

# РАДИОГИДРОХИМИЯ АЗОВСКОГО МОРЯ И МОНИТОРИНГ РАДИОАКТИВНОСТИ АТМОСФЕРНЫХ ВЫПАДЕНИЙ

**A.И. Рябинин, С.А.Шибаева,  
В.Ю. Еркушов\***

Морское отделение Украинского научно-исследовательского гидрометеорологического института  
г. Севастополь, ул. Советская, 61  
ПК "Научно-техническое бюро "Монитор"  
г. Севастополь, ул. Воронина, 10, оф. 41

*В статье впервые приведены количественные оценки ядерно-физических процессов радиолиза в водах Азовского моря для урана-238, урана-235, тория-232, калия-40 и углерода-14: количество ядер и их распадов, массы радионуклидов и стабильных изотопов. Обсуждаются результаты проведенных впервые в 2002–2007 гг. измерений суммы бета-активных радионуклидов в прибрежной зоне в районе г. Керчи.*

Таблица 1 – Расчетное количество ядер радионуклидов в водах моря, их радиоактивность и масса в объеме моря (объем моря  $290 \cdot 10^{12}$  л взят из [2])

Радионуклид	Количество, ядер/море	Масса, т/море	Количество распадов, ядер/море·год
$^{238}\text{U}$	$3,65 \cdot 10^{29}$	145	$5,57 \cdot 10^{19}$
$^{235}\text{U}$	$2,61 \cdot 10^{27}$	1,02	$3,45 \cdot 10^{21}$
$^{232}\text{Th}$	$3,77 \cdot 10^{28}$	14,5	$1,86 \cdot 10^{18}$
$^{40}\text{K}$	$6,11 \cdot 10^{33}$	$4,09 \cdot 10^5$	$6,09 \cdot 10^{23}$
$^{14}\text{C}$	$3,87 \cdot 10^{23}$	$9 \cdot 10^{-6}$	$1,51 \cdot 10^{12}$
$^{226}\text{Ra}$	$1,32 \cdot 10^{23}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$1,78 \cdot 10^{12}$

На основании данных таблицы 1 нами рассчитаны массы стабильных изотопов элементов, образующихся в море ежегодно. Количество атомов и массы свинца-206, свинца-207 и свинца-208 составили, соответственно,  $5,57 \cdot 10^{19}$  атомов (1,91 г);  $3,45 \cdot 10^{21}$  атомов (1,19 г);  $1,86 \cdot 10^{18}$  атомов (0,660 г), а массы гелия, аргона-40, кальция-40 и азота-14 составили, соответственно, 0,226 г ( $3,39 \cdot 10^{22}$  атомов); 4,4 г ( $6,60 \cdot 10^{22}$  атомов); 36,1 г ( $5,42 \cdot 10^{23}$  атомов);  $3,52 \cdot 10^{-11}$  г ( $1,51 \cdot 10^{12}$  атомов) в условиях радиоактивного распада, близкого к равновесному состоянию.

Влияние радионуклидов на физико-химическое состояние вод Азовского моря, в первую очередь, состоит в том, что радиоактивное излучение и вторичные радионуклиды, образующиеся в результате распада ядер, обладают высокой энергией, которая рассеивается в водной среде путем упругого и неупругого рассеяния, превращаясь в тепловую энергию. Так, 1 эВ кинетической энергии излучения  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$ , рассеивающегося в водной среде, соответствует возникновению  $\sim 23$  ккал/моль ( $9,6525 \cdot 10^4$  Дж/моль) тепловой энергии [1].

Ядерно-физические процессы радиолиза, протекающие при радиационных и радиогидрохимических процессах применительно к водам Азовского моря, впервые количественно оценены нами для средних концентраций естественных радионуклидов уран-238, уран-235, торий-232, калий-40 и углерод-14, величины которых были взяты, соответственно, следующие (мкг/дм<sup>3</sup>): 0,5; 0,035; 0,05; 1400;  $3,1 \cdot 10^{-8}$  (0,0052 Бк/дм<sup>3</sup>) (таблица 1).

Таблица 2 – Тепловые дебеты радионуклидов

Радионуклид	Кал/кури·час	Радионуклид	Кал/г·час
Уран-238	20,9	Уран-238 → свинец-206	$9,2 \cdot 10^{-5}$
Уран-234	23,0	Торий-232 → свинец-208	$2,2 \cdot 10^{-5}$
Торий-230	23,6	Калий-40	$2,6 \cdot 10^{-5}$
Радий-222 → висмут-214	140	Рубидий-87	$3,6 \cdot 10^{-5}$
Уран-238 → свинец-206	262	Самарий-147	$3 \cdot 10^{-4}$

При этом также выделяется ядерная энергия в виде энергии «отдачи» вновь образующихся ядер, которые приобретают скорость  $V_0$

$$V_0 = mV(M - m),$$

где  $M$  – масса атомного ядра;  $m$  – масса  $\alpha$ - или  $\beta$ -частицы;  $V$  – скорость испускаемых частиц.

Для Азовского моря эта энергия составляет величину 628240 ккал/год или более  $2,63 \cdot 10^6$  кДж. В качестве примера в таблице 2 приводим тепловые дебеты некоторых естественных радионуклидов [3].

В настоящее время Центральной геофизической обсерваторией Государственной гидрометеорологической службы Украины осуществляется ежесуточный мониторинг потоков суммы бета-активных радионуклидов на прибрежной территории в районе г. Керчи.

Из этих данных следует, что ежесуточные потоки суммы  $\beta$ -активных радионуклидов

за современный шестилетний период колебались в пределах 0–7,1  $\text{Бк}/\text{м}^2$  (29–30 августа 2003 г.) (рисунок 1), а изменчивость ежемесячных потоков лежала в интервале 41,8–78,4  $\text{Бк}/\text{м}^2$ . В то же время суммы годовых потоков этих радионуклидов изменились в значительных пределах: от 640,1  $\text{Бк}/\text{м}^2$  (2002 г.) до 807,3  $\text{Бк}/\text{м}^2$  (2006 г.).

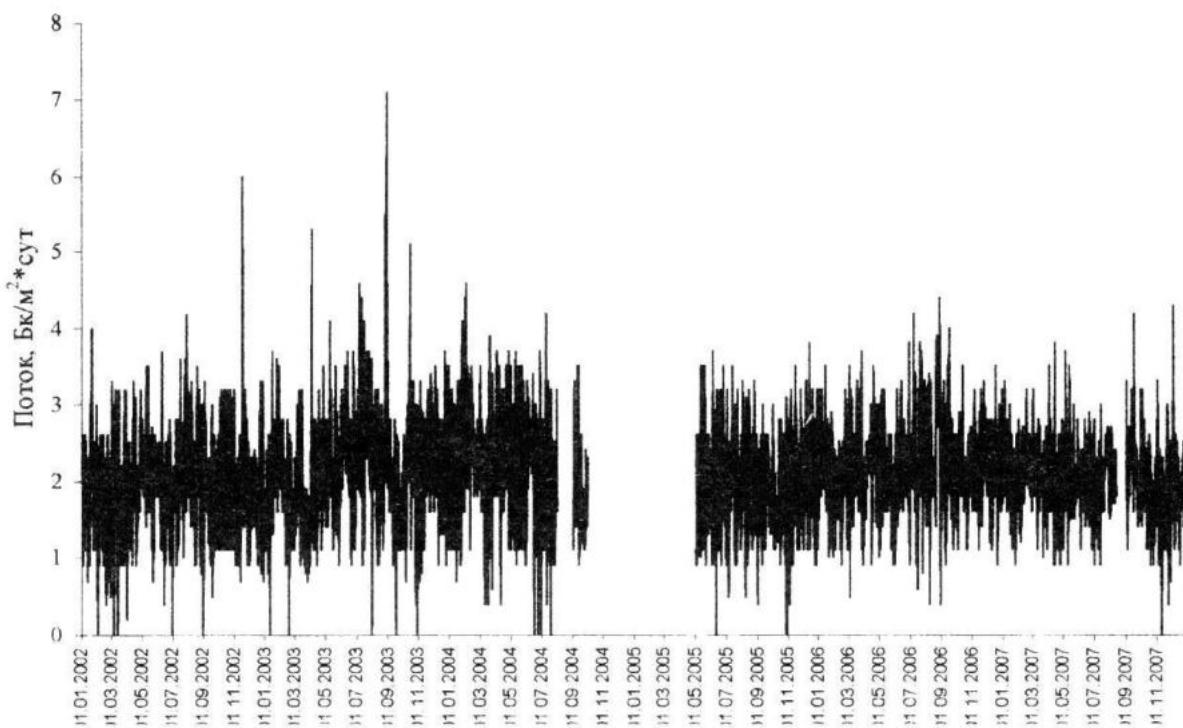


Рисунок 1 – Временной ход потоков суммарной бета-активности на поверхность г. Керчи за период январь 2002 г. – декабрь 2007 г

Всего за период 2002–2007 гг. в расчете на 1  $\text{км}^2$  суммарный поток составил величину  $45,0 \cdot 10^8 \text{ Бк}/\text{км}^2$ . Эту величину можно считать оценочной и для площади моря, равной 1  $\text{км}^2$ . Для всей площади моря, равной, по данным [2],  $3,9 \cdot 10^4 \text{ км}^2$  ежегодное поступление из атмосферы  $\beta$ -активных радионуклидов составляло (Бк): в 2002 г. –  $25,0 \cdot 10^{12}$ , в 2003 г. –  $30,6 \cdot 10^{12}$ ; в 2004 г. –  $30,8 \cdot 10^{12}$ , в 2005 г. –  $29,0 \cdot 10^{12}$ ; в 2006 г. –  $31,5 \cdot 10^{12}$  и в 2007 г. –  $28,4 \cdot 10^{12}$ .

Обобщенные данные по мониторингу долгоживущих техногенных радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ , входящих в состав потоков суммарной бета-радиоактивности из атмосферы на поверхность Крыма (г. Керчь, г. Симферополь, г. Севастополь, г. Феодосия и п. Черноморское) в период 2001–2004 гг. представлены в таблице 3.

По этим данным рассчитаны величины потоков  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ , ежегодно поступающих на поверхность моря, и проведено сравнение их с величинами потоков суммы бета-активных радионуклидов, рассчитанных выше для 2002 г., 2003 г. и 2004 г. (таблица 4).

Согласно данным таблицы 4 ежегодные потоки  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  из атмосферы на поверхность моря были постоянны и составляли значительные величины, что делает атмосферу в настоящее время существенным источником поступления в море не только естественных, но и техногенных радионуклидов.

Таблица 3 – Суммарные месячные и ежегодные выпадения цезия-137 и стронция-90 из атмосферы

Радионуклид	Поток, $\text{Бк}/\text{м}^2 \cdot \text{месяц}$												Сумма за год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
2001 г.													
$^{137}\text{Cs}$	0,23	0,15	0,41	0,80	0,41	0,36	0,20	0,21	0,18	0,13	0,18	0,26	3,52
$^{90}\text{Sr}$		0,10			0,12			0,48			0,45		1,15
2002 г.													
$^{137}\text{Cs}$	0,38	0,30	0,50	0,10	0,47	0,91	0,15	0,19	0,38	0,13	0,32	0,21	4,04
$^{90}\text{Sr}$		0,24			0,46			0,47			0,63		1,80
2003 г.													
$^{137}\text{Cs}$	0,27	0,16	0,34	0,64	0,47	0,22	0,20	0,52	0,37	0,25	0,24	0,41	4,09
$^{90}\text{Sr}$		0,67			0,50			0,38			0,46		2,01
2004 г.													
$^{137}\text{Cs}$	0,26	0,40	0,20	0,67	0,33	0,32	0,51	0,19	0,37	0,35	1,00	0,43	5,03
$^{90}\text{Sr}$		0,39			0,38			0,41			0,78		1,96

Таблица 4 – Ежегодные потоки  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  на площадь поверхности моря и их отношение к ежегодным потокам суммарной  $\beta$ -активности радионуклидов

Год	Поток $^{137}\text{Cs}$ , $\text{Бк}/\text{год} \cdot \text{площадь моря}$ и отношение к суммарной $\beta$ -активности	Поток $^{90}\text{Sr}$ , $\text{Бк}/\text{год} \cdot \text{площадь моря}$ и отношение к суммарной $\beta$ -активности
2001	$13,7 \cdot 10^{10}$ – (-)	$4,48 \cdot 10^{10}$ – (-)
2002	$15,8 \cdot 10^{10}$ ( $6,32 \cdot 10^{-3}$ )	$7,02 \cdot 10^{10}$ ( $2,81 \cdot 10^{-3}$ )
2003	$16,0 \cdot 10^{10}$ ( $5,23 \cdot 10^{-3}$ )	$7,84 \cdot 10^{10}$ ( $2,56 \cdot 10^{-3}$ )
2004	$19,6 \cdot 10^{10}$ ( $6,36 \cdot 10^{-3}$ )	$7,64 \cdot 10^{10}$ ( $2,48 \cdot 10^{-3}$ )

Среди естественных радионуклидов важное место занимает и изученный впервые в Украине бериллий-7 в сухих атмосферных выпадениях на поверхность г. Севастополя. Результаты этих исследований [4, 5], а также результаты мониторинга потоков суммарной  $\beta$ -активности из атмосферы на поверхность г. Севастополя, выполненного ЦГО Госгидрометслужбы Украины, и сравнение обоих потоков позволяет утверждать, что естественные процессы динамики радионуклидов на границах суши и моря практически близки в Азово-Черноморском бассейне, поэтому данные, полученные в районе г. Севастополя [5] можно применить также и для района г. Керчи и, тем самым, считать близкими для условий Азовского моря.

**Выводы.** Выполненные расчеты количественных характеристик ядерно-физических процессов радиолиза естественных радионуклидов в водах Азовского моря показали, что радиогидрохимический режим этих нуклидов в Азовском море подлежит, по нашему мнению, более активному исследованию.

Анализ данных мониторинга радиоактивных выпадений на водную поверхность моря в районе г. Керчи свидетельствует о том, что ввиду важности подобного мониторинга с экологической точки зрения и большого на-

учно-практического значения его результатов необходимо расширить сеть наблюдений в прибрежной зоне моря, как в украинской, так и в российской его части.

#### Л и т е р а т у р а

- Проблемы экологии и рекреации Азо-Черноморского региона. Материалы международной региональной конференции, 1994. – Симферополь: Таврия, 1995. – 312 с.
- Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Том V. Азовское море. – С.Пб.: Гидрометеоиздат, 1991. – 236 с.
- М.Н. Гайсинский. Ядерная химия и ее применение. – Москва: Иностранная литература, 1961. – С. 747.
- Г.Ф. Батраков, Т.В. Чудиновских, В.Ю. Еркушов, А.И. Рябинин. Атмосферный поток  $^{7}\text{Be}$  в прибрежной зоне Черного моря. Системы контроля окружающей среды / Сб. науч. трудов МГИ НАНУ. – Севастополь, 2004. – С. 224–227.
- Г.Ф. Батраков, Т.В. Чудиновских, В.Ю. Еркушов, А.И. Рябинин. Временная изменчивость выпадений бета-активных изотопов и  $^{7}\text{Be}$  в Севастопольском регионе. Системы контроля окружающей среды / Сб. науч. трудов МГИ НАНУ. – Севастополь, 2005. – С. 258–261.