биомассы фито- и зоопланктона в районе выхода ПЛК в водоем, а также удельной активности ^{90}Sr и ^{137}Cs в этих группах организмов, мы рассчитали, что в течение летнего периода 2004 г. с каждым кубометром воды, вытекающей в водоем из канала промывневой канализации в Белоярское водохранилище, с фитопланктоном поступало 0,71 Бк ^{90}Sr и 29,5 Бк ^{137}Cs , а с зоопланктоном – 0,08 и 1,8 Бк соответственно ^{90}Sr и ^{137}Cs (табл. 4). Таким образом, основная часть радиоактивного загрязнения (96 %) формируется за счет ^{137}Cs , который находится в основном в составе фитопланктонных организмов.

Зная объем сбросной воды промывневого канала, мы рассчитали количество указанных выше радиоактивных загрязнителей, поступающих в водоем-охладитель с фито- и зоопланктоном. Эти цифры составили: 0,8 МБк в месяц ^{90}Sr и 31,7 МБк ^{137}Cs . При этом с фитопланктоном поступает примерно 30,6 МБк ^{90}Sr и ^{137}Cs , а с зоопланктоном значительно меньше – 1,9 МБк.

Таблица 4

Запас радионуклидов в планктоне устьевой части ПЛК, Бк/м³ воды

Параметр	^{90}Sr	^{137}Cs
Общий планктон	0,79	31,3
Фитопланктон	0,71	29,5
Зоопланктон	0,08	1,8

Известно, что основным депо накопления радионуклидов в водоеме, как правило, являются грунты [3]. Интересно сравнить относительную накопительную способность грунта, фито- и зоопланктона, а также других групп гидробионтов, отобранных нами в данном районе. Концентрация ^{90}Sr и ^{137}Cs в воде данной акватории водоема в течение всего периода исследований незначительно варьировала вокруг средних величин ($^{90}\text{Sr} - 0,018$ Бк/л, $^{137}\text{Cs} - 0,016$ Бк/л). На основе этих данных были рассчитаны коэффициенты накопления фито- и зоопланктонных организмов, грунта, некоторых видов рыб (мальков) и моллюсков.

Видно, что на момент исследований КН ^{90}Sr для грунта ПЛК составлял величину 1100, а для фито- и зоопланктона был в 6–7 раз больше (соответственно, 5850 и 6960) (рис. 3). Коэффициенты накопления радионуклида для фито- и зоопланктонных организмов были также выше, чем у мальков рыб (470–620) и моллюсков (2120).

Аналогичная картина наблюдалась и для ^{137}Cs : КН радионуклида у фитопланктона (318620) был в 5, а зоопланктона (203190) в 3 раза больше, чем у грунта (64060). Коэффициенты накопления ^{137}Cs у мальков рыб были еще меньше и изменялись в пределах 2170–9200. Для моллюсков коэффициенты накопления этого радионуклида определить не удалось, т.к. концентрация его находилась ниже предела обнаружения.

Таким образом, исследования, проведенные в районе сброса в Белоярское водохранилище вод промывневой канализации АЭС и Свердловского филиала научно-исследовательского и конструкторского института энерготехники, позволили впервые оценить способность накапливать радионуклиды ^{90}Sr и ^{137}Cs отдельно фито- и зоопланктонными организмами. Показано, что ^{90}Sr накапливается указанными группами планктона примерно одинаково, в то время как ^{137}Cs накапливается фитопланктоном достоверно больше, чем зоопланктоном. Как фитопланктон, так и зоопланктон имеют более высокие коэффициенты накопления радионуклидов по сравнению с грунтом, молодью рыб и моллюсками этой же части водоема, в связи с чем эти группы планктона могут использоваться в качестве биоиндикаторов радиоактивного загрязнения слаборадиоактивных сбросовых

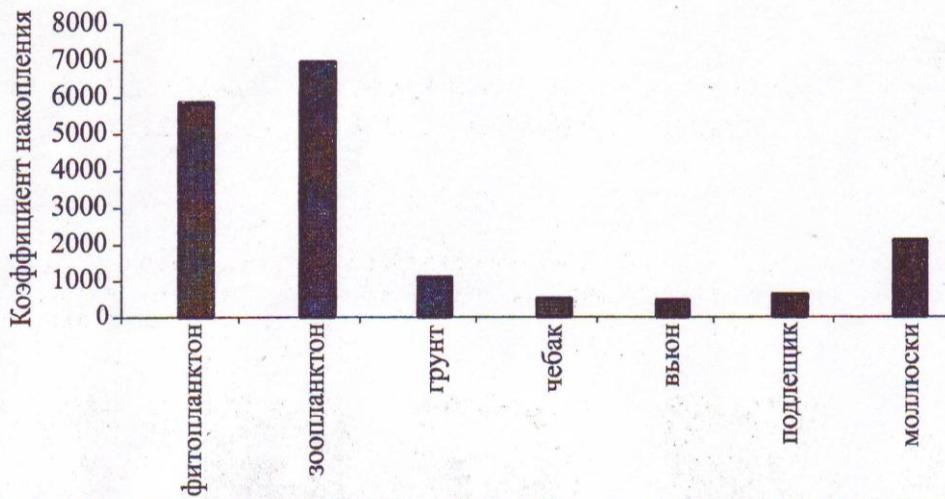


Рис. 3. Коэффициенты накопления ^{90}Sr для гидробионтов и грунта в устьевой части ПЛК Белоярского водохранилища (на сухую массу)

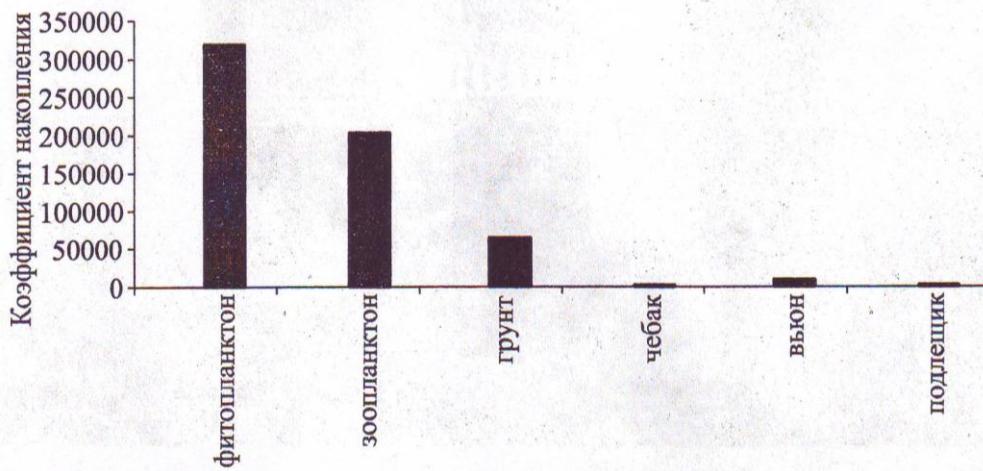


Рис. 4. Коэффициенты накопления ^{137}Cs для гидробионтов и грунта в устьевой части ПЛК Белоярского водохранилища (на сухую массу)

вод, поступающих от предприятий ядерно-топливного цикла в водные экосистемы.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ р_урал_a 07-05-96051.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чеботина М.Я., Гусева В.П., Трапезников А.В. Планктон и его роль в миграции радионуклидов в водоеме-охладителе АЭС. – Екатеринбург:

УрО РАН, 2002. – 170 с.

2. Сборник методик по определению радиоактивности окружающей среды. – 1968.

3. Куликов Н.В., Чеботина М.Я. Радиоэкология пресноводных биосистем. – Свердловск: УрО АН СССР, 1988. – 126 с.

4. Чеботина М.Я., Трапезников А.В., Трапезникова В.Н., Куликов Н.В. Радиоэкологические исследования Белоярского водохранилища. – Свердловск: УрО АН СССР. – 76 с.