

УДК 574.5:550.427.47

ИССЛЕДОВАНИЕ НАКОПЛЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ЖИВЫМ И МЕРТВЫМ ПЛАНКТОНОМ В ЛАБОРАТОРНОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ

© 2015 г. М. Я. Чеботина*, Е. В. Поляков**, Н. А. Хлебников**,
И. В. Волков**, В. П. Гусева**Институт экологии растений и животных УрО РАН
620144 Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202
e-mail: Chebotina@irae.uran.ru**Институт химии твердого тела УрО РАН
620990 Екатеринбург, ул. Первомайская, 91
Поступила в редакцию 07.02.2014 г.*Ключевые слова:* живой и мертвый планктон, вода, микроэлементы, коэффициенты распределения, сорбция.

DOI: 10.7868/S0367059715040046

Имеющийся в литературе экспериментальный материал свидетельствует о том, что поступающие в водные экосистемы химические и радиоактивные элементы быстро поглощаются гидробионтами и донными отложениями, в результате чего их содержание в воде резко снижается. При этом концентрация многих из них в гидробионтах и грунтах длительное время поддерживается на высоком уровне, превышающем их концентрации в воде на порядки величин (Куликов, Чеботина, 1988).

К числу гидробионтов, имеющих наиболее высокие коэффициенты накопления, относится перифитон (Тимофеева-Ресовская, 1963) и планктон (Трапезников и др., 2008). Это обстоятельство может быть использовано для биоиндикации химических и радиоактивных загрязнений в водоемах, возникших в результате техногенной деятельности человека, а также для практических целей, связанных с необходимостью биологической очистки природных водоемов от таких загрязнений.

Данная работа посвящена изучению сорбционных свойств живого и мертвого планктона в отношении ряда химических элементов при разных концентрациях их в водной среде.

Объектами исследования служили вода и планктон Белоярского водохранилища. Воду отбирали из водоема-охладителя Белоярской АЭС, фильтровали и разливали по сосудам, в которые вносили исследуемые элементы (микроэлементы Mn, Fe, Cs, Ba, включая лантаноиды Ce, Pr, Nd). Для приготовления исходного раствора микроэлементов использовали природный монацит, представляющий собой химическое соединение фосфата церия и лантана и содержащий в качестве примесей все химические элементы группы церия, а также уран и торий (Поляков, 2003). Исходный раствор готовили путем растворения в серной кислоте навески 100 мг монацита и разведения ее дистиллированной водой до объема 500 мл. Такой раствор обеспечивал повышенные в эксперименте значения концентраций элементов по

Концентрации химических элементов в воде экспериментальных сосудов до начала эксперимента

Вариант опыта	Концентрация, мкг/мл						
	Mn, $n \times 10^{-3}$	Fe	Cs, $n \times 10^{-3}$	Ba, $n \times 10^{-3}$	Ce	Pr	Nd
1	2.9	0.19	0.6	8.0	0.5	0.05	0.18
2	3.4	0.23	4.5	8.6	1.0	0.10	0.35
3	3.8	0.26	6.0	9.3	1.5	0.15	0.53
4	4.2	0.29	8.0	9.9	1.9	0.20	0.71
5	4.6	0.32	9.0	10.5	2.4	0.25	0.88
6	5.0	0.36	10.0	11.2	2.9	0.30	1.05

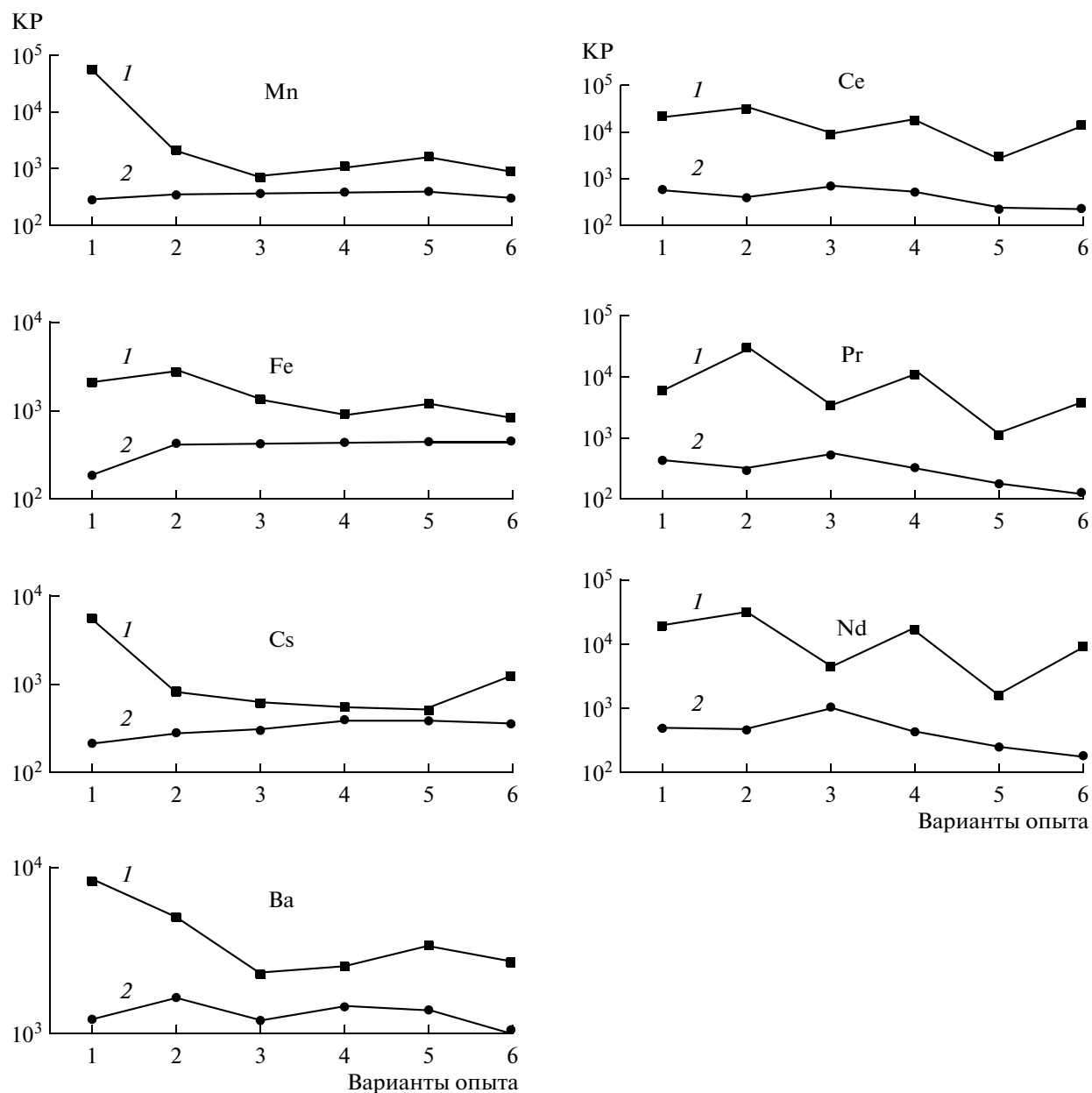


Рис. 1. Коэффициенты распределения (КР) химических элементов в живом (1) и мертвом (2) планктоне в разных вариантах опыта.

сравнению с их значениями в озерной воде (Поляков и др., 2012)

Накопление микроэлементов планктоном изучали в зависимости от их концентрации в водной среде. Для этого в разных вариантах опыта (1–6) в экспериментальные сосуды, содержащие 200 мл озерной воды, вносили различные аликвоты исходного раствора монацита, что обеспечивало градиент концентраций микроэлементов, приведенный в таблице.

Планктон для опыта отбирали в акватории водоема, примыкающей к атомной станции (район промливневого канала), из слоя воды 0–1 м от по-

верхности с помощью сачков, изготовленных из мельничного газа № 70. После сцеживания воды часть сырой массы планктона помещали в приготовленные ранее сосуды с растворами микроэлементов. Другую часть планктона на 2 мин помещали в СВЧ-печь при мощности 600 Вт и температуре 95°C, после чего соответствующую навеску убитого таким образом планктона использовали в аналогичном варианте опыта. Значения рН в экспериментальных растворах составляли 7.2–8.3.

Поскольку время жизни водорослей в условиях природного водоема весьма мало (Елизарова, 1998; Ланская, 1967), мы ограничились неболь-

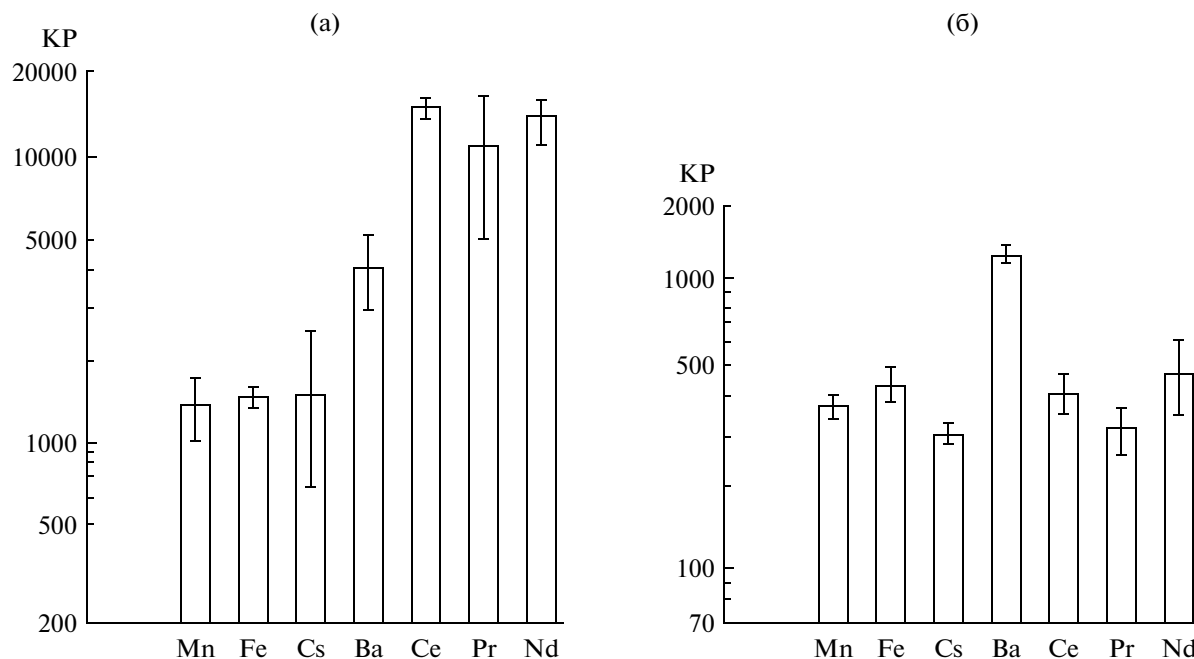


Рис. 2. Средние значения коэффициентов распределения (КР) химических элементов в вариантах с живым (а) и мертвым (б) планктоном.

шой продолжительностью опыта (6 ч), чтобы предотвратить отмирание организмов в варианте с живым планктоном. Кроме того, в условиях краткосрочного эксперимента исключались процессы разложения отмершего материала, которые могли привести к изменению его сорбционных свойств, что было показано нами ранее (Куликов, Чеботина, 1988).

После окончания эксперимента планктон отделяли от воды путем фильтрования через мембранный фильтр с размером пор 1 мкм (Хлебников и др., 2011), высушивали и растирали на электромельнице до порошкообразного состояния. Усредненные пробы растворяли в смеси азотной, соляной и фтороводородной кислот в соотношении 2 : 1 : 1 и выдерживали в автоклаве 15–30 мин при температуре 150–160°C с последующим прокаливанием в течение 2 ч в муфельной печи. Количественное определение элементов производили на квадрупольном масс-спектрометре Perkin-Elmer SCIEX (США–Канада) с использованием калибровочного стандартного раствора с требуемым диапазоном концентраций исследуемых элементов. Относительная стандартная погрешность определений не превышала 10–20%.

Для определения видового и количественного состава планктона использовали методики, описанные в работе М.Я. Чеботиной с соавт. (2002). Согласно данным анализа, в момент проведения эксперимента (июль 2012 г.) в планктоне отсутствовал зоопланктон. Фитопланктон численностью 91 млн кл/л и биомассой 59 г/м³ был пред-

ставлен 11 видами: отдел Cyanophyta – 5 видов, Chlorophyta – 3 вида, Dinophyta – 2 вида, Bacillariophyta – 1 вид. Наиболее многочисленной оказалась синезеленая водоросль *Anabaena flos-aquae* (~50 млн кл/л). По биомассе преобладала пиррофитовая водоросль *Ceratium hirundinella* (47 г/м³).

Для сравнительной оценки накопления химических элементов живым и мертвым планктоном были использованы коэффициенты распределения (КР), представляющие собой отношение концентраций данного элемента в организме и среде в условиях лабораторного эксперимента. На рис. 1 представлены КР исследуемых химических элементов в разных вариантах опыта. Видно, что каждый элемент накапливается из водной среды живым планктоном больше, чем мертвым. Очевидно, для живого и мертвого планктона характерны разные способы поглощения элементов. В первом случае поступление химических элементов внутрь клеток фитопланктона происходит преимущественно путем активной и пассивной сорбции, а во втором – за счет поверхностного осаждения коллоидных форм элементов на отмершей массе водорослей (Chebotina et al., 2014).

Две совокупности экспериментальных данных по каждому элементу в вариантах с живым и мертвым планктоном были подвергнуты статистической обработке с помощью компьютерной программы STATISTICA по критерию Вилкоксона методом парных сравнений. Установлено, что коэффициенты распределения каждого элемента

в аналогичных вариантах опыта достоверно различаются для живого и мертвого планктона (уровень значимости $p < 0.028$). В то же время КР каждого элемента не зависят от его исходной концентрации в растворе в исследованном диапазоне концентраций ($p > 0.05$).

На рис. 2 приведены усредненные для каждого элемента КР в опыте с живым и мертвым планктоном. Видно, что для живого планктона они изменяются в зависимости от элемента и для разных элементов варьируют в пределах нескольких порядков величин. Наиболее высокие средние значения КР получены для лантаноидов Се, Рг и Nd (11000–14000), а наиболее низкие – для микроэлементов Fe, Cs и Mn (1300–1600) (в случае с Mn средние значения и средние квадратичные ошибки рассчитаны для вариантов 2–6). В эксперименте с мертвым планктоном наиболее высокие значения КР отмечены для Ва (~4000). Для остальных элементов они на порядок меньше (300–400) и практически одинаковы.

Таким образом, впервые показано, что живой планктон накапливает исследуемые химические элементы достоверно больше, чем мертвый. Живой планктон накапливает лантаноиды в большей степени, чем другие изученные в эксперименте элементы. В процессе отмирания эта способность утрачивается, в результате чего все исследуемые элементы, кроме Ва, накапливаются мертвым планктоном практически одинаково.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ-Урал_а 13-03-96061 и ОХИМ РАН (12-Т-3-1019).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Елизарова В.А. Суточная динамика деления клеток диатомеи *Asterionella formosa* Hass. в естественной популяции // Биология внутренних вод. 1998. № 2. С. 28–35.

Куликов Н.В., Чеботина М.Я. Радиоэкология пресноводных биосистем. Свердловск: УрО АН СССР, 1988. 127 с.

Ланская Л.А. Суточный ход деления клеток некоторых видов планктонных водорослей Черного моря в культурах // Биология и распределение планктона Южных морей. М.: Наука, 1967. С. 16–22.

Поляков Е.В. Реакции ионно-коллоидных форм микроэлементов и радионуклидов в водных растворах. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 279 с.

Поляков Е.В., Чеботина М.Я., Хлебников Н.А. и др. Особенности накопления химических элементов планктоном пресноводного водоема // Экология. 2012. № 5. С. 1–8. [*Polyakov E.V., Chebotina M.Ya., Khlebnikov N.A.* et al. Patterns of the Accumulation of Chemical Elements in the Plankton of a Fresh Water Body // *Rus. J. Ecology*. 2012. № 5. P. 353–360].

Тимофеева-Ресовская Е.А. Распределение радиоизотопов по основным компонентам пресноводных водоемов // Труды Института биологии. Вып. 30. Свердловск: УФАН СССР, 1963. 77 с.

Трапезников А.В., Чеботина М.Я., Трапезникова В.Н. и др. Влияние АЭС на радиоэкологическое состояние водоема-охладителя. Екатеринбург: Изд-во “Академ-Наука”, 2008. 400 с.

Хлебников Н.А., Поляков Е.В., Борисов С.В. и др. Возможности применения композитных трековых мембран с нитритным покрытием для фракционирования микроэлементов в природной воде // Радиохимия. 2011. Т. 53. № 1. С. 91–96.

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.

Chebotina M.Ya., Guseva V.P., Polyakov E.V. Zooplankton of the cooling reservoir of the Beloyarka Nuclear Power Station: Species characterization and accumulative ability. Ch. 5 // *Zooplankton: species diversity, distribution and seasonal dynamics*. P. 127–148 / Ed. Kehayias G. Published by Nova Science Publishers, Inc. New York, 2014. 252 p. ISBN 978-62948-720-5 (eBook).