

УДК 541. 15. (063)

О ВЛИЯНИИ РАДИАЦИОННО-ХИМИЧЕСКИХ И ЯДЕРНО-ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

В. М. Федосеев, И. В. Голубцов, В. К. Власов, А. М. Бабешкин

(кафедра радиохимии)

В статье приведен общий обзор и приближенная оценка некоторых факторов природного и техногенного характера влияющих на окружающую среду.

Все живое на земле существует и развивается в гравитационном и магнитном полях, в радиационных и электромагнитных полях излучений – от высокоэнергетических гамма-квантов до низкочастотных радиоволн, а также в полях механических и звуковых колебаний. [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Для биосферы Земли излучения – это источник энергии, способ получения информации, важнейший фактор изменчивости. В настоящее время у каждого естественно-го типа излучений есть искусственные аналоги – антропогенные излучения, мощность которых, как правило, значительно выше. Источники ионизирующих излучений, которые могут приводить к ядерно-химическим и радиа-

ционно-химическим превращениям, также можно разделить на естественные и искусственные (антропогенные).

Общее энерговыделение природной радиоактивности составляет $\sim 1,8 \cdot 10^{21}$ Дж/год. Считается, что при столь относительно низких мощностях дозы заметных радиационно-химических превращений в условиях поверхности Земли в современную геологическую эпоху не происходит. Однако на протяжении всей эволюции Земли эти превращения должны были быть существенными. Суммарное энерговыделение составляет $\sim 5,6 \cdot 10^{13}$ Дж/с, в приповерхностном слое Земли (в 1 см) – $\sim 10^8$ Дж/с, энерговыделение галактических космических лучей (ГКЛ) – $\sim 1,6 \cdot 10^9$ Дж/с,

солнечного ультрафиолета (≤ 150 нм) – $\sim 1 \cdot 10^{12}$ Дж/с, в то время как суммарная мощность ядерных реакторов в настоящее время равна $\sim 4 \cdot 10^{11}$ Дж/с.

Тепловой эффект естественной радиоактивности почти равен годовой потере теплоты Землей ($1,8 \cdot 10^{21}$ Дж/год). Однако уже при плотности искусственных тепловых сбросов ≤ 50 кВт/м² возможно образование сильных природных аномалий (смерчи) и повышение частоты выпадения осадков. Ежегодно на Землю выпадает ~ 20 тыс. т метеоритов и пыли. Испарившиеся в атмосфере молекулы при столкновении диссоциируют и ионизируются, при этом образуются «горячие» атомы, так же как в случае ядерных и радиационно-химических процессов. Считается, что реакции «горячих» атомов Т, С, О, Р и S в газовой и твердой фазах вносят существенный вклад в космохимию, кроме того, они играли определенную роль в добиологической эволюции Земли.

В природе имеет место радиолит с образованием сложных органических производных из углей, нефти. Наблюдается радиационно-химическое преобразование в зоне контакта подземных вод с нефтяными и газовыми месторождениями, фракционирование изотопов в подземной гидросфере.

Известные значения радиационно-химических выходов (G_i) озона, оксидов азота и азотной кислоты позволяют делать оценку выхода этих продуктов в воздушной атмосфере Земли как в случае природных процессов, так и для искусственных источников. Образование озона и каждого из оксидов азота за счет естественной радиоактивности в приповерхностном слое Земли может достигать $\sim 1,8 \cdot 10^5$ т/год, в результате разряда молний – $\sim 10^6$ – 10^9 т/год, за счет вакуумного ультрафиолета солнечного излучения – $\sim 10^9$ т/год. При взрыве атомной и водородной бомб этот показатель составляет $\sim 5 \cdot 10^3$ – $4 \cdot 10^4$ и $\sim 5 \cdot 10^7$ – 10^8 т соответственно. Работающие атомные реакторы могут давать $\sim 6 \cdot 10^8$ т/год, а хранилища отработавшего топлива – до $6 \cdot 10^6$ т/год.

Существенную роль, как источники радиации, играют радиоактивные отходы (РАО) различного происхождения. В одной только России накоплено не менее 200 тыс. м³ РАО, образовавшихся вне ядерного топливного цикла (суммарная активность ~ 2 млн Ки [9]).

Следует обратить внимание на опасность недооценки региональных локальных загрязнений атмосферного воздуха производными углерода и хлора, углерода и фосфора и т.п., так как радиационно-химические выходы некоторых продуктов их совместного радиолита, например фосгена, на 5 порядков выше соответствующих выходов озона.

Для подобной оценки преобразования вещества в литосфере и гидросфере (в Мировом океане) в настоящее время нет исходных радиационно-химических данных, отсутствует и возможность априорной оценки глобальных радиационно-химических выходов. В этом случае, на наш взгляд, можно воспользоваться установленными взаимосвязями между радиационно-химическими и радиохимическими выходами. Возможна оценка на основе модели многоатомного возбужденного комплекса форм стабилизации и радиохимических выходов продуктов «горячих» атомов конечных продуктов радиационно-химических

реакций в конденсированных фазах и их радиационно-химических выходов для широкого круга веществ неорганической природы, что позволит оценить масштабы экологических последствий ядерных и радиационно-химических превращений [6–8].

Таким образом, предлагается кроме четырех известных видов воздействия ядерной энергетики и других видов источников ионизирующего излучения на окружающую среду учитывать концентрацию глобального косвенного экологически опасного воздействия ядерно-радиационно-химических превращений.

Термодинамическая модель многоатомного возбужденного комплекса (МВК) позволяет оценивать выходы R_i «горячих» атомов в различных формах по уравнению

$$R_i = \Delta H_{0,i}^0 / \sum_i \Delta H_{0,i}^0,$$

где $\Delta H_{0,i}^0$ – стандартная теплота образования продуктов i -й реакции. На практике обычно используют значения ΔH_{298}^0 вместо ΔH_0^0 . Можно выполнить расчеты выходов «горячих» атомов в различных химических валентных формах в оксидах металлов подгрупп Si, P, S и др. на основе модели многоатомного возбужденного комплекса (R^p – расчетный, R^e – экспериментальный):

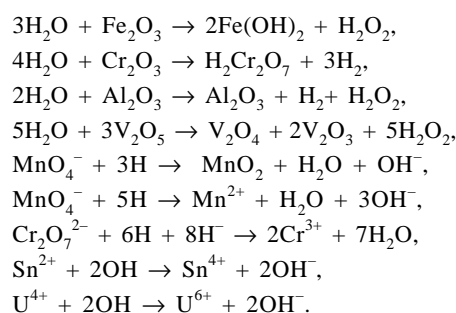
$$\begin{aligned} R_{\text{SnO}}^e &= 95\text{--}100\%; R_{\text{SnO}}^p &= 90\text{--}94\%; R_{\text{RbO}}^e &= 100\%; \\ R_{\text{RbO}}^p &= 49,5\%; R_{\text{SnO}}^e &= 64\text{--}77\%; R_{\text{SnO}}^p &= 67\%; R_{\text{AsO}}^e &= \\ &= 95\%; R_{\text{AsO}}^p &= 86,2\%; R_{\text{TeO}}^e &= 70\text{--}80\%; R_{\text{TeO}}^p &= 71\%; R_{\text{AsO}}^e &= \\ &= 47\%; R_{\text{AsO}}^p &= 36,6\%; R_{\text{TeO}}^e &= 94\text{--}100\%; R_{\text{TeO}}^p &= 80\%; R_{\text{SbO}}^e &= \\ &= 96\%; R_{\text{SbO}}^p &= 63,5\%. \end{aligned}$$

Модель МВК, предполагающая коллективный характер превращений в локальной области ядерного воздействия, позволяет связать начальный радиационно-химический выход $G_{i,n}$ продуктов ядерного превращения с выходами «горячих» атомов в соответствии с уравнением

$$G_{i,n} = R_i \frac{N_3}{E_3} \text{ молекул/эВ} \cdot 100,$$

где N_3 – число молекул в возбужденной «горячей» зоне, E_3 – энергия, поглощенная в возбужденной зоне. Параметры возбужденной «горячей» зоны N_3 и E_3 целесообразно определить исходя из схемы Зейтса–Келлера.

Окислительно-восстановительные процессы, протекающие под воздействием α -, β -, γ -излучений в водной среде можно иллюстрировать примерами:



При облучении золя CdS (300 мг/л) дозой порядка $5 \cdot 10^{19}$ эВ/мл (10^4 Дж/кг) он полностью переходит в истинный раствор в результате превращения в легко растворимый CdSO₄. Аналогично ведут себя золи и

Значения энергий источников ионизирующих излучений и выходы основных продуктов радиолитизации воздуха (O₃, NO₂, NO, N₂O, HNO₃) [7]

Источник ионизирующего излучения	Активность, МКи	Мощность		Энергия, эВ/год	Выход продуктов радиолитизации, т	
		Дж/с	эВ/с		в 1 сут	в 1 год
ГКЛ		1,5 10 ⁹	9,26 10 ²⁷	3,0 10 ³⁴	6,6 10 ²	2,4 10 ⁵
УФ<150 нм		1,1 10 ¹²	6,24 10 ³⁰	2,0 10 ³⁸	4,4 10 ⁶	1,6 10 ⁹
⁴⁰ K		4,0 10 ¹²	2,5 10 ³¹	8,0 10 ³⁸		
⁴⁰ K в поверхностном слое земли толщиной 1 см		8,0 10 ⁶	5,0 10 ²⁵	1,6 10 ³³	36	1,3 10 ⁴
Радиоактивность		5,6 10 ¹³	3,5 10 ³²	1,12 10 ⁴⁰		
Радиоактивность в поверхностном слое Земли толщиной 1см		1,1 10 ⁸	7,0 10 ²⁶	2,25 10 ³⁴	3,05 10 ²	1,8 10 ⁵
РУ, Со-60	1 4	(7 30) 10 ³	(4,4 18,7) 10 ²²	(1,4 6) 10 ³¹	0,3 1,3	(1 5) 10 ²
ΣРУ, Со-60	90 135	1,5 10 ⁹	9,26 10 ²⁷	3,0 10 ³⁴	6,6 10 ²	2,4 10 ⁵
ΣРУ, Cs-137	10	1,5 10 ⁹	9,26 10 ²⁷	3,0 10 ³⁴	6,6 10 ²	2,4 10 ⁵
ЭУ	13-Со-60 60-Cs-137	2,0 10 ⁵	1,25 10 ²⁴	4,0 10 ³¹	0,88	320
Σ ЭУ	Экв. 450 Cs-137	1,5 10 ⁷	3,0 10 ²⁶	1,0 10 ³⁴	220	8,0 10 ⁴
Ядерный реактор Обнинск-1		5,0 10 ⁶	3,0 10 ²⁵	6,4 10 ³²	14,0	5,1 10 ³
Ядерный реактор (1000)	8,24 10 ³	1,0 10 ⁹	6,24 10 ²⁷	2,0 10 ³⁵	4,3 10 ³	1,6 10 ⁶
Σ ядерных реакторов		4,0 10 ¹¹	2,5 10 ³⁰	8,0 10 ³⁷	1,8 10 ⁶	6,4 10 ⁸
Выбросы ядерных реакторов (1000) Ag и T	(1 5) 10 ³	3 15	(1,9 94) 10 ¹⁸	(6,1 300) 10 ²⁵	(1 6) 10 ⁶	(0,5 240) 10 ³
Σ выбросов ядерных реакций	0,2 1	(6 30) 10 ²	(3,7 18,7) 10 ²¹	(1 6) 10 ²⁹	(2 13) 10 ³	1 4,8
Хранилища отработанного топлива ядерных реакторов (1000)	1,31 10 ³	1,0 10 ⁷	6,24 10 ²⁵	2,0 10 ³³	44	1,6 10 ⁴
Σ хранилищ отработанного топлива ядерных реакторов (1000)	5,2 10 ⁵	3,6 10 ⁹	2,2 10 ²⁸	7,2 10 ³⁵	1,6 10 ⁴	5,8 10 ⁶
Взрыв атомной бомбы		1,1 10 ¹⁴	6,24 10 ³²		(5 10 ³)	тонны
Взрыв водородной бомбы		1,0 10 ¹⁸	6,24 10 ³⁶		5 10 ⁷	то же
Разряд молнии		1,0 10 ¹⁰	6,24 10 ²⁸		0,5	то же
Σ разряд молнии за год		1,0 10 ¹⁰		1,25 10 ³⁸	1 10 ⁹	то же
Запуск ракеты		1,0 10 ¹²	6,24 10 ³⁰		50	то же

других сульфидов: Ag₂S, NiS, Au₂S, Na₂S, In₂S₃, CoS, HgS, Tl₂S и т.д.

Радиационное окисление водных суспензий сернистых соединений используется на практике, например для удаления серы из сернистых нефтей и сырого бензола. Так, во фракциях сырого бензола Руставского металлургического комбината при их облучении от γ-источника совместно с водой процентное содержание серы изме-

нилось от 1,0 до 0 (доза 2,4·10²⁰ эВ/мл, (3,9·10² Дж/кг)). Можно привести и другие примеры.

Проведенный анализ показал сопоставимость масштабов техногенных и природных радиационно-химических процессов в «чистом» воздушном океане.

На современном этапе провести подобный анализ в литосфере и гидросфере затруднительно из-за отсутствия достаточной базы необходимых данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пикаев А.К. Современная радиационная химия. М., 1985.
2. Котов А.Г., Громов В.В. Радиационная физика и химия гетерогенных систем. М., 1988.-
3. Бабаев Н.С., Демин В.Ф., Ильин Л.А. и др. Человек и окружающая среда. М., 1984.
4. Вовк И.Ф. Радиолитизация подземных вод и его геологическая роль. М., 1979.
5. Перцов Л.А. Ионизирующие излучения биосферы. М., 1973.
6. Голубцов И.В., Бабешкин А.М. // Сб. докл. I Всесоюз. радиобиол. съезда. Пушино, 1989.
7. Бабешкин А.М. / Проблемы радио-геохимии и космохимии. М., 1992. С. 205.
8. Федосеев В.М., Голубцов И.В., Власов В.К. // Сб. трудов III Рос. конф. «Радиохимия-2000». СПб., 2000.
9. Соболев И.А., Дмитриев С.А., Баранов А.С. и др. // Обращение с РАО, образующимися вне ядерного топливного цикла. 1995. 70. Вып. 6.