

МОНИТОРИНГ МИГРАЦИИ ТОРИЯ, УРАНА И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С АТМОСФЕРНЫМИ ОСАДКАМИ НА ВОДНУЮ ПОВЕРХНОСТЬ В РАЙОНАХ Г.СЕВАСТОПОЛЯ И ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА В 2004–2008 ГОДАХ

*А.И. Рябинин, С.А. Боброва, Л.В. Салтыкова,
В.Ю. Еркушов, Е.А. Данилова*, Г.Ф. Батраков***

Морское отделение УкрНИГМИ НАН
Украины, г. Севастополь, ул. Советская, 61

* Институт ядерной физики

АН Узбекистана, п. Улугбек, Ташкент

**Морской гидрофизический институт

НАН Украины

г. Севастополь, ул. Капитанская, 2

E-mail: slaverk@ukr.net

Представлены результаты ядерно-физических исследований потоков редкоземельных и трансурановых элементов в аэрозолях на территорию г. Севастополя и в районе мыса Аю-Даг (ДЛОЦ «Артек») в 2004–2008 годах. Показано, что потоки элементов характеризуются высокой пространственно-временной и особенно внутригодовой неоднородностью. Не выявлено наличие связи потока элементов с возможным техногенным загрязнением приземного слоя атмосферы.

Введение. Применение ядерно-физических методов для анализа атмосферных осадков, спонтанно выпадающих на водную поверхность, позволило определить в исследуемых пробах осадков, выпадавших в районе г. Севастополя в 2004–2008 годах, до 36 макро- и микроэлементов и рассчитать их потоки для оценки величин миграции во времени и пространстве. Частично материалы этих исследований (май–июль 2004 года) были впервые опубликованы в [1] для Na, K, Rb, Cs, Cu, Ag, Au, Ca, Ba, Zn, Cd, Hg, Hf, Ta, As, Sb, Cr, Se, Mo, W, Mn, Br, Fe, Co, Ni, а также актинидов, лантанидов (Th, U, La, Ce, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu) и Sc, определявшихся многоэлементным нейтронно-активационным методом, а также макроэлемента Sr, определявшегося рентгенорадиометрическим методом.

Цели и задачи исследования. Изучить временную (внутригодовую и межгодовую) изменчивость миграции потоков редких элементов (естественных радионуклидов Th и U, а также редкоземельных элементов Sc,

La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb и Lu) в период 2004–2008 годов в районе г. Севастополя. Также изучить пространственную изменчивость потоков указанных элементов (за исключением Nd) в районе г. Севастополя в 2004 году и в 2008 году в районе г. Севастополя и южного берега Крыма.

Методы и материалы исследований.

Отбор пробы атмосферных осадков проводился непрерывно в течение месяца по методике, описанной в [1]. В 2004 году в г. Севастополе пробы отбирались в двух пунктах: МГ «Севастополь» (Павловский мыс) и МО УкрНИГМИ (ул. Советская, 61) на высоте 102 м над уровнем моря. В 2005–2008 годах пробы отбирались в г. Севастополе только на МГ «Севастополь». В 2008 году пробы отбирались в пгт Гурзуф на южном берегу Крыма (территория лагеря «Артек»).

Проба путем фильтрации через ядерный фильтр с диаметром отверстий 0,41–0,45 мкм делилась на растворимую и нерастворимую формы элементов [2]. После разделения каждая пробы анализировалась многоэлементным нейтронно-активационным методом [1].

Результаты исследований миграции Th и U. В таблице 1, а также на рисунке 1 представлены величины потока элементов, выпадающих на водную поверхность. Из этих данных следует, что временная изменчивость величин потоков Th достигала значительных размеров. Например, в районе МГ «Севастополь» нерастворимая форма этого элемента за период наблюдений колебалась в пределах от 0,33 мкг/м² (январь, ноябрь и декабрь 2004 года) до 44 мкг/м² (сентябрь 2006 года), а растворимая форма колебалась от 0,00006 мкг/м² (июль 2004 года) до 9,19 мкг/м² (март 2007 года). Существенна также пространственная изменчивость потоков Th в районе г. Севастополя в 2004 году. Так, минимальная изменчивость между обоими пунктами наблюдений нерастворимой формы Th составила величину 0,6–0,7 мкг/м² (март), а максимальная – величину 0,33–258 мкг/м² (ноябрь). Для растворимой формы Th аналогичные значения составили соответственно 0,003 мкг/м² (июнь) и 0,003–8,76 мкг/м² (апрель). В течение четырехмесячного наблюдения в 2008 году в районе ДЛОЦ «Артек» изменчивость потоков нерастворимой формы Th также достигала заметных величин: от 0,43 мкг/м² (май) до 3,51 мкг/м² (август). В то же время величины этих потоков были значительно ниже, чем в г. Севастополе, где

они колебались в пределах от 2,04 $\text{мкг}/\text{м}^2\cdot\text{месяц}$ до 9,45 $\text{мкг}/\text{м}^2\cdot\text{месяц}$. Единичное наблюдение за содержанием растворимой формы Th (август 2008 года), не выявило пространственной изменчивости потока между г. Севастополь и пгт Гурзуф в количественно измеряемых значениях. Времен-

ная изменчивость потоков U также значительна (таблица 1). Потоки его нерастворимой формы колебались в пределах от 0,03 до 150 $\text{мкг}/\text{м}^2\cdot\text{месяц}$. Для г. Севастополя потоки растворимой формы U колебались в пределах от 0,002 до 14 $\text{мкг}/\text{м}^2\cdot\text{месяц}$. Пространственная изменчивость потоков U (нераст-

Таблица 1 – Потоки U и Th в районах г. Севастополя и пгт Гурзуф (ДЛОЦ «Артек»)

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Нерастворимая форма U, $\text{мкг}/\text{м}^2$												
2004	<0,33	2,73	0,06	0,22	0,25	3,57	1,57	2,33	1,63	5,93	2,43	3,03
2004*			0,07	0,05	0,03	0,77	1,23	0,37	0,40	45	150	
2005	0,70	1,00	1,29	6,63	1,87	1,40	0,50	1,93	1,43	1,37	1,17	0,50
2006		1,88	1,51	4,13	1,99	1,30	3,07	3,34	13,6	1,34	2,00	2,00
2007	<0,15	1,21	1,95	0,46	0,19	4,11	<0,03	2,07	<0,68	<0,35	<0,17	2,02
2008	0,61	1,71	<0,04	<0,06	<0,03	<0,12	<0,04	<0,06	3,58			
2008**					<0,04	<0,04	0,27	0,94				
Нерастворимая форма Th, $\text{мкг}/\text{м}^2$												
2004	<0,33	5,00	0,60	0,50	0,43	7,47	5,07	7,07	3,33	0,73	<0,33	<0,33
2004*			0,70	0,33	1,37	1,97	3,40	1,40	1,93	35	258	
2005	1,33	1,83	1,50	0,40	1,77	2,10	2,10	1,93	1,27	1,10	0,37	2,10
2006		3,40	4,44	13,2	6,63	3,43	7,76	11,1	44	11,2	1,10	7,19
2007	2,88	3,62	8,18	1,71	1,51	7,99	6,82	5,78	10,5	<0,35	2,53	2,97
2008	1,76	5,77	13,7	10,1	2,04	3,71	7,39	9,45	6,66			
2008**					0,43	0,87	0,90	3,51				
Растворимая форма U, $\text{мкг}/\text{м}^2$												
2004	0,07	0,05	2,93	4,88	0,002	0,003	0,003	0,04	0,04	0,005	0,01	0,03
2004*			0,27	0,03	0,02	0,10	<0,003	0,03	0,04	0,006	0,01	
2005	<0,13	<0,20	0,56	<0,03	<0,37	<0,03	<0,03	<0,03	<0,10	<0,02	<0,60	<0,60
2006	1,30	0,32	2,53	<0,03	<0,03	<0,03	<0,05	13,0	<0,30	<0,20	13,7	12,3
2007	8,26	0,93	<0,03	<0,03	<0,03	9,69	<0,03	<0,37	<0,50	<0,80		
2008	0,08	<0,03	0,07	0,05	0,05	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03			
2008**								<0,03				
Растворимая форма Th, $\text{мкг}/\text{м}^2$												
2004	<0,04	0,06	0,13	8,76	0,002	<0,003	0,00006	<0,003	0,003	0,007	<0,005	<0,02
2004*			0,03	0,003	0,002	<0,003	0,0008	0,002	0,02	0,03	0,03	
2006	0,40	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,05	0,54	<0,03	<0,02	<0,03	3,93
2007	<0,03	<0,02	9,19	<0,03	1,37	0,73	2,96	<0,04	1,00	<0,08		
2008	0,08	<0,03	0,07	0,05	0,05	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03			
2008**								<0,33				

Примечание: * – территория МО УкрНИГМИ, ул. Советская, 61;

** – пгт Гурзуф (территория ДЛОЦ «Артек»); остальные – МГ «Севастополь».

воримая форма) в г. Севастополе между двумя пунктами наблюдений достигла максимального значения в ноябре 2004 года – 2,43 $\text{мкг}/\text{м}^2\cdot\text{месяц}$ и 150 $\text{мкг}/\text{м}^2\cdot\text{месяц}$. В районе ДЛОЦ «Артек» потоки нерастворимой формы U во времени также колебались значительно, как и в случае Th, но в отличие

от последнего потоки этой формы U в данном пункте были выше, чем в г. Севастополе в июле–августе 2008 года.

Всего за период исследований (таблица 1) на территорию г. Севастополя поступило с атмосферными осадками по нашим оценкам U ~ 0,17–0,18 $\text{мкг}/\text{м}^2$ и Th ~ 3,4 $\text{мг}/\text{м}^2$.

Таблица 2 – Средние и экстремальные значения потоков ($\text{мкг}/\text{м}^2$) элементов в точках отбора МГ «Севастополь» (2004–2008 годы) и пгт Гурзуф (2008 год)

Элемент	Нерастворимая форма						Растворимая форма					
	МГ «Севастополь»			пгт Гурзуф			МГ «Севастополь»			пгт Гурзуф		
	min	max	среднее	min	max	среднее	min	max	среднее	min	max	среднее
Sc	0,23	55,8	6,24	0,6	4,36	1,79	0,00005	10	0,6	0,001		
La	1,42	146	24	0,72	13	5,16	0,00003	45	3,44	<0,33		
Ce	0,03	258	28,4	2,6	21,3	8,63	0,00006	55	4,38	<0,33		
Nd	<0,12	59,6	8,07	<0,41	5,39	2,38	<0,13	8	2,17	<0,33		
Sm	<0,03	82,3	4,46	0,1	1,53	0,59	<0,0003	4,3	0,38	<0,03		
Eu	<0,009	5,42	0,55	0,11	0,85	0,37	0,0002	1,18	0,09	<0,003		
Tb	<0,003	2,33	0,27	<0,004	0,22	0,07	0,001	0,62	0,04	<0,003		
Yb	<0,02	13,6	1,42	<0,04	0,9	0,38	<0,02	0,57	0,06	<0,03		
Lu	<0,003	1,41	0,18	0,01	0,12	0,05	<0,0003	1,33	0,21	<0,03		
Th	<0,09	43,9	4,77	<0,43	3,51	1,42	0,00006	9	0,7	<0,33		
U	<0,03	13,6	1,76	<0,04	0,94	0,32	<0,002	14	1,38	<0,03		

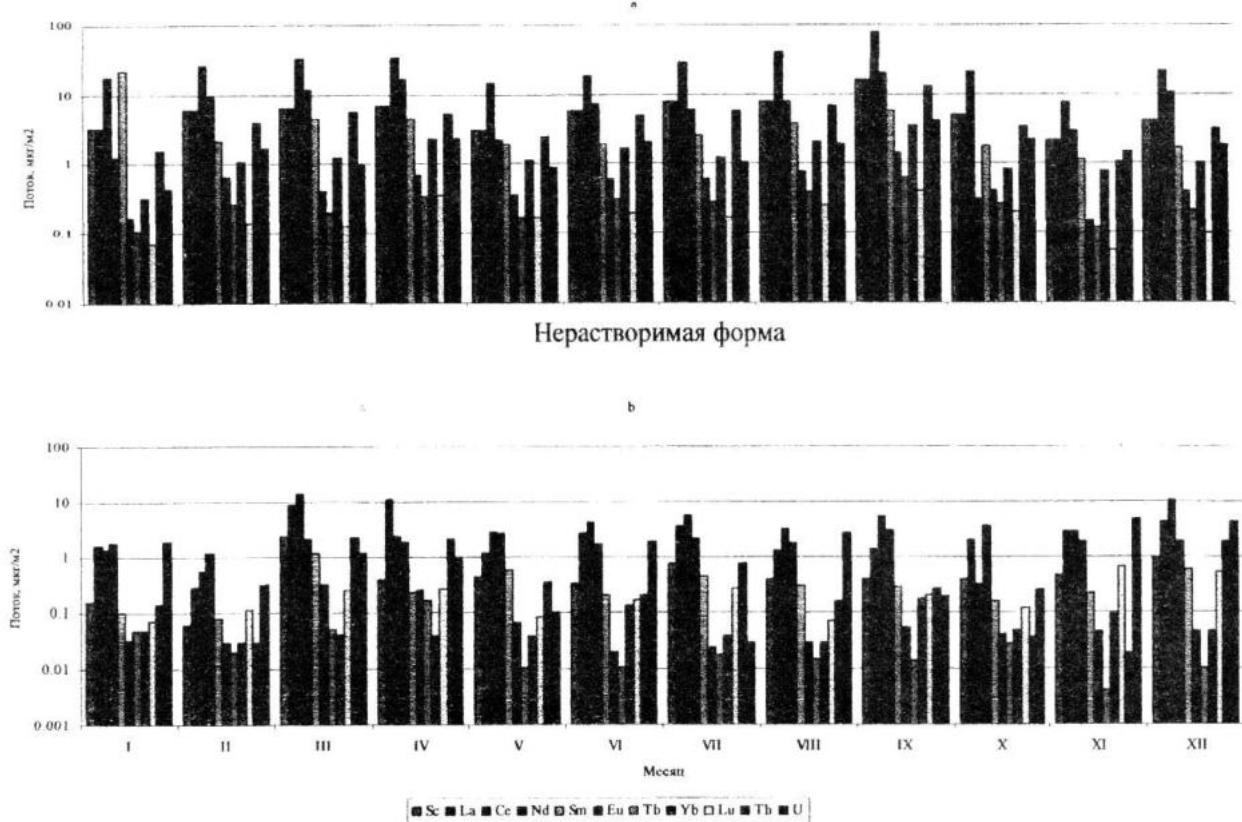


Рисунок 1 – Внутригодовое распределение средних значений потока элементов ($\text{мкг}/\text{м}^2$) в районе г. Севастополя в 2004–2008 годах

Результаты исследований миграции редкоземельных элементов. Данные исследований представлены в таблице 2 и на рисунках 1–2. Представленные данные свидетельствуют о существовании значительной временной и пространственной изменчивости величин потоков изученных редкоземельных элементов в районе г. Севасто-

поля и пгт Гурзуф. Рисунки 1–2 при этом свидетельствуют о немонотонности временной изменчивости величин потоков редких элементов. Так, например, только для нерастворимой формы элементов месячная изменчивость величин потоков во всем массиве данных натурных наблюдений составила следующие значения

($\text{мкг}/\text{м}^2 \cdot \text{месяц}$): 0,23–56 (Sc); 1,4–146 (La); 0,03–258 (Ce); 0,17–60 (Nd); 0,03–82 (Sm); 0,02–5,4 (Eu); 0,003–2,3 (Tb); 0,02–14 (Yb); 0,003–1,4 (Lu).

Суммарный ежемесячный поток редкоземельных элементов ($\text{мкг}/\text{м}^2 \cdot \text{месяц}$) в период 2004–2007 годов менялся так же значительно: 111 (январь), 113 (февраль), 517 (март), 838 (апрель), 122 (май), 85,5 (июнь), 137 (июль), 151 (август), 245 (сентябрь), 129 (октябрь), 1000 (ноябрь) и 127 (декабрь). При этом сумма ежемесячных потоков Th+U изменялась одновременно с вышеперечисленным рядом РЗЭ соответственно ($\text{мкг}/\text{м}^2 \cdot \text{месяц}$): 63; 80; 242; 291; 12,2; 12; 10; 17; 70; 17; 37; 69.

Диаграммы (рисунок 1), характеризуя внутригодовую изменчивость величин потоков элементов, свидетельствуют о постоянстве временной изменчивости данных потоков этих элементов, являющихся редкими в земной коре и биосфере [3].

Взаимное влияние элементов в процессе миграции. Это влияние оценивалось величинами коэффициентов парной корреляции (r) потоков элементов с учетом их форм химического состояния. В таблице 3 представлены значения r для потоков элементов (МГ «Севастополь» в период 2004–2008 годов). Из данных таблицы 3 следует, что изучаемые элементы, относясь по своему положению в Периодической системе элементов Д.И.Менделеева к III группе, и близкие по структурам электронные оболочки атомов (Sc, лантаниды и актиниды), заметно различаются в своем взаимном поведении в существующих естественных системах (растворенное и твердое состояние). Наблюдающиеся различия, возможно, возникают вопреки близким физико-химическим свойствам, в результате влияния биологической миграции с участием живого вещества, присутствие которого в данных атмосферных осадках, в частности, показано в [4, 5].

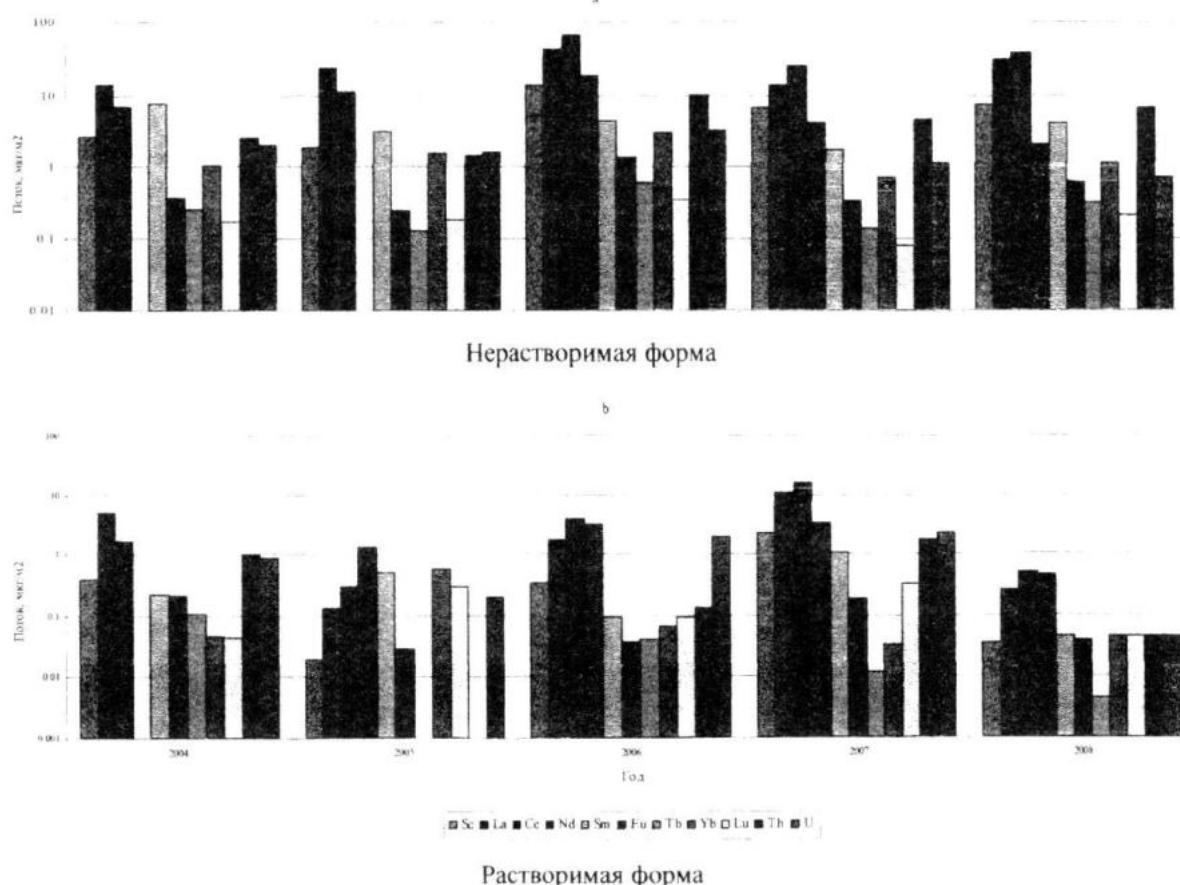


Рисунок 2 – Межгодовая изменчивость средних (за год) величин потока элементов ($\text{мкг}/\text{м}^2$) в районе г. Севастополя в 2004–2008 годах

Таблица 3 – Коэффициенты корреляции растворимой (РФ) и нерастворимой форм (НРФ) потоков элементов, выпавших с атмосферными осадками в период 2004–2008 годов на водную поверхность (МГ «Севастополь»)

	РФ											
Элемент	Sc	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu	Th	U	
НРФ	Sc	1	0,73	0,94	0,33	0,85	0,67	0,02	-0,11	0,37	0,75	0,20
	La	0,79	1	0,65	0,39	0,55	0,89	0,59	-0,13	0,38	0,96	0,30
	Ce	0,97	0,79	1	0,32	0,81	0,52	-0,10	-0,15	0,42	0,65	0,28
	Nd	0,78	0,71	0,79	1	0,25	0,17	0,53	0,15	0,18	0,17	0,21
	Sm	0,12	0,11	0,78	0,57	1	0,54	-0,05	0,06	0,45	0,67	0,03
	Eu	0,93	0,75	0,91	0,84	0,10	1	0,66	-0,01	0,17	0,91	0,06
	Tb	0,88	0,71	0,87	0,83	0,09	0,97	1	0,14	0,01	0,56	0,10
	Yb	0,77	0,66	0,77	0,82	0,74	0,84	0,83	1	0,27	-0,09	-0,14
	Lu	0,78	0,69	0,78	0,74	0,73	0,87	0,87	0,91	1	0,41	0,46
	Th	0,98	0,81	0,97	0,74	0,14	0,92	0,89	0,76	0,78	1	0,18
	U	0,66	0,56	0,65	0,85	0,59	0,74	0,77	0,85	0,82	0,65	1

Выводы. Впервые проведен многолетний (2004–2008 годы) систематический мониторинг миграции редких элементов (тория, урана, редкоземельных элементов) с атмосферными осадками на водную поверхность (г. Севастополь) с применением нейтронно-активационного анализа. Также впервые проведен аналогичный мониторинг в 2008 году на территории пгт Гурзуф (ДЛОЦ «Артек»).

Установлено, что потоки изученных редких элементов (Th, U, Sc, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu) на водную поверхность в районах г. Севастополя и пгт Гурзуф подвергаются немонотонной временной и пространственной изменчивости.

Выявлен экологический пресс на водную поверхность, ранее неизвестный, который, очевидно, может влиять на естественные процессы в равновесных экосистемах и стимулировать медико-географические проблемы [6].

Л и т е р а т у р а

1. Ильин Ю.П., Рябинин А.И., Мальченко Ю.А., Боброва С.А., Клименко Н.П., Чайкина А.В., Катунина Е.В., Салтыкова Л.В., Данилова Е.А., Сеничева М.И., Артеменко О.В. Состояние загрязнения атмосферных осадков г. Севастополя в 1997–2006 годах. Труды Украинского научно-исследовательского гидрометеорологического института. – № 255, 2006. – С. 165–183.

2. Рябинин А.И., Шибаева С.А., Катунина Е.В., Еркушов В.Ю. Методики физико-химической подготовки проб для определе-

ния микроэлементов многоэлементным нейтронно-активационным методом в морских, атмосферных, хозяйствственно-питьевых и сточных водах. Сборник научных трудов «Системы контроля окружающей среды. Средства, информационные технологии и мониторинг». – Севастополь: МГИ НАНУ, 2008. – С. 378–383.

3. Перельман А.И. Геохимия. – Москва: Высшая школа, 1979. – 423 с.

4. Смирнова Л.Л., Андреева Н.А., Салтыкова Л.В., Рябинин А.И. Особенности микрофлоры и макроэлементов в атмосферной взвеси на Севастопольском побережье в 2008 году (Черное море). Екологія міст та рекреаційних зон (Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції). – Одеса, 2009. – С. 151–153.

5. Артеменко О.В., Ильин Ю.П., Кучеренко В.С., Рябинин А.И., Боброва С.А., Гуцалюк А.Н., Мальченко Ю.А., Салтыкова Л.В. Гидрохимический режим и микроэлементный состав вод Чернореченского водохранилища в 1991–2004 годах. Сборник научных трудов «Экологическая безопасность прибрежных и шельфовых зон и комплексное использование природных ресурсов шельфа». – Севастополь: МГИ НАНУ, № 12, 2005. – С. 129–148.

6. Лапшин В.Б., Матвеева И.С., Яблоков М.Ю., Игнатченко А.В., Колесников М.В., Шокина О.С., Плетенев С.С., Боровик Р.В., Сыроежкин А.В. Токсичность морских аэрозолей как новая геэкологическая и медико-географическая проблема. Труды ГОИН, вып. 209, 2005. – С. 407–421.