

МОНІТОРИНГ І СТАН ДОВКІЛЛЯ

УДК 551.557.550.424

А.И. Рябинин, Л.Л. Смирнова, С.А. Боброва,
В.Ю. Еркушов, Е.А. Данилова, Ю.А. Мальченко,
Н.А. Андреева

СОСТОЯНИЕ ХИМИКО-МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ БИОСФЕРЫ РЕГИОНА СЕВАСТОПОЛЯ С АТМОСФЕРНЫМИ ОСАДКАМИ И АЭРОЗОЛЯМИ В ПЕРИОД 2008 – 2010 гг.

Изучены закономерности поступления многоэлементного комплекса, суммы бета-радионуклидов, микробиоты и химических веществ (анионных синтетических поверхностно-активных веществ – АСПАВ, ионов H_3^+O) с атмосферными осадками на водную поверхность региона г. Севастополя в период 2008 и 2009 гг. Также изучен многоэлементный комплекс химического состава морских аэрозолей и суммы бета-радионуклидов в биосфере города в весенний период 2010 г.

Ключевые слова: Севастополь, атмосферные выпадения, аэрозоли, микробиота, сумма бета-радионуклидов, микроэлементы.

Введение

Атмосферные осадки (выпадения) и аэрозоли в настоящее время являются значимыми источниками загрязнения биосферы в районе г. Севастополя комплексом соединений тяжелых металлов и других микро- и макроэлементов, целый ряд из которых обладает токсическими свойствами. Этот вывод основывается на результатах многолетних исследований (практически с 1975 г.) в МО УкрНИГМИ, выполненных с применением ядерно-физических, атомно-абсорбционного и спектрального методов определения химических элементов в объектах биосферы: атмосфере, поверхностных водах и фитообразцах [1-6]. В период по 2008 г. было определено нейтронно-активационным и рентгенорадиометрическими методами в потоках атмосферных выпадений на водную поверхность и в аэрозолях до 42 элементов (Na, K, Rb, Cs, Cu,

Ag, Au, Ca, Sr, Ba, Zn, Cd, Hg, Sc, La, Ce, Nd, Ti, Zr, V, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Th, U, Hf, Ta, As, Sb, Cr, Se, Mo, W, Mn, Cl, Br, Fe, Co, Ni, Pb), концентрации которых в процессе мониторинга изменялись во времени немонотонно в широком интервале их величин. В фитообразцах (листья розы) спектральным анализом были определены до 29 элементов: Na, Si, Ca, Fe, Al, Mg, P, Ba, Ti, Cu, Zn, Mn, Zr, Nb, La, Y, Sb, V, Co, Ni, Cr, V, Sn, Be, Ga, Yb, Ag, Hg. В процессе этих исследований было также установлено, что атмосферные выпадения содержат патогенную микробиоту, грибы, лишайники, природа которых изменяется во времени и потенциально опасна в биосфере возможностью возникновения экологических и медицинских проблем [4, 7-10]. Впервые выявлена характерная временная изменчивость физико-химических свойств атмосферных выпадений (изменчивость их растворимости в воде и цвете) [4, 11]. В этот период исследований на МГ «Севастополь» проводился отбор проб атмосферных выпадений на планшетный пробоотборник с тканью Петрянова, в которых определялось содержание суммы бета-радионуклидов ($\text{Бк}/\text{м}^2 \cdot \text{сут}$). Потоки данных радионуклидов [12] так же, как потоки вышеуказанных химических элементов, немонотонно изменялись во времени.

Цели и задачи исследования

Изучить временную изменчивость концентраций химических элементов, атомные номера которых находятся в интервале значений 11-92, и сумм бета-радионуклидов, поступавших с атмосферными выпадениями на поверхность г. Севастополя в 2008-2009 гг. Одновременно изучить изменчивость микробиологического состава (спор, грибов, диатомей, цианобактерий, зеленых водорослей и др.) этих выпадений и их физико-химические характеристики.

Исследовать многоэлементный состав и оценить величины сумм бета-радионуклидов в аэрозолях биосферы г. Севастополя в 2010 г.

Оценить состояние загрязнения вод г. Севастополя химическим многоэлементным комплексом и суммой бета-радионуклидов, содержащимися в атмосферных выпадениях.

Материалы и методы исследований

Пробы атмосферных выпадений с экспозицией, равной календарному месяцу, отбирались ежемесячно на МГ «Севастополь» пробоотборником, состоящим из пластиковой емкости диаметром 55 см,

содержащей не менее 1 л бидистиллированной воды при отсутствии дождевых вод. Каждая проба, состоящая из раствора и осадка, фильтровалась через ядерный фильтр с диаметром пор 0,41-0,46 мкм. Фильтрат выпаривался досуха, а осадок на фильтре высушивался при температуре ≤ 105 °С. Данные пробы анализировались многоэлементным нейтронно-активационным методом на содержание 39 элементов [13], в том числе – впервые на содержание Mg и I в Институте ядерной физики АН Республики Узбекистан, и Sr, определенное там же рентгенорадиометрическим методом. Пробы атмосферных выпадений и аэрозолей для определения суммарных бета-радионуклидов отбирались на МГ «Севастополь» ее специалистами, а радиометрический анализ выполнялся специалистами Центральной геофизической обсерватории.

Микроорганизмы изучались после инкубации суспензии атмосферных выпадений в физиологическом растворе в течение 7-8 суток при температуре 23-28 °С и освещенности 700-2000 люкс прямой световой микроскопией при увеличении $\times 600$. Цианобактерии и зеленые микроводоросли идентифицировались по стандартным морфологическим характеристикам [7, 9].

Определение величин рН и концентраций АСПАВ проводилось в дождевых осадках, пробы которых отбирались также на МГ «Севастополь» и определение которых осуществлялось физико-химическими методами [14].

Пробы аэрозолей отобраны на фильтры АФА-2ФП-3 по методике [10] пробоотборником, расположенным на высоте 106 м над уровнем моря (центр г. Севастополя). При этом во время отбора проб аэрозолей пробоотборник был направлен в сторону моря и преимущественно против направления ветра с целью отбора в основном проб морских аэрозолей. Метеорологические характеристики были взяты из источника [http:// www.sevmeteo.info](http://www.sevmeteo.info).

Определение на фильтрах большинства элементов в пробах аэрозолей проводилось нейтронно-активационным [13], а Al и Pb – атомно-абсорбционным методом [10].

Микроорганизмы в аэрозолях определялись аналогично их определению в атмосферных выпадениях.

Результаты и их обсуждение

Атмосферные выпадения

Результаты мониторинга концентраций химических элементов и суммарных бета-радионуклидов в атмосферных выпадениях в 2008 и

2009 гг. представлены соответственно в табл. 1 и 2, которые содержат данные по 37 и 39 элементам соответственно. Величины концентраций всех элементов не превышали пределов $7,8 \cdot 10^7$ (у Na) – $6 \cdot 10^{-2}$ (у Au) нМ/м²·мес., где Na – в форме (P), а Au – в форме (H).

Концентрации всех элементов в течение 24 месяцев непрерывного мониторинга так же, как и ранее [1-6], изменялись немонотонно во времени с различной для каждого элемента переменной скоростью. Так, например, сумма концентраций (H+P) Na изменялась в пределах $2 \cdot 10^5$ – $4 \cdot 10^7$, а аналогичная сумма у Au изменялась в пределах 0,07–2,6 нМ/м²·мес. Для нерастворимой формы (H) элементов максимальные величины средних концентраций (≤ 5000 нМ/м²·год) наблюдались у Na, K, Cu, Sb, Ba, Zn, Cr, Mn, Fe, Ni в течение всего периода мониторинга, а у Ca, Sr – только в 2008 г. Для растворенной формы (P) элементов максимальные концентрации Na, K, Cu, Sb, Zn, Br, Fe наблюдались постоянно в период мониторинга, в 2009 г. – только у Ca, Ba, Ni, в 2008 г. – только у Mn и Ni. Минимальные средние концентрации ($\leq 0,05$ нМ/м²·год) наблюдались у нерастворимой формы Au, Hg, Eu, Tb, Lu постоянно, а у Cd, U, Ta – только в 2008 г. Аналогичные минимальные величины наблюдались только в растворенной формы Tb в 2008 г.

Выявлены также «аномалии» величин соотношений средних концентраций обеих форм элементов в подгруппах химических аналогов периодической системы химических элементов Д.И. Менделеева. Так, в подгруппе щелочных металлов в 2008 г. средние концентрации нерастворимой формы Na < K, в подгруппе щелочноземельных металлов в обеих формах Ca < Sr, и только в 2008 г. средняя концентрация микроэлемента Ba (P) примерно в 3 раза меньше концентрации макроэлемента Ca (P), но его средняя концентрация в нерастворимой форме в 2009 г. практически в 20 раз выше соответствующей концентрации Ca (H) (16700 и 850 нМ/м²·год). У лантанидов также отмечается «сдвиг» элементов: в растворенной форме средние концентрации Nd и Lu значительно превышали в период исследований соответствующие концентрации других исследованных лантанидов, и такое же положение наблюдалось у Nd (H) в 2009 г.

Аналогичное положение наблюдалось в растворенной форме (у Th и U): в 2009 г. содержание U (P) превышало содержание Th (P) более чем в 3 раза, а содержание U (H) было примерно в 4 раза меньше содержания Th (H).

Таблица 1

Экстремальные (min, max) и средние (С) концентрации (нМ/м²·мес) нерастворимой (Н) и растворимой (Р) форм, суммы обеих форм (Н+Р) элементов и величины суммарных бета-радионуклидов (Бк/м²·мес), выпавших из атмосферы в месячные периоды мониторинга в г. Севастополе в 2008 г.

Элементы	Н					Р					Н+Р				
	min		max		С	min		max		С	min		max		С
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Na	4,4·10 ⁴	I	7,1·10 ⁵	VII	2,7·10 ⁵	3,0·10 ³	XI	7,6·10 ⁶	V	2,5·10 ⁶	2,0·10 ⁵	XI	7,8·10 ⁶	V	2,8·10 ⁶
K	8,5·10 ⁴	I	1,1·10 ⁶	IX	4,7·10 ⁵	1,2·10 ³	XI	1,3·10 ⁶	V	4,2·10 ⁵	2,9·10 ⁵	XI	1,6·10 ⁶	VI	8,9·10 ⁵
Rb	5,7·10 ⁰	III	1,1·10 ³	VII	5,4·10 ²	5,4·10 ⁰	XI	4,5·10 ²	V	1,0·10 ²	1,1·10 ²	III	1,2·10 ³	VII	6,4·10 ²
Cs	3,7·10 ⁻¹	III	4,7·10 ¹	IV	2,1·10 ¹	3,0·10 ⁻²		1,3·10 ⁰	I	2,4·10 ⁻¹	6,6·10 ⁻¹	III	4,7·10 ¹	IV	2,1·10 ¹
Cu	3,7·10 ³	V	2,5·10 ⁴	VIII	8,2·10 ³	4,0·10 ¹	X	4,0·10 ⁴	V	7,8·10 ³	5,0·10 ³	I	4,3·10 ⁴	V	1,6·10 ⁴
Ag	4,8·10 ⁰	V	4,4·10 ²	III	7,8·10 ¹	5,6·10 ⁻¹	VIII	1,6·10 ²	XII	2,4·10 ¹	5,4·10 ⁰	V	4,4·10 ²	III	1,0·10 ²
Au	2,0·10 ⁻²	III	1,1·10 ⁰	VIII	4,0·10 ⁻¹	2,0·10 ⁻²	IX	3,7·10 ⁻¹	I	1,5·10 ⁻¹	0,7·10 ⁻¹	IV	1,2·10 ⁰	VIII	5,4·10 ⁻¹
Ca	6,1·10 ¹	III	1,6·10 ⁴	VIII	3,7·10 ³	1,2·10 ¹	XI	5,6·10 ³	V	1,8·10 ³	1,6·10 ³	III	1,7·10 ⁴	VIII	5,6·10 ³
Sr	5,6·10 ²	III	2,9·10 ⁴	VIII	6,7·10 ³	5,3·10 ¹	XI	2,1·10 ⁴	V	4,6·10 ³	8,6·10 ²	IV	3,1·10 ⁴	VIII	1,1·10 ⁴
Ba	3,6·10 ²	III	1,3·10 ⁴	XII	5,5·10 ³	3,4·10 ¹	XI	2,8·10 ³	V	6,3·10 ²	9,8·10 ²	III	1,3·10 ⁴	XII	6,1·10 ³
Zn	8,9·10 ³	I	1,6·10 ⁵	VIII	4,3·10 ⁴	1,6·10 ²	IX	2,2·10 ⁴	III	4,7·10 ³	1,2·10 ⁴	I	1,6·10 ⁵	VIII	4,8·10 ⁴
Cd	1,8·10 ⁰	XII	1,3·10 ¹	VI	5,7·10 ⁰	6,5·10 ⁻¹	X	8,6·10 ⁰	I	4,7·10 ⁰	3,3·10 ⁰	X	1,9·10 ¹	I	1,0·10 ¹
Hg	2,4·10 ⁻¹	III	1,5·10 ¹	VIII	3,9·10 ⁰	3,0·10 ⁻²	IV	4,8·10 ⁰	V	8,9·10 ⁻¹	3,7·10 ⁻¹	IV	1,5·10 ¹	VIII	4,8·10 ⁰
Sc	6,4·10 ¹	V	3,9·10 ²	III	1,9·10 ²	6,0·10 ⁻²	IX	3,5·10 ⁰	IV	8,2·10 ⁻¹	6,7·10 ¹	V	3,9·10 ²	III	1,9·10 ²
La	6,5·10 ¹	I	7,4·10 ²	III	2,4·10 ²	5,0·10 ⁻³	X	1,7·10 ¹	I	1,7·10 ⁰	7,9·10 ¹	X	7,4·10 ²	III	2,4·10 ²
Ce	1,1·10 ²	V	5,5·10 ²	III	3,1·10 ²	5,0·10 ⁻²	X	7,8·10 ⁰	V	3,3·10 ⁰	1,2·10 ²	V	5,6·10 ²	III	3,1·10 ²

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Nd	$1,4 \cdot 10^0$	XII	$1,2 \cdot 10^2$	II	$1,4 \cdot 10^1$	$2,8 \cdot 10^0$	II	$5,8 \cdot 10^1$	XII	$1,1 \cdot 10^1$	$6,2 \cdot 10^0$	VII	$1,2 \cdot 10^2$	II	$2,4 \cdot 10^1$
Sm	$7,3 \cdot 10^0$	I	$1,2 \cdot 10^2$	III	$2,9 \cdot 10^1$	$5,0 \cdot 10^{-3}$	X	$6,4 \cdot 10^{-1}$	I	$2,9 \cdot 10^{-1}$	$7,9 \cdot 10^0$	I	$1,2 \cdot 10^2$	III	$2,9 \cdot 10^1$
Eu	$3,2 \cdot 10^{-1}$	III	$9,0 \cdot 10^0$	IV	$4,6 \cdot 10^0$	$5,0 \cdot 10^{-2}$	X	$6,3 \cdot 10^{-1}$	I	$3,1 \cdot 10^{-1}$	$3,7 \cdot 10^{-1}$	III	$9,0 \cdot 10^0$	IV	$4,9 \cdot 10^0$
Tb	$3,1 \cdot 10^{-1}$	III	$1,2 \cdot 10^1$	X	$3,1 \cdot 10^0$	$5,0 \cdot 10^{-3}$	X	$6,0 \cdot 10^{-2}$	I	$3,0 \cdot 10^{-2}$	$3,5 \cdot 10^{-1}$	III	$1,2 \cdot 10^1$	X	$3,1 \cdot 10^0$
Yb	$2,8 \cdot 10^{-1}$	III	$2,2 \cdot 10^1$	VIII	$7,7 \cdot 10^0$	$4,0 \cdot 10^{-2}$	X	$5,5 \cdot 10^{-1}$	I	$3,0 \cdot 10^{-1}$	$7,4 \cdot 10^{-1}$	III	$2,2 \cdot 10^1$	VIII	$8,0 \cdot 10^0$
Lu	$3,0 \cdot 10^{-2}$	III	$4,0 \cdot 10^0$	IV	$1,3 \cdot 10^0$	$4,0 \cdot 10^{-4}$	X	$5,5 \cdot 10^{-1}$	I	$2,4 \cdot 10^{-1}$	$4,8 \cdot 10^{-1}$	III	$4,0 \cdot 10^0$	IV	$1,5 \cdot 10^0$
Th	$9,2 \cdot 10^0$	I	$7,2 \cdot 10^1$	III	$3,6 \cdot 10^1$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	X	$4,1 \cdot 10^{-1}$	I	$1,8 \cdot 10^{-1}$	$1,0 \cdot 10^1$	I	$7,2 \cdot 10^1$	III	$3,6 \cdot 10^1$
U	$1,7 \cdot 10^{-1}$	V	$1,8 \cdot 10^1$	IX	$5,3 \cdot 10^0$	$3,0 \cdot 10^{-2}$	X	$4,0 \cdot 10^{-1}$	I	$2,2 \cdot 10^{-1}$	$3,7 \cdot 10^{-1}$	VII	$1,8 \cdot 10^1$	IX	$5,5 \cdot 10^0$
Hf	$2,7 \cdot 10^{-1}$	III	$4,6 \cdot 10^1$	IV	$2,0 \cdot 10^1$	$5,0 \cdot 10^{-2}$	XI	$3,4 \cdot 10^0$	V	$7,3 \cdot 10^{-1}$	$7,2 \cdot 10^{-1}$	III	$4,7 \cdot 10^1$	IV	$2,1 \cdot 10^1$
Ta	$2,7 \cdot 10^{-1}$	III	$1,1 \cdot 10^1$	IV	$3,3 \cdot 10^0$	$4,0 \cdot 10^{-2}$	X	$5,3 \cdot 10^{-1}$	I	$2,9 \cdot 10^{-1}$	$5,3 \cdot 10^{-1}$	IX	$1,1 \cdot 10^1$	IV	$3,5 \cdot 10^0$
As	$5,3 \cdot 10^0$	V	$2,0 \cdot 10^2$	I	$4,8 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^{-1}$	X	$5,0 \cdot 10^1$	I	$9,4 \cdot 10^0$	$1,2 \cdot 10^1$	VII	$2,6 \cdot 10^2$	I	$6,0 \cdot 10^1$
Sb	$1,1 \cdot 10^2$	I	$2,0 \cdot 10^5$	III	$2,1 \cdot 10^4$	$8,0 \cdot 10^{-1}$	XI	$2,2 \cdot 10^3$	V	$6,4 \cdot 10^2$	$6,6 \cdot 10^2$	I	$2,0 \cdot 10^5$	III	$2,1 \cdot 10^4$
Cr	$2,9 \cdot 10^3$	V	$1,8 \cdot 10^4$	XII	$9,2 \cdot 10^3$	$2,8 \cdot 10^0$	I	$1,0 \cdot 10^3$	V	$3,1 \cdot 10^2$	$4,0 \cdot 10^3$	V	$1,9 \cdot 10^4$	XII	$9,5 \cdot 10^3$
Mo	$4,2 \cdot 10^0$	V	$8,3 \cdot 10^2$	XI	$9,6 \cdot 10^1$	$7,6 \cdot 10^{-1}$	X	$4,8 \cdot 10^1$	I	$1,0 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^1$	IX	$8,3 \cdot 10^2$	XI	$1,1 \cdot 10^2$
W	$2,2 \cdot 10^0$	V	$7,8 \cdot 10^1$	II	$1,3 \cdot 10^1$	$2,2 \cdot 10^1$	II,VI-IX	$5,3 \cdot 10^1$	I	$3,0 \cdot 10^1$	$2,5 \cdot 10^1$	VII	$1,0 \cdot 10^2$	II	$4,3 \cdot 10^1$
Se	$5,1 \cdot 10^{-1}$	V	$4,5 \cdot 10^2$	IX	$5,5 \cdot 10^1$	$5,1 \cdot 10^{-1}$	IX	$2,2 \cdot 10^1$	V	$5,8 \cdot 10^0$	$1,6 \cdot 10^0$	IV	$4,6 \cdot 10^2$	IX	$6,0 \cdot 10^1$
Mn	$7,2 \cdot 10^3$	V	$1,1 \cdot 10^5$	II	$2,8 \cdot 10^4$	$2,6 \cdot 10^1$	XI	$3,6 \cdot 10^4$	III	$5,6 \cdot 10^3$	$1,1 \cdot 10^4$	X	$1,2 \cdot 10^5$	II	$3,3 \cdot 10^4$
Br	$6,1 \cdot 10^0$	III	$9,5 \cdot 10^2$	VIII	$4,4 \cdot 10^2$	$2,4 \cdot 10^2$	IX	$8,8 \cdot 10^3$	V	$3,8 \cdot 10^3$	$7,1 \cdot 10^2$	IX	$9,0 \cdot 10^3$	V	$4,3 \cdot 10^3$
Fe	$3,4 \cdot 10^5$	V	$2,0 \cdot 10^6$	VIII	$1,1 \cdot 10^6$	$8,7 \cdot 10^2$	III	$1,1 \cdot 10^5$	VII	$1,4 \cdot 10^4$	$3,6 \cdot 10^5$	V	$2,0 \cdot 10^6$	VIII	$1,1 \cdot 10^6$
Co	$8,1 \cdot 10^1$	V	$4,3 \cdot 10^2$	XI	$2,2 \cdot 10^2$	$1,0 \cdot 10^0$	IX	$1,1 \cdot 10^2$	VI	$2,2 \cdot 10^1$	$1,2 \cdot 10^2$	I	$4,3 \cdot 10^2$	XI	$2,4 \cdot 10^2$
Ni	$8,3 \cdot 10^2$	III	$1,1 \cdot 10^4$	XII	$4,8 \cdot 10^3$	$6,9 \cdot 10^1$	IX	$3,9 \cdot 10^3$	I	$9,8 \cdot 10^2$	$1,3 \cdot 10^3$	IV	$1,1 \cdot 10^4$	XII	$5,8 \cdot 10^3$
Бк/м²·мес	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	53,7	VI	67,2	X	59,9

Таблица 2

Экстремальные (min, max) и средние (С) концентрации (нМ/м²·мес) нерастворимой (Н) и растворимой (Р) форм, суммы обеих форм (Н+Р) элементов и величины суммарных бета-радионуклидов (Бк/м²·мес), выпавших из атмосферы в месячные периоды мониторинга в г. Севастополе в 2009 г.

Элементы	Н					Р					Н+Р				
	Min		Max		С	Min		Max		С	Min		Max		С
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Na	1,5·10 ⁴	I	7,8·10 ⁶	VII	9,0·10 ⁵	6,1·10 ⁵	II	4,1·10 ⁷	VI	1,8·10 ⁷	7,1·10 ⁵	II	4,1·10 ⁷	VI	1,9·10 ⁷
K	1,4·10 ⁴	I	1,7·10 ⁶	VII	4,8·10 ⁵	1,2·10 ³	VI	2,8·10 ⁶	VIII	1,1·10 ⁶	9,0·10 ⁴	I	3,7·10 ⁶	VIII	1,6·10 ⁶
Rb	3,1·10 ¹	I	2,2·10 ³	VIII	8,5·10 ²	2,2·10 ¹	II	7,5·10 ²	XII	2,7·10 ²	6,3·10 ¹	I	2,6·10 ³	VIII	1,2·10 ³
Cs	2,3·10 ⁰	I	6,4·10 ¹	VIII	2,9·10 ¹	2,0·10 ⁻²	III	3,3·10 ⁰	XII	8,4·10 ⁻¹	2,7·10 ⁰	I	6,4·10 ¹	VIII	3,1·10 ¹
Cu	7,6·10 ²	III	2,0·10 ⁴	XI	7,6·10 ³	9,6·10 ²	III	1,6·10 ⁵	IX	6,4·10 ⁴	1,7·10 ³	III	1,7·10 ⁵	IX	7,1·10 ⁴
Ag	2,9·10 ⁰	I	2,2·10 ²	VIII	6,4·10 ¹	2,6·10 ⁻¹	III	8,9·10 ¹	XII	1,6·10 ¹	6,0·10 ⁰	I	2,4·10 ²	XII	8,4·10 ¹
Au	6,0·10 ⁻²	VI	1,9·10 ⁰	XII	5,3·10 ⁻¹	1,0·10 ⁻²	IX	9,3·10 ⁻¹	XI	2,4·10 ⁻¹	1,4·10 ⁻¹	I	2,6·10 ⁰	XII	7,6·10 ⁻¹
Mg	2,1·10 ¹	XI	1,0·10 ³	VIII	5,4·10 ²	<2,2·10 ⁰	VIII-XI	1,2·10 ³	VIII	6,0·10 ²	4,3·10 ¹	XI	1,7·10 ³	VIII	8,7·10 ²
Ca	5,2·10 ¹	I	1,7·10 ³	VIII	8,5·10 ²	2,9·10 ²	III	2,0·10 ⁴	X	6,2·10 ³	9,0·10 ²	III	2,2·10 ⁴	X	7,1·10 ³
Sr	8,5·10 ¹	I	2,2·10 ⁴	XII	6,6·10 ³	1,4·10 ³	III	8,1·10 ⁴	XI	3,6·10 ⁴	1,6·10 ³	III	9,8·10 ⁴	XI	4,3·10 ⁴
Ba	1,3·10 ³	III	1,1·10 ⁵	VII	1,7·10 ⁴	3,0·10 ¹	III	1,1·10 ⁴	XI	3,6·10 ³	1,3·10 ³	III	1,2·10 ⁵	VII	2,2·10 ⁴
Zn	1,8·10 ³	I	1,3·10 ⁵	VIII	4,1·10 ⁴	4,8·10 ¹	III	1,2·10 ⁴	VIII	3,9·10 ³	5,3·10 ³	I	1,4·10 ⁵	VIII	4,8·10 ⁴
Cd	5,4·10 ⁻¹	VI	1,7·10 ³	XII	3,1·10 ²	1,9·10 ⁻¹	III*	4,1·10 ⁰	VI*	2,9·10 ⁰	1,5·10 ⁰	III*	4,8·10 ⁰	II*	3,8·10 ⁰
Hg	2,5·10 ⁻¹	I	8,0·10 ⁰	XII	2,7·10 ⁰	1,0·10 ⁻²	VII	3,2·10 ⁰	XI	8,0·10 ⁻¹	5,5·10 ⁻¹	I	9,4·10 ⁰	XII	3,7·10 ⁰
Sc	2,1·10 ¹	I	4,1·10 ²	VIII	2,0·10 ²	4,0·10 ⁻²	III	2,8·10 ⁰	VII	1,2·10 ⁰	2,2·10 ¹	I	4,1·10 ²	VIII	2,1·10 ²
La	1,5·10 ⁻¹	V	4,8·10 ²	VIII	1,9·10 ²	2,0·10 ⁻³	III	3,3·10 ⁰	XI	4,3·10 ⁻¹	1,4·10 ¹	I	4,8·10 ²	VIII	2,1·10 ²
Ce	2,5·10 ¹	I	7,8·10 ²	VIII	3,3·10 ²	2,0·10 ⁻²	III	3,3·10 ²	XI	4,0·10 ¹	2,5·10 ¹	I	7,8·10 ²	VIII	3,9·10 ²

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Nd	$5,2 \cdot 10^{-1}$	I	$2,0 \cdot 10^3$	XII	$3,6 \cdot 10^2$	$1,5 \cdot 10^0$	III	$3,2 \cdot 10^3$	XI	$3,9 \cdot 10^2$	$2,4 \cdot 10^1$	VI	$4,2 \cdot 10^3$	XI	$7,8 \cdot 10^2$
Sm	$1,4 \cdot 10^0$	I	$4,9 \cdot 10^1$	VIII	$2,1 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	III	$3,1 \cdot 10^0$	VI	$7,4 \cdot 10^{-1}$	$1,5 \cdot 10^0$	I	$4,9 \cdot 10^1$	VIII	$2,3 \cdot 10^1$
Eu	$3,9 \cdot 10^{-1}$	I	$1,2 \cdot 10^1$	VIII	$6,0 \cdot 10^0$	$1,4 \cdot 10^{-2}$	III	$3,0 \cdot 10^1$	XI	$3,7 \cdot 10^0$	$6,6 \cdot 10^{-1}$	I	$3,3 \cdot 10^1$	XI	$1,0 \cdot 10^1$
Tb	$1,9 \cdot 10^{-1}$	I	$6,6 \cdot 10^0$	VIII	$2,8 \cdot 10^0$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	III*	$2,9 \cdot 10^{-1}$	VI*	$9,0 \cdot 10^{-2}$	$2,1 \cdot 10^{-1}$	I	$2,3 \cdot 10^0$	II*	$1,1 \cdot 10^0$
Yb	$7,0 \cdot 10^{-1}$	I	$3,3 \cdot 10^1$	VIII	$1,4 \cdot 10^1$	$1,3 \cdot 10^{-2}$	III*	$2,7 \cdot 10^{-1}$	VI*	$1,9 \cdot 10^{-1}$	$9,4 \cdot 10^{-1}$	I	$9,4 \cdot 10^0$	II*	$4,5 \cdot 10^0$
Lu	$8,0 \cdot 10^{-2}$	I	$2,5 \cdot 10^0$	VIII	$1,2 \cdot 10^0$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	III	$2,6 \cdot 10^1$	XI	$3,1 \cdot 10^0$	$9,0 \cdot 10^{-2}$	I	$2,7 \cdot 10^1$	XI	$4,4 \cdot 10^0$
Th	$2,6 \cdot 10^0$	I	$9,1 \cdot 10^1$	VIII	$3,8 \cdot 10^1$	$9,0 \cdot 10^{-4}$	III	$2,6 \cdot 10^0$	I	$9,5 \cdot 10^{-1}$	$5,2 \cdot 10^0$	I	$9,2 \cdot 10^1$	VIII	$4,1 \cdot 10^1$
U	$7,3 \cdot 10^{-1}$	I	$2,2 \cdot 10^1$	VIII	$1,0 \cdot 10^1$	$9,0 \cdot 10^{-3}$	III	$1,9 \cdot 10^1$	XI	$3,0 \cdot 10^0$	$9,0 \cdot 10^{-1}$	I	$2,7 \cdot 10^1$	XI	$1,4 \cdot 10^1$
Hf	$1,5 \cdot 10^0$	I	$6,6 \cdot 10^1$	VIII	$2,9 \cdot 10^1$	$2,0 \cdot 10^{-2}$	I II	$4,1 \cdot 10^0$	XII	$9,0 \cdot 10^{-1}$	$1,5 \cdot 10^0$	I	$6,7 \cdot 10^1$	VIII	$3,2 \cdot 10^1$
Ta	$3,1 \cdot 10^{-1}$	I	$5,6 \cdot 10^1$	XI	$9,0 \cdot 10^0$	$1,0 \cdot 10^{-2}$	III*	$2,6 \cdot 10^{-1}$	VI*	$1,8 \cdot 10^{-1}$	$5,3 \cdot 10^{-1}$	I	$2,5 \cdot 10^0$	II*	$1,3 \cdot 10^0$
As	$4,4 \cdot 10^1$	XI	$2,7 \cdot 10^2$	IX	$1,8 \cdot 10^2$	$3,0 \cdot 10^{-2}$	III*	$5,4 \cdot 10^{-1}$	I, II*	$3,7 \cdot 10^{-1}$	-	-	-	-	-
Sb	$2,3 \cdot 10^1$	VI	$1,8 \cdot 10^3$	XI	$2,9 \cdot 10^2$	$1,5 \cdot 10^1$	VI	$6,6 \cdot 10^2$	I	$2,0 \cdot 10^2$	$3,8 \cdot 10^1$	VI	$2,0 \cdot 10^3$	XI	$5,1 \cdot 10^2$
Cr	$1,1 \cdot 10^3$	VI	$2,3 \cdot 10^4$	II	$9,3 \cdot 10^3$	$1,5 \cdot 10^1$	III	$1,4 \cdot 10^3$	XI	$4,6 \cdot 10^2$	$1,3 \cdot 10^3$	VI	$2,3 \cdot 10^4$	II	$1,0 \cdot 10^4$
Mo	$1,4 \cdot 10^0$	II	$2,3 \cdot 10^2$	XI	$6,6 \cdot 10^1$	$2,3 \cdot 10^{-1}$	III	$2,2 \cdot 10^2$	VIII	$1,1 \cdot 10^2$	$5,6 \cdot 10^0$	II	$3,9 \cdot 10^2$	XI	$1,8 \cdot 10^2$
W	$3,3 \cdot 10^1$	VII*	$1,1 \cdot 10^3$	XII*	$3,5 \cdot 10^2$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Se	$2,5 \cdot 10^0$	VIII	$5,6 \cdot 10^1$	VII	$2,1 \cdot 10^1$	$2,0 \cdot 10^0$	III	$7,9 \cdot 10^1$	VII	$3,8 \cdot 10^1$	$1,1 \cdot 10^1$	II	$1,4 \cdot 10^2$	VII	$5,9 \cdot 10^1$
Mn	$2,5 \cdot 10^3$	I	$3,3 \cdot 10^4$	XII	$1,4 \cdot 10^4$	$3,9 \cdot 10^{-1}$	III	$5,4 \cdot 10^3$	XI	$1,6 \cdot 10^3$	$3,7 \cdot 10^3$	I	$3,7 \cdot 10^4$	XII	$1,6 \cdot 10^4$
I	$<2,1 \cdot 10^{-1}$	VIII	$2,9 \cdot 10^0$	X	$1,5 \cdot 10^0$	$<2,2 \cdot 10^0$	IX	$2,3 \cdot 10^1$	VII	$1,2 \cdot 10^1$	$1,3 \cdot 10^0$	XI	$2,3 \cdot 10^1$	VII	$1,2 \cdot 10^1$
Br	$2,2 \cdot 10^1$	VI	$7,3 \cdot 10^2$	XI	$2,9 \cdot 10^2$	$1,8 \cdot 10^2$	III	$4,0 \cdot 10^4$	VIII	$2,0 \cdot 10^4$	$2,9 \cdot 10^2$	III	$4,0 \cdot 10^4$	VIII	$2,0 \cdot 10^4$
Fe	$1,4 \cdot 10^5$	VI	$1,7 \cdot 10^6$	XII	$8,2 \cdot 10^5$	$2,3 \cdot 10^2$	III	$4,1 \cdot 10^4$	VI	$8,1 \cdot 10^3$	$1,6 \cdot 10^5$	I	$1,7 \cdot 10^6$	XII	$8,8 \cdot 10^5$
Co	$3,4 \cdot 10^1$	I	$6,6 \cdot 10^2$	XII	$2,8 \cdot 10^2$	$1,3 \cdot 10^0$	III	$5,1 \cdot 10^1$	VIII	$1,7 \cdot 10^1$	$4,2 \cdot 10^1$	I	$6,9 \cdot 10^2$	XII	$3,2 \cdot 10^2$
Ni	$1,3 \cdot 10^2$	I	$3,5 \cdot 10^4$	IX	$1,2 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^2$	III	$2,0 \cdot 10^4$	XI	$8,6 \cdot 10^3$	$1,2 \cdot 10^3$	I	$4,6 \cdot 10^4$	IX	$2,2 \cdot 10^4$
Бк/м ² ·мес	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	53,7	VI	67,2	X	59,9

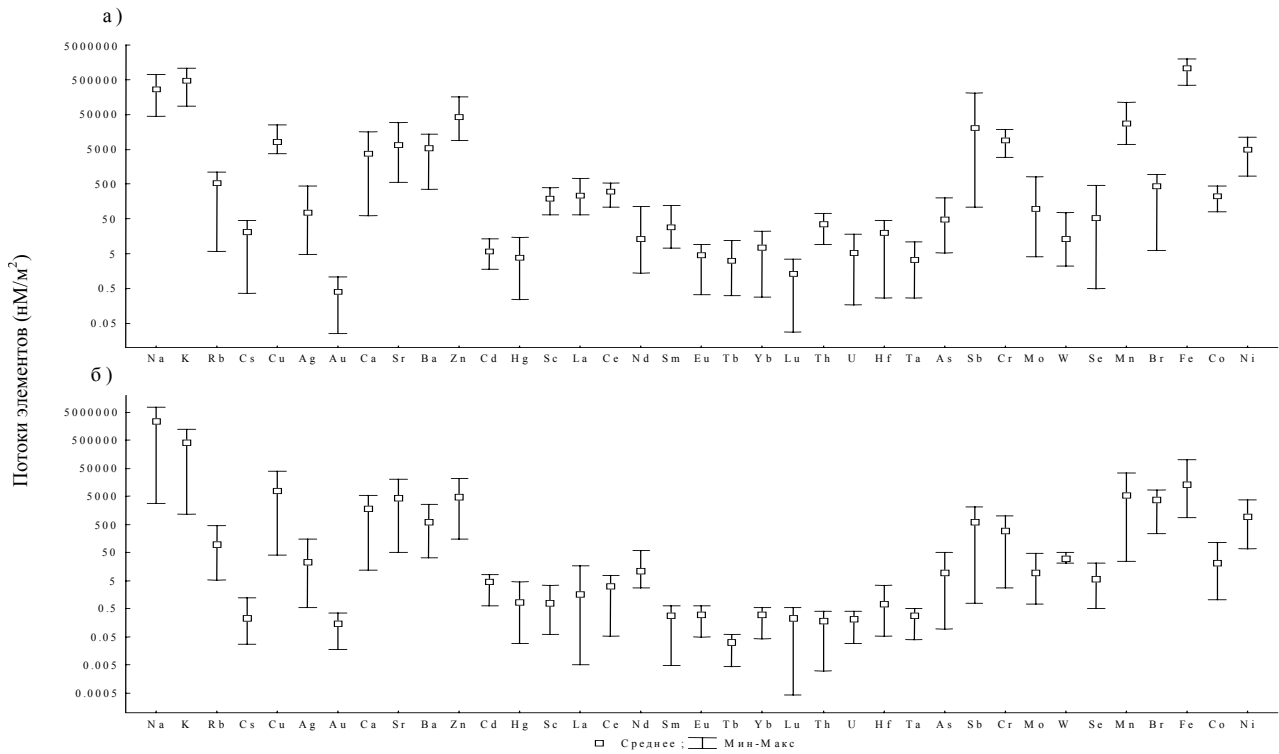


Рис. 1. Средние и экстремальные величины потоков элементов (нМ/м²) в 2008 г.: а) нерастворимая форма, б) растворимая форма

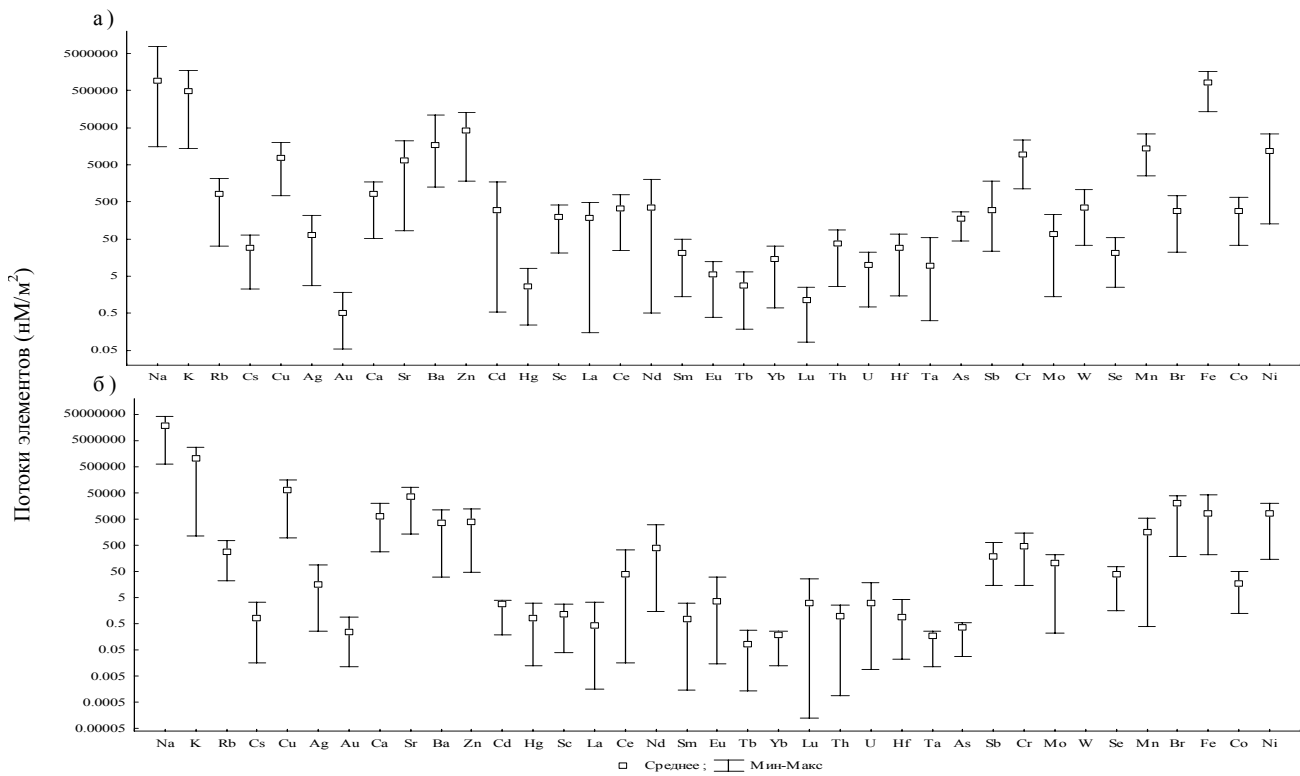


Рис. 2. Средние и экстремальные величины потоков элементов (нМ/м²) в 2009 г. а) нерастворимая форма, б) растворимая форма

У аналогов (Sb и As) величина отношения средних концентраций Sb/As наблюдалась в пределах $\sim 16-522$. Эти данные позволяют утверждать, что в настоящее время в биосфере изучаемого региона интенсивнее проходит миграция более тяжелых химических аналогов по сравнению с их легкими аналогами. На диаграммах (рис. 1-2) выявляются также опасные для биосферы показатели атмосферных выпадений – высокие концентрации – $\sim 5000 \text{ нМ/м}^2 \cdot \text{мес.}$ (или $\geq 3 \cdot 10^{18}$ атомов/ $\text{м}^2 \cdot \text{мес.}$) тяжелых металлов и токсичных элементов Cu, Sr, Ba, Zn, Sb, Cr, Mn, Fe, Ni.

Состояние временной изменчивости соотношений концентраций (Н)/(Р) в каждом периоде времени также является значимым для экологического качества биосферы, поскольку элементы в растворенном состоянии интенсивнее взаимодействуют с живым веществом.

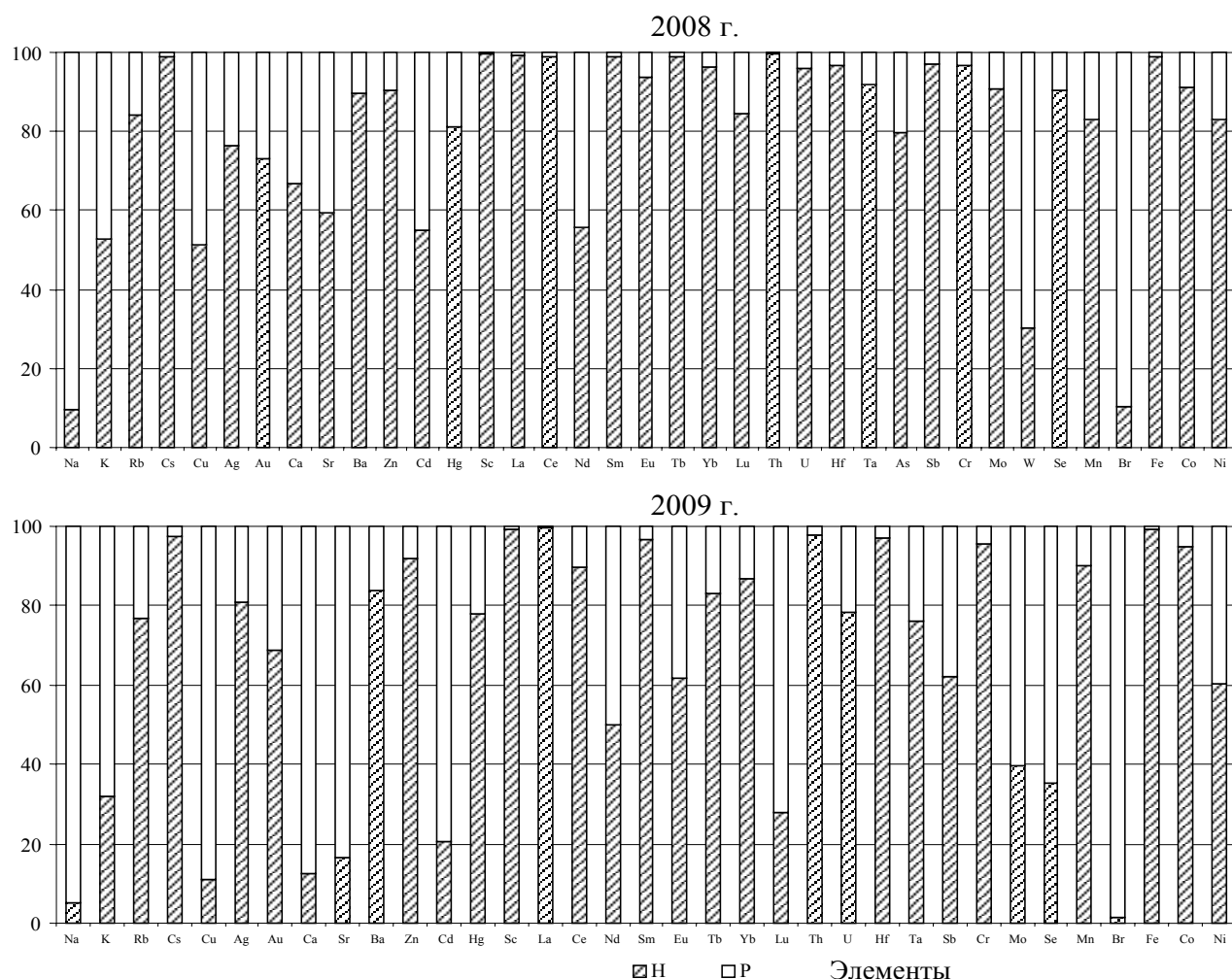


Рис. 3. Относительное содержание нерастворенного (Н) и растворенного (Р) состояний соединений элементов в атмосферных выпадениях

Диаграммы процентных соотношений нерастворимого и растворимого состояний элементов в период мониторинга представлены на рис. 3. Из этих диаграмм следует, что в нерастворимой форме преимущественно (на 60 % и более) в осадках находилось 30 элементов (Rb, Cs, Ag, Au, Ca, Sr, Ba, Zn, Hg, Sc, La, Ce, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Th, U, Hf, Ta, As, Sb, Cr, Se, Mo, Mn, Fe, Co, Ni) в 2008 г., а в 2009 г. количество таких элементов составило 24 и уменьшилось на Ca, Sb, Lu, As, Mo и Se. В растворенном состоянии (более 80 % каждого элемента) в 2008 г. в осадках находились только Na и Br, а в 2009 г. в таком состоянии уже были Na, Cu, Ca, Sr, As, W, Br.

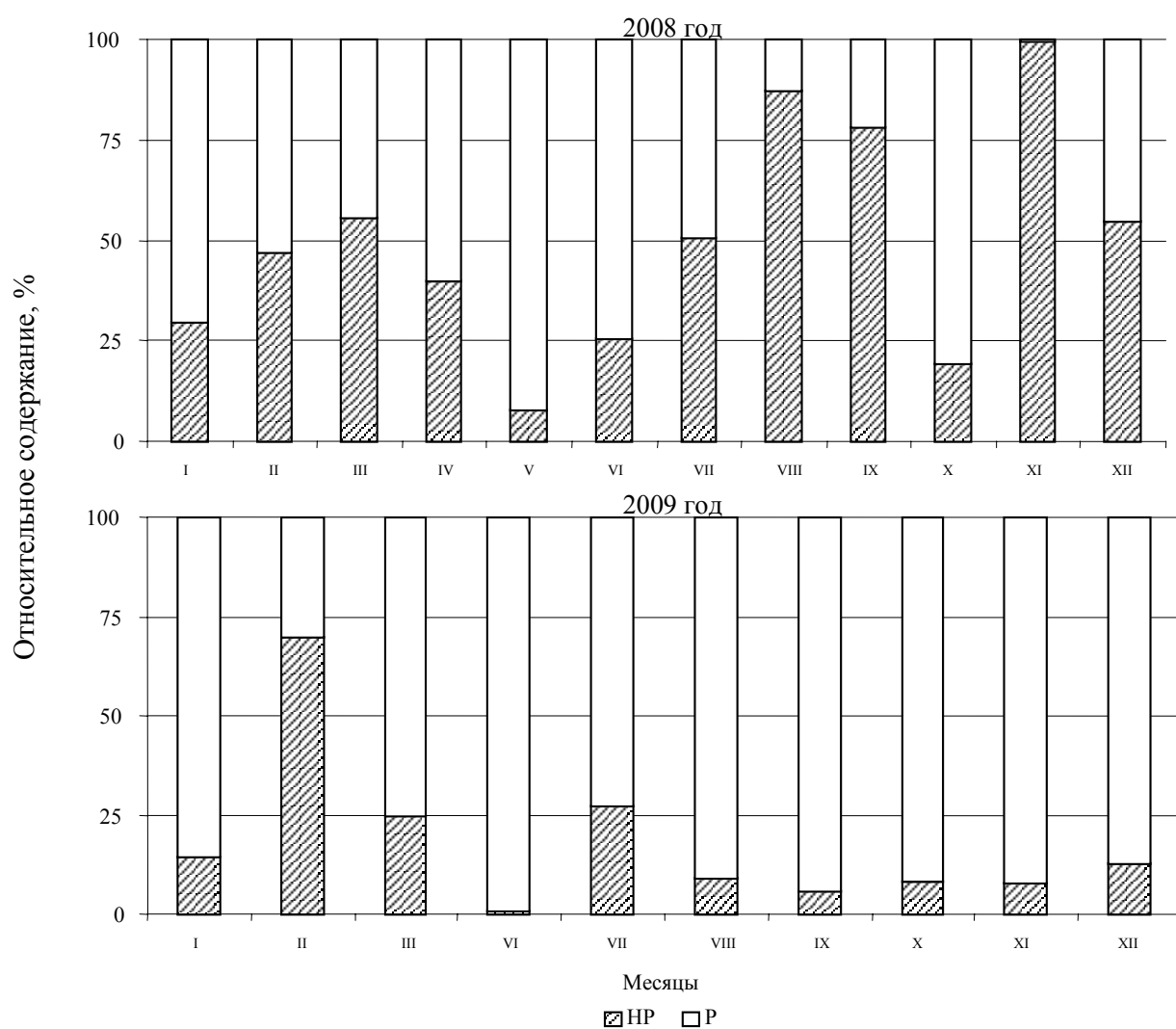


Рис. 4. Относительное содержание нерастворенного и растворенного состояний соединений суммы элементов Н/Н+Р и Р/Н+Р в атмосферных выпадениях

Следовательно, в процессе мониторинга наблюдалась также временная изменчивость физико-химических свойств соединений исследованных элементов в атмосферных выпадениях. В частности, временная изменчивость величин (Н)/(Р) элементов представлена на примере суммы всех 37 элементов на диаграммах (рис. 4), которые отражают характер временной изменчивости величин этих соотношений. Из этих данных следует, что внутри каждого года характер временной изменчивости этих величин различен в 2008 и 2009 годах, и, следовательно, состояние загрязнения поверхности района атмосферными выпадениями меняется также вследствие изменчивости физико-химических свойств в системе выпавшего осадка (Н)-(Р).

Также форма осадков (Н) имела различную окраску [4, 11], в том числе красного цвета («красные осадки») с токсичными свойствами. Полная цветовая характеристика атмосферных выпадений (Н) представлена на диаграмме (рис. 5), из которой следует, что цвет выпадающих веществ изменяется во времени: серый, желтый, зеленый, красный и коричневый. Форма (Р) осадков в 2009 г. имела следующие цвета: темно-коричневый в июле-августе, красноватый – в сентябре, зеленый и светло-зеленый – в октябре и ноябре соответственно и бледно-желтый – в декабре.

Месяц \ Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2008												
2009				-								

□ – серый; |||| – желтый; |||| – красный; |||| – коричневый; |||| – зеленый.

Рис. 5. Цвета проб нерастворимых (Н) атмосферных выпадений

Характерно, что в теплые сезоны года (апрель-октябрь) в атмосферных выпадениях содержались максимальные количества элементов: Fe, Rb, Ca, Ba, Hf, Sb, Cr, Cu, Au и Br. Таким образом, внутригодовая изменчивость молекулярного химического состава атмосферных выпадений существовала постоянно, подтверждая предыдущие исследования [4, 11]. Физико-химические характеристики веществ атмосферных выпадений проявляются и в изменчивости взаимного

влияния элементов, оцениваемого величинами парной частной корреляции элементов [11].

Радиационный состав (суммарные бета-активные радионуклиды, Бк/м²·месяц) атмосферных выпадений, его временная внутригодовая изменчивость представлены в табл. 1-3. В табл. 3 также приведены сравнительные данные о внутригодовой изменчивости химического состава исследуемых выпадений. Из этих таблиц следует, что характер изменчивости величин суммарной радионуклидной бета-активности немонотонно изменяется во времени и, соответственно, изменяется уровень радиационного загрязнения земной поверхности региона.

Химические показатели состава выпадений (табл. 3) также изменяются во времени немонотонно с экстремальными величинами, близкими как к химическим показателям (концентрациями «Н» и «Р» элементов в мМ/м²·месяц и в мг/м²·месяц, АСПАВ в мг/м²·месяц, ионов Н₃⁺О в мкМ/м²·месяц·рН), так и с величинами Бк/м²·месяц. Из данных табл. 3 также следует, что атмосферные осадки постоянно загрязняют территорию региона синтетическими поверхностно-активными веществами, в отличие от ионов Н₃⁺О как загрязняющего вещества.

Микробиологические показатели

В пробах атмосферных выпадений постоянно наблюдались споры, цисты, единичные клетки и ассоциации микроорганизмов, приспособленные к жизни в атмосфере даже при неблагоприятных факторах. Ассоциации микроводорослей, плесневые грибы и лишайники являлись постоянными компонентами в период наблюдений с февраля по ноябрь. Разнообразие микроводорослей зависело от направления господствующих ветров. Доминирующие представители микробиоты приведены в табл. 4.

Микроорганизмы против неблагоприятных условий образуют защитные пигменты, плотные клеточные стенки, слизистые оболочки и формируют ассоциации в виде лишайников [15]. Некоторые виды споровых аэрофитных водорослей рода *Trentepohlia* [16] имеют высокое содержание полисахаридов, а также часто входят в состав лишайников, которые представляют собой симбиоз микроводоросли (фотобионт) и гриба (микобионт).

Таблица 3

Радиационный и химический состав атмосферных выпадений в 2008 и 2009 гг.

Месяц	Суммарные бета-радионуклиды в атмосферных выпадениях, Бк/м ² ·месяц		Концентрации сумм элементов Na-Ni (табл. 1) в атмосферных выпадениях				Концентрации АСПАВ, ионов Н ₃ ⁺ О, а также величин рН в дождевых водах в 2009 г.			Объем дождевой воды, дм ³ /м ²
			нерастворенная форма, «Н»		растворенная форма, «Р»		АСПАВ, мг/м ²	единицы рН	ионы Н ₃ ⁺ О, мкМ/м ²	
	2008 г.	2009 г.	2008 г., мМ/м ²	2009 г., мг/м ²	2008 г., мМ/м ²	2009 г., мг/м ²				
январь	61,5	56,2	1,80	13	4,30	64	0,20	5,70	33	2,39
февраль	55,7	50,2	1,24	118	1,40	43	0,40	6,40	6,6	1,95
март	62,2	56,7	1,75	52	1,40	59	1,20	6,85	4,7	3,89
апрель	61,9	50,1	1,16	-	2,45	-	-	-	-	-
май	58,9	44,7	0,646	47	7,44	-	1,55	6,70	2,34	1,44
июнь	53,7	40,5	1,53	-	4,42	-	-	-	-	-
июль	59,1	39,8	2,37	377	2,32	720	0,12	6,75	2,13	1,44
август	66,8	58,6	2,79	-	0,41	-	-	-	-	-
сентябрь	55,5	45,0	1,98	158	0,57	1100	-	7,20	0	0,10
октябрь	67,2	38,1	0,814	153	3,38	1410	0,30	6,90	0,73	0,73
ноябрь	56,5	38,5	1,29	93	0,011	980	1,00	6,25	14,6	3,05
декабрь	59,4	35,2	1,44	152	1,20	830	1,65	6,65	6,8	3,57

Таблица 4

Биотические и абиотические показатели атмосферных выпадений в
районе г. Севастополя

Период мониторинга	Род, отдел	Температура, С	Доминирующие направления ветра	Микроэлементный состав
Январь, февраль, декабрь	Споры грибов, Bacillariophyta <i>Trentepohlia sp.</i>	-5,7 ÷ +9,5	Северо-восточный, северный	Hg, Cr, W, Ni, Au, As, Hf, Se, Nd, Sm, Lu, Tb, Rb
Март – июль	<i>Trentepohlia sp.</i> <i>Haematococcus</i> Cyanophyta Fungi	+11,5 ÷ +26,9	Юго-восточный, северо-западный	Hg, Cr, W, Ni, Cd, Mn, Cu, Zn, Ag, Au, As, Hf, Se, Nd, Sm, Lu, Ta, Sr, Br, Rb, Cs
Август – ноябрь	<i>Alexandrium sp.</i> , <i>Coelastrum sp.</i> , Cyanophyta Fungi <i>Haematococcus</i> , <i>Trentepohlia sp.</i> , Cyanophyta	+35,0 ÷ +15,5	Южный, юго-восточный Северо-восточный, восточный	Cr, W, Ni, Co, Mo, Ag, Au, As, Sb, Hf, Se, Nd, Lu, Ce, Sc, Eu, Th, La, U, Ba

Основная функция микобионта в лишайниках – защищать фотобионт от интенсивного солнечного излучения и поставлять микроэлементы, которые входят в состав атмосферных загрязнений. В атмосферных выпадениях в районе г. Севастополя часто встречались лишайники, содержащие фото бионт-аэрофитную водоросль *Trentepohlia* оранжевого цвета (рис. 6). Появление оранжевого пигмента в зеленой водоросли свидетельствует о лимитировании ее развития неблагоприятными атмосферными факторами [17]. Для получения необходимых биогенных азотсодержащих соединений, лишайники часто образуют структуру “cephalodia”, в которой на поверхности лишайника развиваются нитчатые азотфиксирующие цианобактерии семейства Oscillatoriaceae. В связи с древностью происхождения цианобактерий, предки которых существовали в условиях первобытной Земли,

современные формы могут обитать в самых экстремальных условиях, занимая практически все экологические ниши, в том числе и атмосферу.



Рис. 6. Различные виды лишайников в составе атмосферной взвеси: А – лишайник рода *Opegrapha*; Б – симбиотическая структура «cephalodia»; В – ассоциация гифов грибов и *Trentepohlia* в морском аэрозоле

Состав микроорганизмов аэрозолей непрерывно меняется и обновляется. Отмечено, что в период с марта по октябрь в атмосферных выпадениях, имеющих красно-коричневый цвет, всегда присутствовали представители зеленых водорослей рода *Naematococcus*, которые образуют при неблагоприятных условиях красные споры. Красный пигмент образуется в центральной части клетки и распространяется к её периферии. В благоприятных условиях, в присутствии пресной или соленой воды, водоросли начинают вегетировать и вновь приобретают зеленую окраску, характерную для хлорофилла [18].

Плесневые грибы наблюдались в атмосферных выпадениях в районе г. Севастополя как при континентальных, так и при морских ветрах. В состав этих выпадений, переносимых континентальными ветрами, входили измельченные до размерности пелита частички силикатных и карбонатных горных пород, комочки волокон и растительных остатков, глинистые вещества. Артроконидии и консорциумы грибов с другими микроорганизмами чаще всего встречались на поверхности органических остатков (обрывки листьев и травы) (рис. 7). Для 2008 года характерно присутствие в пробах выпадений разнообразных по видовому составу плесневых грибов. В теплый период года наблюдались представители родов *Alternaria*, *Acremonium*, *Fusarium*, *Aspergillus*, *Penicillium*, весной доминировали *Cladosporium*, *Phialophora*, *Phoma* и *Mucor*.

Для сравнения представлены результаты исследования проб, отобранных на территории Южного берега Крыма [6], в которых преобладали только морские атмосферные выпадения, и в которых наблюдались нитевидные цианобактерии и их ассоциации, а плесневые грибы отсутствовали (рис. 8).

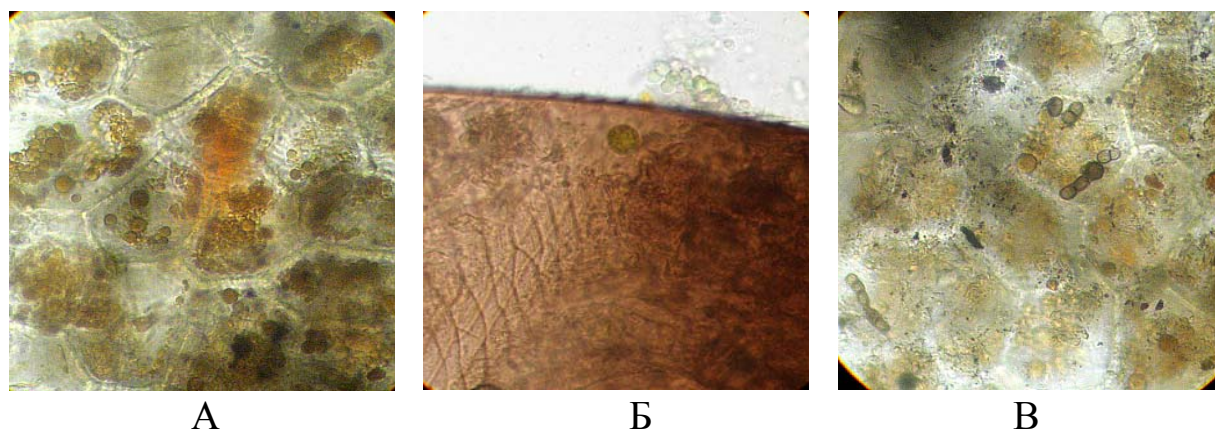


Рис. 7. Местообитание (растительные остатки) различных видов грибов в атмосферных выпадениях

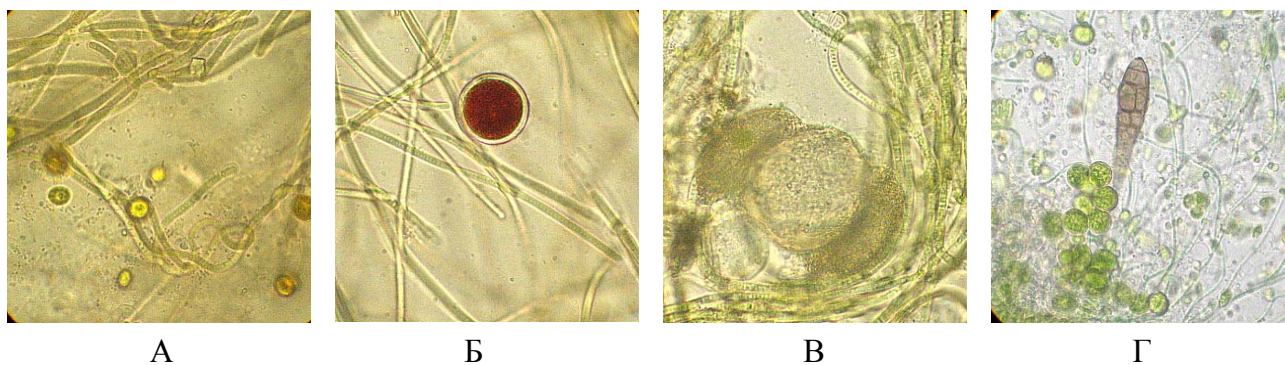


Рис. 8. А – Нитчатые цианобактерии (фиксаторы атмосферного азота) и их ассоциации; Б – с кокковидной водорослью *Naematococcus*; В – с пылью сосны; Г – с кокковидными зелеными водорослями и проростком бурой водоросли в атмосферных выпадениях ЮБК

Одновременно с микроорганизмами в пробах атмосферных выпадений накапливались различные химические элементы (табл. 1-2), среди которых Na, K, Ca и Fe были постоянными компонентами. Содержание элементов было максимальным в период с марта по июнь. В пробах, переносимых ветрами южных и восточных направлений, преобладали Ba, Sc, La, Ce, Eu, Th, U. Элементный состав атмосферных выпадений в районе г. Севастополя и Южного берега Крыма заметно

отличался [9], поэтому, очевидно, атмосферные выпадения в районе г. Севастополя в 2008 г. имели одновременно высокое содержание грибов, лишайников и элементов Cu, Ca, Hg, Th, U, W, Cr, Ni. Концентрация этих элементов была в 10-80 раз выше по сравнению с атмосферными выпадениями, собранными одновременно на Южном берегу Крыма, в которых наряду с пылью сосны и нитчатых цианобактериями также содержались Au, As, Ta, Mo, Br (табл. 4) [6].

Морские аэрозоли

Характерные результаты исследований элементного состава аэрозолей, а также результаты исследований содержания суммы бета-радионуклидов в аэрозолях и метеорологические характеристики представлены в табл. 5. Данные табл. 5, содержащей более 370 значений концентраций в 10 пробах аэрозолей, свидетельствуют о содержании во всех пробах 37 химических элементов, в состав которых входят тяжелые металлы и другие токсические элементы. Значения концентраций всех элементов немонотонно изменялись во времени, что видно из представленных ниже данных. В качестве примера для ряда элементов указаны величины пределов изменчивости концентраций ($\text{мкг}/\text{м}^3$): 2,5-4 (Na); 2-3 (K); $3 \cdot 10^{-5}$ - $7 \cdot 10^{-4}$ (Au); $2 \cdot 10^{-3}$ - $1,6 \cdot 10^{-2}$ (Hg); $(2-9) \cdot 10^{-4}$ (U); $2,5 \cdot 10^{-4}$ - $2 \cdot 10^{-3}$ (Th); $3 \cdot 10^{-3}$ - $1,3 \cdot 10^{-2}$ (As); 0,15-1,07 (Zn); 0,03-0,57 (Cu); $3,3 \cdot 10^{-4}$ - $2,9 \cdot 10^{-2}$ (Cd); 2,5-11 (Fe). В табл. 5 представлены также результаты определения Sb по двум радионуклидам (Sb-122 и Sb-124) [14], которые практически совпадают. Это свидетельствует об отсутствии изотопного «сдвига» тяжелых изотопов (Sb-121 и Sb-123) в биосфере региона. Временная изменчивость химического элементного состава аэрозолей количественно соответствует изменчивости концентраций суммарных бета-радионуклидов в аэрозолях (табл. 5), примерно равной 4.

Загрязнение вод г. Севастополя

Результаты исследований атмосферных выпадений (табл. 1-4) позволили количественно оценить радиационно-химическое загрязнение главных водных объектов региона (табл. 6). Для сравнения, в этой таблице даны также результаты исследований в период 2004-2008 гг., которые показывают, что среднегодовые потоки элементов на поверхность объектов изменяются в пределах одного математического порядка, несмотря на существенные изменения этих потоков внутри года.

Таблица 5

Концентрации химических элементов в морских аэрозолях на фильтрах (мкг/фильтр) при скорости фильтрации воздуха 5,33 м³/час, продолжительность фильтрации (n час), метеоусловия фильтрации и концентрация суммарных бета-радионуклидов (Бк*10⁻⁵/м³) в морских аэрозолях в 2010 г.

№ п/п	Дата и время отбора проб	30.03.2010 с 9 ч до 12 ч	30.03.2010 с 13:30 до 16:30	31.03.2010 с 9 ч до 12 ч	31.03.2010 с 13 ч до 16 ч	1-2.04.2010 с 9 ч до 13 ч	01.04.2010 с 13 ч до 16 ч	06.04.2010 с 9 ч до 14 ч	22.04.2010 с 9 ч до 12 ч	26.04.2010 с 9 ч до 12 ч	27-29.04.2010 с 10 ч до 16 ч
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Al	9,77	—	17,2	—	14,1	—	15,2	6,6	18,3	38,0
2	Na	14,5	26,1	11,3	19,8	45,6	13	47,6	21,5	13,3	21,7
3	K	17,2	17	21,7	14,5	34,7	21,1	26	18,3	18,1	26
4	Rb	0,01	0,001	0,025	0,042	0,1	0,001	0,096	0,027	0,053	0,11
5	Cs	0,0001	0,0005	0,0026	0,0029	0,006	0,0013	0,0058	0,0022	0,0042	0,0087
6	Cu	0,69	0,53	0,66	0,24	0,81	0,1	1,7	0,1	0,18	0,96
7	Ag	0,001	0,001	0,001	0,001	0,017	0,001	0,001	0,001	0,0026	0,0029
8	Au	0,00046	0,00034	0,00069	0,00015	0,00067	0,00019	0,0034	0,00086	0,00037	0,00055
9	Ca	60,6	66	102	129	305	76	386	42,7	74	285
10	Sr	0,1	0,1	0,1	0,1	1,1	0,1	0,99	0,1	0,1	1,2
11	Ba	0,28	0,1	0,37	0,38	1,3	0,22	1,9	0,1	0,43	1,1
12	Zn	0,45	0,57	0,97	0,71	2,6	0,76	3,2	0,74	0,89	2,0
13	Cd	0,001	0,001	0,001	0,001	0,029	0,001	0,0013	0,001	0,001	0,055
14	Hg	0,044	0,043	0,041	0,043	0,037	0,043	0,038	0,045	0,047	0,044
15	Sc	0,0012	0,0014	0,0028	0,0032	0,0079	0,0017	0,0079	0,0022	0,0038	0,011
16	La	0,0044	0,0042	0,02	0,01	0,031	0,0071	0,03	0,0082	0,012	0,036
17	Ce	0,009	0,001	0,016	0,017	0,05	0,0023	0,052	0,02	0,017	0,064
18	Sm	0,0001	0,00088	0,0018	0,0013	0,0038	0,00085	0,0038	0,0012	0,0018	0,0049
19	Eu	0,0004	0,0001	0,0005	0,0005	0,001	0,001	0,0004	0,0006	0,0014	0,0005
20	Tb	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0041	0,0001	0,00046	0,0001	0,00019	0,00074
22	Th	0,0013	0,0019	0,006	0,0035	0,0099	0,0024	0,011	0,0025	0,0038	0,012
23	U	0,001	0,001	0,001	0,001	0,0044	0,001	0,0043	0,001	0,001	0,0027
24	Hf	0,0011	0,0009	0,0023	0,0016	0,0051	0,002	0,0048	0,0016	0,0019	0,0056

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
25	Ta	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,00074
26	As	0,01	0,01	0,01	0,015	0,056	0,01	0,066	0,01	0,019	0,024
27	Sb	0,052	0,023	0,043	0,034	0,13	0,046	0,16	0,015	0,018	0,066
28	Sb	0,056	0,026	0,045	0,035	0,13	0,047	0,17	0,017	0,021	0,071
29	Cr	0,23	0,24	0,23	0,15	0,32	0,2	0,26	0,22	0,3	0,25
30	Mo	0,01	0,01	0,016	0,01	0,026	0,01	0,037	0,01	0,01	0,025
31	W	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
32	Se	0,0092	0,001	0,011	0,0072	0,032	0,001	0,033	0,016	0,01	0,012
33	Mn	0,12	0,16	0,33	0,46	1,3	0,2	1,3	0,35	0,39	1,1
34	Br	1,37	1,34	1,3	12,2	1,37	1,21	1,34	1,4	1,39	1,33
35	Fe	7,6	8,4	16,7	16,6	52,6	12,1	57,6	12,8	21,9	52,3
36	Co	0,0043	0,0047	0,016	0,0059	0,014	0,0044	0,017	0,0049	0,0068	0,014
37	Ni	0,67	0,8	0,7	0,74	1,4	0,91	1,3	1,1	0,7	1,1
38	Pb	0,028	–	0,103	–	0,166	–	0,123	0,03	0,121	0,145
39	Бк/м ³ ·10 ⁻⁵	44	34	–	–	12	18	13	10		
	Напр. ветра	СВ	3-СЗ	В	ЮЗ	В-СВ	ЮЗ	В	СВ	СВ	В-СВ-З
	Скор. ветра, м/с	0-2	3-5	0-4	2-4	6-10	0-4	9-10	10-11	6-10	0-10
	Т возд., °С	9-12	12	9-13	15-18	6-16	13	15-16	7-9	14-18	10-22
	Влажн., %	67-82	62-67	62-67	42-51	42-100	67-72	42-45	32	26-48	21-94
	Атм. давл., мм.рт.ст	762	762	762	762	756-765	759	761	767	768	758-768

Таблица 6

Величины годовых потоков элементов, суммы бета-радионуклидов, АСПАВ, H_3^+O с атмосферными выпадениями в Севастопольскую бухту и в Чернореченское водохранилище в 2008-2009 гг. и среднегодовой поток за 2004-2008 гг. в Севастопольскую бухту

Показатели	Поток (т)				
	Севастопольская бухта (площадь зеркала 7,96 км ²)			Чернореченское водохр. (6,04 км ²)	
	2008 г.	2009 г.	2004 – 2008 гг.	2008 г.	2009 г.
1	2	3	4	5	6
Na	$6,0 \cdot 10^0$	$3,5 \cdot 10^1$	$4,0 \cdot 10^1$	$4,6 \cdot 10^0$	$2,7 \cdot 10^1$
K	$3,3 \cdot 10^0$	$4,9 \cdot 10^0$	$1,9 \cdot 10^1$	$2,5 \cdot 10^0$	$3,7 \cdot 10^0$
Rb	$5,3 \cdot 10^{-3}$	$8,0 \cdot 10^{-3}$	$8,9 \cdot 10^{-3}$	$4,0 \cdot 10^{-3}$	$6,1 \cdot 10^{-3}$
Cs	$2,7 \cdot 10^{-4}$	$3,3 \cdot 10^{-4}$	$3,1 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$
Cu	$9,8 \cdot 10^{-2}$	$3,6 \cdot 10^{-1}$	$4,3 \cdot 10^{-1}$	$7,4 \cdot 10^{-2}$	$2,7 \cdot 10^{-1}$
Ag	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$7,3 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$8,0 \cdot 10^{-4}$	$5,5 \cdot 10^{-4}$
Au	$1,0 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$4,0 \cdot 10^{-5}$	$7,8 \cdot 10^{-6}$	$9,0 \cdot 10^{-6}$
Ca	$2,1 \cdot 10^1$	$2,3 \cdot 10^1$	$7,9 \cdot 10^1$	$1,6 \cdot 10^1$	$1,7 \cdot 10^1$
Sr	$9,4 \cdot 10^{-2}$	$3,0 \cdot 10^{-1}$	$4,0 \cdot 10^{-1}$	$7,2 \cdot 10^{-2}$	$2,3 \cdot 10^{-1}$
Ba	$8,1 \cdot 10^{-2}$	$2,4 \cdot 10^{-1}$	$1,4 \cdot 10^{-1}$	$6,1 \cdot 10^{-2}$	$1,8 \cdot 10^{-1}$
Zn	$3,0 \cdot 10^{-1}$	$2,5 \cdot 10^{-1}$	$5,2 \cdot 10^{-1}$	$2,3 \cdot 10^{-1}$	$1,9 \cdot 10^{-1}$
Cd	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-5}$	$2,7 \cdot 10^{-3}$	$8,5 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$
Hg	$9,1 \cdot 10^{-5}$	$5,8 \cdot 10^{-5}$	$9,5 \cdot 10^{-4}$	$6,9 \cdot 10^{-5}$	$4,4 \cdot 10^{-5}$
Sc	$8,3 \cdot 10^{-4}$	$7,5 \cdot 10^{-4}$	$7,7 \cdot 10^{-4}$	$6,3 \cdot 10^{-4}$	$5,7 \cdot 10^{-4}$
La	$3,2 \cdot 10^{-3}$	$2,3 \cdot 10^{-3}$	$3,1 \cdot 10^{-3}$	$2,4 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-3}$
Ce	$4,2 \cdot 10^{-3}$	$4,4 \cdot 10^{-3}$	$3,6 \cdot 10^{-3}$	$3,2 \cdot 10^{-3}$	$3,3 \cdot 10^{-3}$
Nd	$3,4 \cdot 10^{-4}$	$8,9 \cdot 10^{-3}$	$7,0 \cdot 10^{-4}$	$2,6 \cdot 10^{-4}$	$6,7 \cdot 10^{-3}$
Sm	$4,2 \cdot 10^{-4}$	$2,8 \cdot 10^{-4}$	$3,4 \cdot 10^{-4}$	$3,2 \cdot 10^{-4}$	$2,1 \cdot 10^{-4}$
Eu	$7,1 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$6,9 \cdot 10^{-5}$	$5,4 \cdot 10^{-5}$	$8,9 \cdot 10^{-5}$
Tb	$4,7 \cdot 10^{-5}$	$5,4 \cdot 10^{-6}$	$3,3 \cdot 10^{-5}$	$3,6 \cdot 10^{-5}$	$4,1 \cdot 10^{-6}$
Yb	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$1,9 \cdot 10^{-5}$
Lu	$2,5 \cdot 10^{-5}$	$6,1 \cdot 10^{-5}$	$4,2 \cdot 10^{-5}$	$1,9 \cdot 10^{-5}$	$4,6 \cdot 10^{-5}$
Th	$8,1 \cdot 10^{-4}$	$7,6 \cdot 10^{-4}$	$5,9 \cdot 10^{-4}$	$6,1 \cdot 10^{-4}$	$5,8 \cdot 10^{-4}$
U	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$2,6 \cdot 10^{-4}$	$3,4 \cdot 10^{-4}$	$9,5 \cdot 10^{-5}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$
Hf	$3,6 \cdot 10^{-4}$	$4,5 \cdot 10^{-4}$	$5,2 \cdot 10^{-4}$	$2,7 \cdot 10^{-4}$	$3,4 \cdot 10^{-4}$
Ta	$6,1 \cdot 10^{-5}$	$7,5 \cdot 10^{-6}$	$5,8 \cdot 10^{-5}$	$4,6 \cdot 10^{-5}$	$5,7 \cdot 10^{-6}$
As	$3,2 \cdot 10^{-4}$	–	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$	–
Sb	$2,5 \cdot 10^{-1}$	$5,0 \cdot 10^{-3}$	$2,4 \cdot 10^{-1}$	$1,9 \cdot 10^{-1}$	$3,8 \cdot 10^{-3}$

Продолжение таблицы 6

1	2	3	4	5	6
Cr	$4,7 \cdot 10^{-2}$	$4,3 \cdot 10^{-2}$	$9,8 \cdot 10^{-2}$	$3,6 \cdot 10^{-2}$	$3,3 \cdot 10^{-2}$
Mo	$9,7 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$2,1 \cdot 10^{-3}$	$7,4 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$
W	$5,7 \cdot 10^{-4}$	–	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$4,3 \cdot 10^{-4}$	–
Se	$4,6 \cdot 10^{-4}$	$3,7 \cdot 10^{-4}$	$7,2 \cdot 10^{-4}$	$3,5 \cdot 10^{-4}$	$2,8 \cdot 10^{-4}$
Mn	$1,7 \cdot 10^{-1}$	$7,2 \cdot 10^{-2}$	$3,4 \cdot 10^{-1}$	$1,3 \cdot 10^{-1}$	$5,5 \cdot 10^{-2}$
Br	$3,2 \cdot 10^{-2}$	$1,3 \cdot 10^{-1}$	$1,6 \cdot 10^{-1}$	$2,5 \cdot 10^{-2}$	$9,6 \cdot 10^{-2}$
Fe	$5,8 \cdot 10^0$	$3,9 \cdot 10^0$	$5,7 \cdot 10^0$	$4,4 \cdot 10^0$	$3,0 \cdot 10^0$
Co	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$
Ni	$3,3 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-1}$	$4,7 \cdot 10^{-2}$	$2,5 \cdot 10^{-2}$	$7,7 \cdot 10^{-2}$
H ₃ ⁺ O	–	$5,7 \cdot 10^{-4}$	–	–	$4,3 \cdot 10^{-4}$
Сумма бета-АСПАВ	$5,7 \cdot 10^9$	$4,4 \cdot 10^9$	$6,1 \cdot 10^9$	$4,3 \cdot 10^9$	$3,3 \cdot 10^9$
	–	$5,1 \cdot 10^{-2}$	–	–	$3,8 \cdot 10^{-2}$

Так, например, суммарный поток всех исследованных элементов в Севастопольской бухте (табл. 6) составлял 35 т в 2008 г., ~45 т в 2009 г., а за 2004-2008 гг. ~ 65 т. В данный водный объект поступало в пределах 100-1000 кг: Sr, Cu, Zn, Sb, Mn, Br, Ni, а Na, K, Fe – в количествах >1000 кг. Суммарное поступление радионуклидов U и Th составляло величину порядка 9,3-10,2 кг/год, а радионуклид ⁴⁰K – в количестве 0,4-2,3 кг/год, при отношении величин периодов полураспада у этих радионуклидов к таковому у ⁴⁰K, равным величинам ~3,4 (для ²³⁸U/⁴⁰K) и ~10,8 (для ²³²Th/⁴⁰K).

Выводы

1. Атмосферные выпадения, поступившие на поверхность региона г. Севастополя в 2008 и 2009 гг., являются значимыми источниками его загрязнения химическими элементами: Na, K, Rb, Cs, Cu, Ag, Au, Mg, Ca, Sr, Ba, Zn, Cd, Hg, Hf, Ta, As, Sb, Cr, Se, Mo, W, Mn, Cl, Br, I, Fe, Co, Ni, Th, U, Sc, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Pb. Концентрации комплекса этих элементов, в поступавших потоках из атмосферы, одновременно измеренные ядерно-физическими методами, немонотонно изменялись во времени в период исследований непрерывным мониторингом. При этом впервые в комплексе элементов изучено содержание Mg и I и их временную изменчивость. Также немонотонно во времени проходит процесс радиоактивного и химического загрязнения поверхности региона атмосферными выпадениями, что выявлено на примере таких

характеристик: концентрации суммы бета-радионуклидов, анионных синтетических поверхностно-активных веществ, ионов H^+ и физико-химических свойств этих выпадений. Состояние загрязнения изученными показателями оценено на примере вод Севастопольской бухты и Чернореченского водохранилища.

2. Атмосферные выпадения и аэрозоли переносят различные микроорганизмы. Микробиота представлена спорами, цистами, единичными клетками и ассоциациями микроорганизмов, а также плесневыми грибами и цианобактериями семейства *Oscillatoriaceae*. Доминирующие ассоциации микроводорослей (виды родов *Trenieporhia* и *Haematococcus*), образующие красные и оранжевые пигменты, имели сезонные и межгодовые различия. Грибы и лишайники атмосферных выпадений в регионе г. Севастополя концентрировали Hg, Cu, Cr, Ni, Ca, U, Th, а нитчатые цианобактерии в атмосферных выпадениях на территории Южного берега Крыма концентрировали As, Au, Mo, Ta, Br.

3. Аэрозоли в регионе г. Севастополя на высоте ~106 м над уровнем моря в марте-апреле 2010 г. по своей природе имели морское происхождение и в их химическом составе определены концентрации Al, Na, K, Rb, Cs, Cu, Ag, Au, Ca, Sr, Ba, Zn, Cd, Hg, Sc, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Th, U, Hf, Ta, As, Sb-121, Sb-123, Cr, Se, Mo, W, Mn, Cl, Br, Fe, Co, Ni, Pb и сумма бета-радионуклидов.

Атмосферные выпадения, 2008 г.			
Элементы	концентрация элементов, нМ/м ² ·мес	концентрация бета-радионуклида, Бк/м ² ·мес	
		экспериментальная	рассчитанная
K(⁴⁰ K)	1,3·10 ⁶ /июль	59,1/июль	39,1/июль
Th	59/март	62,2/март	0,111/март
U	15/сентябрь	55,5/сентябрь	0,086/сентябрь

Элементы	Аэрозоли, 31 марта 2010 г, с 9 до 12 час, Бк/м ³		
	концентрация элемента, мкг/16 м ³	концентрация бета-радионуклида, Бк/м ³	
		экспериментальная	рассчитанная
K(⁴⁰ K)	21,7	11·10 ⁻⁵ *	0,1·10 ⁻⁸
Th	0,006		0,3·10 ⁻⁵
U	0,001		0,16·10 ⁻⁵

Примечание: * – сумма бета-радионуклидов

Например, содержание в аэрозолях достигало значений (мкг/м³) для: Na – 4, Fe – 11, As – 0,013, Hg – 0,016, Th – 0,002, U – 0,0009, Au – 0,0007, Ag – 0,0009.

4. В изученных объектах атмосферы (табл. 1-3) естественные радионуклиды ⁴⁰K, семейства Th и U составляют определенную долю в сумме бета-радионуклидов в их измеряемых в процессе соответствующего мониторинга величинах. В качестве примера в приведенных ниже таблицах представлены величины сумм бета-радионуклидов, продуцированных бета-активными радионуклидами семейств ²³²Th и ²³⁸U, а также радионуклидом ⁴⁰K, концентрация которого в составе изотопов K – 0,0119%.

5. Впервые на примере биосферы региона г. Севастополя выявлено, что в атмосферных выпадениях содержатся «аномально» высокие концентрации тяжелых химических элементов по сравнению с их легкими химическими аналогами в изученных подгруппах периодической системы Д.И. Менделеева (сдвиги концентраций в рядах: Na<K; Ca<Sb; Ca<Ba; La<Nd; Th<U). Столь активная геохимическая и, возможно, техногенная миграция тяжелых элементов в потоках загрязняющих веществ в атмосфере требует со стороны исследователей пристального внимания.

6. Впервые на примере данной биосферы выявлено существование «аномального изотопного сдвига» у тяжелого металла Zn в пробах атмосферных выпадений, отобранных в июле, ноябре и декабре 2010 г. Пробы проанализированы нейтронно-активационным методом по изотопам Zn₆₄ и Zn₆₈ (аналитические пики соответственно 438 кЭв и 1115 кЭв) и было найдено, что в пробах отсутствовал изотоп Zn₆₄, в пробах же, отобранных в мае, июне, августе, сентябре и октябре, этот изотоп был определен наряду с изотопом Zn₆₈ [19].

* *

1. *Салтыкова Л.В., Рябинин А.И., Мартемьянов И.Н.* Нейтронно-активационный и рентгенорадиометрический анализ аэрозолей прибрежных районов Черного моря // Тр. Гос. океанограф. ин-та. – Вып. 153. – Л.: Гидрометеоздат, 1981. – С. 112-123.
2. *Рябинин А.И., Салтыкова Л.В., Мартемьянов И.Н., Барчук И.В. и др.* Применение нейтронно-активационного и рентгенорадиометрического методов анализа в системе мониторинга загрязнения среды Черного моря и других морей СССР // Тр. I Всесоюзн. совещ. Ядерно-физические методы

- анализа в контроле окружающей среды. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – С. 97-104.
3. *Рябинин А.И., Салтыкова Л.В., Клименко Н.П., Нестерова И.П. и др.* Микроэлементный состав атмосферных осадков в районе Севастополя. – Тр. УкрНИГМИ. – 2000. – № 248. – С. 172-181.
 4. *Ильин Ю.П., Рябинин А.И., Мальченко Ю.А., Боброва С.А., Клименко Н.П. и др.* Состояние загрязнения атмосферных осадков г. Севастополя в 1997-2006 гг. // Тр. УкрНИГМИ. – 2006. – № 255. – С. 165-183.
 5. *Рябинин А.И., Боброва С.А., Еркушов В.Ю., Салтыкова Л.В. и др.* Мониторинг миграции тория, урана и редкоземельных элементов с атмосферными осадками на водную поверхность в районах г. Севастополя и Южного берега Крыма в 2004-2008 гг. // Системы контроля окружающей среды. Средства, информационные технологии и мониторинг. – Севастополь: МГИ НАНУ. – 2009. – С. 347-351.
 6. *Рябинин А.И., Боброва С.А., Салтыкова Л.В., Данилова Е.А.* Поступление химических элементов с атмосферными выпадениями в приморских районах Крыма в 2004-2008 гг. // Морской гидрофизич. журн.. – 2011. – № 5. – С. 38-52.
 7. *Смирнова Л.Л., Андреева Н.А., Салтыкова Л.В., Рябинин А.И.* Особенности микрофлоры и макроэлементов в атмосферной взвеси на Севастопольском побережье в 2008 г. (Черное море) // *Екологія міст та рекреаційних зон: матер. Всеукр. наук.-практ. конф.* – О., 2009. – С. 151-153.
 8. *Smyrnova L.L., Riabinin A.I., Saltykova L.V.* Some chemical elements in modern bottom sediments of the Sea of Azov, Kerch Strait, and the northeastern Black Sea. // *JYCP 521 – JNQUA OSOI Fifth Plenary Meeting and Field Trip, Irmir – Canakkale, Turkey, 22-31 August 2009.* – С. 167-168.
 9. *Smyrnova L.L., Andreeva N.A., Riabinin A.I., Saltykova L.V.* The migration of microorganisms with atmospheric aerosol // *Proceedings of the Sixth International Conference Environmental Micropaleontology, Microbiology and Meiobenthology.* – Russia. Moscow: PIN PAS. – 2011. – P. 261-264.
 10. *Лапшин В.Б., Матвеева И.С., Яблоков М.Ю., Игнатченко А.В. и др.* Токсичность морских аэрозолей как новая геоэкологическая и медико-географическая проблема // Тр. ГОИН. – 2005. – Т. 209. – С. 407-421.
 11. *Рябинин А.И., Салтыкова Л.В., Боброва С.А., Смирнова Л.Л.* Физико-химические характеристики потоков атмосферных выпадений на территории г. Севастополя в 2004-2009 гг. // *X науч. конф. Ломоносовские чтения 2011.* – Севастополь: Филиал МГУ им. М.В. Ломоносова в г. Севастополе. – 2011. – С. 50-51.

12. *Рябинин А.И., Шibaева С.А., Еркушов В.Ю.* Многолетняя изменчивость потоков бета-радионуклидов в атмосферных выпадениях на территорию г. Севастополя // Там же. – 2011. – С. 47-48.
13. *Рябинин А.И., Шibaева С.А., Катунина Е.В., Еркушов В.Ю.* Методики физико-химической подготовки проб для определения микроэлементов многоэлементным нейтронно-активационным методом в морских, атмосферных, хозяйственно-питьевых и сточных водах // Системы контроля окружающей среды. Средства, информационные технологии и мониторинг. – Севастополь: МГИ НАН Украины. – 2008. – С. 378-383.
14. *Катунина Е.В., Митюкова И.В., Рябинин А.И.* Временная изменчивость качества дождевых вод в г. Севастополе по концентрациям ионов водорода (рН) и синтетических поверхностно-активных веществ (СПАВ) в 2009 и 2010 гг. // X науч. конф. Ломоносовские чтения 2011. – Севастополь: Филиал МГУ им. М.В. Ломоносова в г. Севастополе. – 2011. – С. 31-32.
15. *Garcia-Pichel F. and Castenholz R.W.* Occurrence of UV-absorbing, mycosporine-like compounds among cyanobacterial isolates and an estimate of their screening capacity // *Apply Environmental Microbiology*. – 1993. – V. 59. – P. 163-169.
16. *Михайлюк Т.И., Дариенко Т.М., Шнюкова Е.И., Кондратюк С.Я.* Особенности аэрофитных водорослей и фитобионтов лишайников, связанные с их приспособлением к жизни в наземных условиях // Укр. фитоценотический сб. – К., 2006. – Сер. С. – Вып. 24. – С. 26-32.
17. *Rindi, F., & Guiry, M.D.* Diversity, life history, and ecology of Trentepohlia and Printzina (Trentepohliales, Chlorophyta) in urban habitats in western Ireland // *Journal of Phycology*. – 2002. – V.38. – P. 39-54.
18. *Yong Y.Y.R and Lee Y.-K.* Do carotenoids play a photoprotective role in the cytoplasm of *Haematococcus lacustris* (Chlorophyta) // *Phycologia*, 1991. – № 30(3). – P. 257-261.
19. *Рябинин А.И., Кист А.А., Еркушов В.Ю., Данилова Е.А.* О нейтронно-активационном анализе объектов биосферы на содержание немоноизотопных химических элементов // X науч. конф. Ломоносовские чтения, 2011. Тез. докл. – Севастополь, – С. 48-49.

*Морское отделение УкрНИГМИ, Севастополь,
 Научно-технический центр Вооруженных сил Украины «Государственный океанариум», Севастополь,
 Институт ядерной физики АН Республики Узбекистан, Ташкент*

**А.І. Рябінін, Л.Л. Смірнова, Ю.А. Мальченко, С.А. Боброва,
Н.А. Андреева, Е.А. Данілова, В.Ю. Еркушов**

Стан хіміко-мікробіологічного забруднення біосфери регіону Севастополя з атмосферними осіданнями та аерозолями в період 2008-2010 рр.

Вивчено закономірності попадання багатоелементного комплексу, суми бета-радіонуклідів, мікробіоти і хімічних речовин (аніонних синтетичних поверхнево-активних речовин – АСПАВ, іонів H_3^+O) з атмосферними опадами на водну поверхню регіону м. Севастополя в період 2008-2009 рр. Також вивчено багатоелементний комплекс хімічного складу морських аерозолів і суми бета-радіонуклідів в біосфері міста у весняний період 2010 р.

Ключові слова: Севастополь, атмосферні випадання, аерозолі, мікробіота, сума бета-радіонуклідів, мікроелементи.

**A.I. Ryabinin, L.L. Smirnova, Y.A. Malchenko, S.A. Bobrova, N.A. Andreeva,
E.A. Danilova, V.Y. Erkushov**

The condition of chemical-microbiological contamination in biosphere of Sevastopol region with atmospheric precipitates and aerosols in 2008-2010.

Regularities of multiple complex entrance, sum of beta-radionuclides, microbiota and chemical agents (anionic-synthetic surfactant, ions of H_3^+O) are studied continuously with atmospheric precipitates on water surface of Sevastopol region in period 2008 – 2009. The multiple complex of marine aerosols chemical composition and sum of beta-radionuclides in biosphere of Sevastopol in a spring period of 2010 is also studied.

Keywords: Sevastopol, atmospheric precipitates, aerosols, microbiota, sum of beta-radionuclides, microelements.