УДК: 553.76:658.567.614.876

Выброс природных радионуклидов в окружающую среду в результате деятельности предприятий неядерных отраслей

Э.П. Лисаченко[1], И.П. Стамат[1], А.Л. Зельдин[2]

[1] Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Санкт-Петербург
[2] ГБОУ ВПО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Минздрава РФ, Санкт-Петербург

В настоящем обзоре анализируются литературные данные о выбросе природных радионуклидов в окружающую среду за счет деятельности предприятий неядерных отраслей. Рассматриваются количественные характеристики выбросов, особенности формирования радионуклидного состава выбросов предприятиями разных отраслей и сведения о дозах облучения населения за счет выбросов, а также возможности нормирования величины выброса природных радионуклидов за счет деятельности предприятий.

Ключевые слова: *природные радионуклиды, предприятия неядерных отраслей, потоки природных радионуклидов с выбросами предприятий, дозы природного облучения населения, производственные отходы.*

В результате хозяйственной деятельности на поверхность земли выносится огромное количество природных радионуклидов (ПРН). Интенсивность выноса ПРН на земную поверхность за счет деятельности предприятий неядерных отраслей в настоящее время контролируется недостаточно полно. Оценки вклада этого пути облучения в суммарные дозы облучения населения сделаны лишь для отдельных видов неядерных производств. Еще меньшие успехи достигнуты в направлении нормирования выноса ПРН с выбросами предприятий неурановых отраслей промышленности. Учитывая это, в настоящей статье нами анализируются указанные три аспекта проблемы ограничения облучения населения за счет выбросов ПРН предприятиями неядерных отраслей. При этом нами не рассматриваются вопросы выноса ПРН со сбросами (жидкими стоками) предприятий, которые требуют отдельного детального анализа.

Интенсивность выноса ПРН с выбросами предприятий

Общие потоки ПРН в атмосферу за счет пылевых и газовых производственных выбросов предприятий неурановых отраслей зависят от величины общего объема промышленных выбросов данного предприятия (отрасли), содержания радионуклидов в используемых минеральных материалах и технологических особенностей производства. По общему объему выбросов лидирует электроэнергетика (29,1%), за ней следуют цветная и черная металлургия (26,6%) [1]. В результате сжигания каменного угля в атмосферу выбрасывается около 93,60 млн т пыли в год, а производство цемента сопровождается выбросом 53,37 млн т пыли в год [2].

По данным НКДАР ООН, по выбросу ПРН из-за больших масс перерабатываемого сырья на первом месте стоят фосфатная и металлургическая промышленности, за ними следуют производство керамики и огнеупоров. Вынос в атмосферу ^{238}U, ^{228}Th, ^{226}Ra, ^{222}Rn, ^{210}Pb, ^{210}Po и других ПРН с типичных предприятий по переработке полезных ископаемых (металлургия, ТЭС, цементное производство, производство керамики и огнеупоров) оценивается величинами от $n \cdot 10^3$ до $n \cdot 10^7$ Бк на 1 т переработанного сырья [3].

Поступление ПРН с выбросами предприятий в окружающую среду происходит уже на этапах добычи и обогащения минерального сырья. На горнодобывающих и обогатительных предприятиях неурановых отраслей источниками постоянного поступления аэрозолей ПРН в атмосферный воздух являются также отвалы промышленных отходов, искусственные насыпи из вскрышных пород и хвостохранилища обогатительных фабрик. [4]. Как правило, соотношение радионуклидов природных рядов урана и тория в выбросах этих предприятий близко к равновесному.

Повышенное содержание ПРН во вскрышных породах и на хвостохранилищах зачастую встречается при добыче драгоценных металлов и разработке комплексных месторождений минерального сырья (Белая Зима в Иркутской области, Селигдар в Республике Саха (Якутия) и др.). Хвостохранилища обогатительных фабрик тугоплавких металлов (W, Mo, Ta, Nb,) содержат ПРН с удельной активностью до 2,6 кБк/кг [5]. За счет механизмов обогащения радионуклидами мелких фракций минеральных материалов удельная активность природных радионуклидов в мелкодисперсной пыли может оказаться еще больше [6].

В угледобывающих регионах значительны общие выбросы пыли пустых пород в атмосферу (около 545 тыс. т), в незначительных концентрациях содержащих ПРН. В угольной промышленности России на середину 2010 г. действуют 228 угледобывающих предприятий (91 шахта и 137 разрезов) [7].

Природные радионуклиды интенсивно поступают в атмосферу вместе с пылевыми выбросами при обогащении фосфатных руд, изначально содержащих повышенные концентрации радионуклидов ряда урана. Так, при

обогащении 1 т фосфатов на комбинате Маардское ПО «Эстонфосфорит» (Эстония) поток ПРН с пылью в окружающую среду составлял около 360 Бк ^{226}Ra и 44 Бк ^{232}Th. Отмечено, что в результате длительной работы комбината содержание ^{226}Ra в его окрестностях в 3–6 раз превысило среднее в почвах региона [8].

При переработке и использовании минерального сырья радионуклидный состав производственных выбросов формируется в зависимости от наличия в технологиях предприятий высокотемпературных и химических переделов, поскольку радионуклиды рядов урана и тория как химические элементы ведут себя по-разному. В высокотемпературных технологиях с газами выносятся: при температуре T < 200°C – только радон; при 200°C < T < 300°C – выносятся весь Rn и около половины изотопов Po; при 300 °C < T < 700 °C – весь Rn, все изотопы Po и половина изотопов Pb; при T > 700 °C – все упомянутые радионуклиды выносятся полностью [9]. Использование высокотемпературных технологий характерно для целого ряда отраслей промышленности (табл. 1).

Таблица 1

Перечень основных отраслей промышленности, на которых используются высокотемпературные процессы переработки сырья

Отрасли промышленности (производства)	Характерные температуры, °C
Коксование угля, производство термоантрацита, керамики, титана, цемента, алюминия и др.	950–1450
Металлургия, сжигание угля, электроплавка концентратов	1400–1700
Переработка фосфатов	До 2000
Производство огнеупоров	До 2800

В интенсивность выброса ^{210}Pb и ^{210}Po в окружающую среду вносят определенный вклад все минеральные компоненты высокотемпературных технологий и сжигаемого топлива, содержащие микропримеси ПРН ряда урана-радия.

При сжигании угля интенсивность и радионуклидный состав выбросов зависят от характеристик угля и технологии сжигания (температуры, параметров полей фильтрации, дисперсности и т.п.) [10]. Вследствие высокой температуры сжигания угля во внешнюю среду практически полностью выносятся изотопы радона – ^{220}Rn и ^{222}Rn. Для современных ТЭС, работающих на угле с содержанием золы не более 10% и оборудованных высокоэффективными фильтрующими системами с коэффициентами улавливания золы до 97,5%, их выброс оценивается величиной около $6 \cdot 10^{10}$ Бк/ГВт/год. [11]. Высокодисперсная зола практически не улавливается оборудованием по очистке газов ТЭС. Летучие фракции золы обогащены ^{210}Pb сильнее, чем ураном и радием. При этом тонкие фракции золы (2,4–3,7 мкм) обогащены радионуклидами в большей степени, чем более грубые (18,5 мкм). Считается, что ^{210}Pb и ^{210}Po находятся на поверхности частиц. По данным [12], в окрестностях угольной ТЭС максимальная концентрация ^{210}Pb в воздухе присуща аэрозольным частицам размером до 4 мкм, причем наибольшая удельная активность ^{210}Pb в пыли характерна для частиц респирабельного диапазона с размерами до 1 мкм (табл. 2), которые при вдыхании осаждаются в верхних дыхательных путях и в легких.

Фактор обогащения радионуклидами золы от сжигания углей на разных объектах имеет широкий диапазон и может составлять: ^{238}U – (1–10), ^{226}Ra – (5–15), ^{210}Po – (30–200), ^{210}Pb – (20–120), ^{232}Th – (1–10), ^{40}K – (10–50) [13]. Характерный радионуклидный состав выбросов типичных угольных ТЭС Европы приводится в материалах Европейского Союза [14] (табл. 3).

Таблица 2

Распределение активности ^{210}Pb в аэрозольных частицах в атмосферном воздухе в окрестностях угольной ТЭС [12]

Размер аэрозольных частиц, мкм	Удельная активность ^{210}Pb	
	Бк/м^3 воздуха	Бк/г пыли
0,0–1,0	67,1–229,0	34,1–50,4
1,0–3,0	15,01–18,5	11,0–11,8
3,0–9,0	10,2–23,5	7,8–14,2
>9,0	21,0	7,9

Таблица 3

Радионуклидный состав выбросов ТЭС [14]

Радионуклид	Величина выброса типичными ТЭС, ГБк/год
^{238}U	0,16
^{232}Th	0,08
^{226}Ra	0,11
^{222}Rn	34,0
^{210}Pb	0,4
^{210}Po	0,8

Поскольку величина выброса ПРН зависит от уровня фильтрации, она может сильно различаться на старых и современных ТЭС при сжигании одинакового количества угля [10].

Большие массы угля идут на коксование и получение термоантрацита с использованием высокотемпературных технологий, а также в перспективных технологиях с глубокими химическими и термическими переделами (производство жидкого топлива, термобрикетирование, получение адсорбентов, производство удобрений, выделение редких и редкоземельных элементов и др.). Оценка выбросов ПРН в перечисленных современных технологиях остается пока за рамками проведенных исследований.

Со временем постоянно увеличивается вероятность использования угля с повышенным содержанием ПРН в сфере хозяйственной деятельности за счет освоения новых месторождений (ранее закрытых как урановые провинции); удельная активность ПРН (в основном ряда урана) в этом угле может превышать 10 кБк/кг, что неизбежно приводит к увеличению выброса ПРН в атмосферу, а также образованию большого количества производственных отходов с высоким содержанием природных радионуклидов [10].

ТЭС, работающая на сланцах (Прибалтийская), выбрасывает в атмосферу с дымовыми выбросами до 90% урана, от 28 до 60% радия и до 78% тория. Помимо аэрозольного компонента, в выбросах может присутствовать до 20% летучей золы. Концентрация ПРН в факеле выброса достигает 50, 10 и 100 мкБк/м^3 по радию, торию и урану соответственно при естественном фоне около 1 мкБк/м^3. В результате деятельности ТЭС вокруг нее в радиусе, равном

примерно 40 высотам труб станции, образовалась зона повышенного содержания ПРН в верхнем слое почвы (до 3 см), которое примерно на порядок выше фоновых уровней содержания ПРН в почвах на этой территории [15].

При производстве цемента температура обжига технологической смеси составляет 1450 °С и более, что неизбежно приводит к возгонке и выбросу в атмосферу прежде всего ^{222}Run, ^{210}Pub и ^{210}Po, по сравнению с которыми выброс других природных радионуклидов незначителен (табл. 4).

Таблица 4

Выбросы отдельных природных радионуклидов при работе типичного цементного завода мощностью 2000 Кт цемента разного вида в год [14]

Радионуклиды	Выброс ПРН, ГБк/год
^{238}U	0,2
^{228}Th	0,05
^{226}Ra	0,2
^{222}Rn	157
^{210}Pb	0,2
^{210}Po	78
^{40}K	0,4

В настоящее время в Российской Федерации действуют 49 основных цементных заводов [16]. Источниками выброса ПРН являются сырьевые заводы, печи для обжига, клинкерные холодильники, цементные мельницы. Горячий отработанный газ или отработанный воздух проходит через измельченный до состояния пыли материал, что приводит к образованию смеси мелкодисперсной пыли и газа.

В черной металлургии суммарная величина выброса ПРН определяется большим потоком перерабатываемого сырья и используемого топлива при относительно низком содержании ПРН в исходной руде. Главным источником выноса ПРН в атмосферный воздух являются пылящие процессы при первичной переработке руды. При этом относительно крупные частицы появляются преимущественно в непосредственной близости от завода [4]. Масса пыли с размером частиц не выше 3 мкм, выносимой доменными газами, составляет 20–100 кг на 1 т чугуна, выброс пыли в расчете на 1 т передельного чугуна (сталь) составляет 4,5 кг. При производстве 1 т мартеновской стали выделяется 3000–4000 м^3 газов с концентрацией пыли в среднем 0,5 г/м^3, при подаче кислорода в зону расплавленного металла пылеобразование многократно увеличивается, достигая 15–52 г/м^3 [17,18].

Современные заводы черной металлургии в большинстве случаев имеют цехи коксования углей, которые работают при температуре 900–1100°С, что предопределяет выброс ^{222}Run, ^{210}Pub и ^{210}Po. При коксовании 1 т угля образуется 300-320 м^3 коксового газа, около 6% которого поступает в атмосферу [19].

В производстве алюминия, наряду с выбросом ^{210}Pub и ^{210}Po вследствие использования высокотемпературных процессов, источником поступления ПРН в окружающую среду является также выброс пыли красных шламов (1,1–6,2 т на 1 т алюминия) – отхода алюминиевого производства с повышенным содержанием ^{226}Ra, удельная активность которого достигает 2,9 кБк/кг [20,21].

Выброс ПРН в производстве керамики определяется, наряду с применением высокотемпературных технологий, значительным пылеобразованием. К керамической отрасли относят производство облицовочной и напольной плитки, кирпича и черепицы, посуды, декоративных и санитарно-технических изделий, технической керамики, керамических труб, керамзита, иногда абразивов.

Газообразные выбросы, которые формируются при сушке, прокаливании, обжиге изделий и за счет сжигания топлива, неизбежно содержат ^{210}Po и ^{210}Pb. Выброс ^{210}Po типичным заводом по производству керамики составляет 0,3 ГБк/год [3]. Годовой выброс радионуклидов керамическими предприятиями Нидерландов с пылью и газами оценивается величиной 0,23; 1,2 и 0,22 ГБк ^{210}Pb, ^{210}Po и ^{40}K соответственно [14]. На величину выброса ПРН, наряду с большим объемом газообразных выбросов (объем их может достигать в разных технологиях $n \cdot 10^4$ м^3/час [22]), влияет использование технологических компонент с повышенным содержанием ПРН: в состав глазурованной керамики и технологических компонент для ее производства входит от 1 до ~ 50% циркониевого сырья (в зависимости от характера продукции), удельная активность которого может достигать 5–10 кБк/кг в зависимости от месторождения сырья. Вовлечение в производство керамики материалов с существенно большим содержанием ПРН, чем в сырье традиционных месторождений, в настоящее время является выраженной тенденцией [23].

На предприятиях по переработке фосфатных руд вынос ^{210}Pb и ^{210}Po происходит при обжиге руды [24], а также в безотходной технологии производства плавленых фосфатов [5]. Величина ПРН с выбросами отечественных предприятий возрастает в связи с вовлечением в производство фосфатов нетрадиционных источников сырья с повышенным содержанием ПРН (импортные фосфатные руды, фосфаты комплексных месторождений).

В технологиях производства огнеупоров неизбежной сырьевой компонентой производства являются минеральные материалы с повышенным содержанием ПРН – циркониевые материалы и отдельные виды бокситов [25], что во многом определяет величину выброса ^{210}Pb и ^{210}Po.

При получении двуокиси титана TiO_2 также используется сырье с повышенным содержанием ПРН – рутиловый и ильменитовый концентраты. В рутиле содержится ^{238}U – от 100 до 1100 Бк/кг; ^{232}Th – от 200 до 2300 Бк/кг. При средних значениях удельной активности ПРН в сырье годовой поток радионуклидов для типичного предприятия по производству TiO_2 оценивается величиной 40 и 60 ГБк по радионуклидам рядов ^{238}U и ^{232}Th соответственно [14]. При этом ^{210}Pb и ^{210}Po почти полностью возгоняются и переходят в мелкодисперсную фракцию производственных отходов – так называемую зациклонную пыль. В процессе руднотермической плавки ильменитов наблюдается обогащение этими радионуклидами тонких фракций пыли по сравнению с ее грубыми фракциями [26]. Технологии производства TiO_2 сопутствует образование хвостохранилищ отходов с повышенным содержанием ПРН, тонкая фракция которых поступает на близлежащие территории за счет ветрового выноса [27].

Таблица 5

Вынос ПРН в атмосферу в различных технологиях (ГБк/год) [3]

Виды производств*	^{238}U	^{228}Th	^{226}Ra	^{222}Rn	^{210}Pb	^{210}Po
Элементарный фосфор (570)	–	–	–	563	66	490
Фосфорная кислота (700)	0,07	0,002	0,09	820	0,08	0,14
Производство железа и стали (7500)	–	–	–	180	55	90
Угольная станция (1350)	0,16	0,08	0,11	34	0,4	0,8
Производство кокса (885)	0,013	0,009	0,013	13	0,012	0,07
Производство цемента (2000)	0,2	0,05	0,2	157	0,2	78
Производство керамики (3200)	0,03	–	0,03	0,03	0,09	0,3
Производство титанового пигмента (50)	0,001	0,001	0,001	6,2	0,001	0,001

* В скобках приведен расход используемого сырья, тыс. т/год.

Поставщиками значительных количеств ПРН в окружающую среду являются предприятия по переработке и использованию подземных природных вод (предприятия водоподготовки, геотермальная энергетика, извлечение йода, брома и других элементов из подземных вод и т.п.). Производственные отходы этих предприятий характеризуются повышенным содержанием ПРН, причем зачастую с высоким коэффициентом эманирования. ПРН поступают в окружающую среду с газовыми и аэрозольными выбросами предприятий, а также ветровым выносом с мест их хранения [22]. Характерные потоки отдельных ПРН в атмосферу с выбросами различных производств приведены в таблице 5.

По данным [14], в результате деятельности предприятий теплоэнергетики (угольные и газовые ТЭС), а также добычи нефти и газа предприятиями Евросоюза суммарный выброс ^{222}Rn в атмосферу достигает $8{,}5 \cdot 10^{13}$ Бк/год, почти половина из которого приходится на долю газовых ТЭС, а еще четверть обусловлена добычей нефти. Среди других ПРН максимальными являются выбросы в атмосферу ^{210}Po (около $8{,}1 \cdot 10^{10}$ Бк/год), ^{210}Pb ($4{,}1 \cdot 10^{10}$) и ^{40}K ($2{,}7 \cdot 10^{10}$); выброс остальных ПРН характеризуется величинами до $1{,}0 \cdot 10^{10}$ Бк/год.

Значительные потоки радона в атмосферу выносятся за счет использования природного газа в качестве энергоносителя и химического сырья (в химической промышленности, нефтеперерабатывающей и нефтехимической, цементной промышленности, черной и цветной металлургии, машиностроении и др.), объемы потребления которого для наиболее энергоемких отраслей промышленности приведены в таблице 6 [28].

Таблица 6

Потребление природного газа в некоторых отраслях промышленности

Отрасли	Потребление газа, млн м^3/год
Электроэнергетика	6680,0
Металлургическая промышленность	5112,3
Цементная промышленность	561,6

По данным [3], выход радона в атмосферу при сжигании природного газа на газовой ТЭС составляет 230 ГБк/год при его расходе $600 \cdot 10^6$ м3/год. Учитывая это, суммарный поток радона в электроэнергетике может составлять $25 \cdot 10^3$, в металлургии – $19 \cdot 10^3$, а в цементной промышленности – $21 \cdot 10^2$ ГБк/год. Полученные оценки являются ориентировочными, т.к. содержание радона в природном газе разных месторождений может сильно различаться, достигая для некоторых из них $5{,}6 \cdot 10^4$ Бк/м^3; поставщиком радона в окружающую среду является также сланцевый газ, который обычно отличается повышенным содержанием радона [29], а также геотермальная энергетика. Поток ^{222}Rn в атмосферу при работе геотермальной станции мощностью 400 МВт оценивается величиной порядка 100 ГБк/год [13].

Дозы облучения населения за счет выбросов предприятий

Облучение населения за счет содержания природных радионуклидов в выбросах предприятий обусловлено следующими компонентами:

– внешнее облучение за счет радионуклидов, содержащихся в атмосферном воздухе и осевших на почву;

– внутренне облучение за счет ингаляционного поступления радионуклидов, содержащихся в атмосферном воздухе из-за собственно выбросов предприятий и радионуклидов, поступивших в воздух из почвы;

– внутреннее облучение за счет перорального поступления ПРН с пищевыми продуктами (по цепочкам «почва → растения → человек», «почва → растения → животные (мясо, молоко) → человек» и «открытые водоемы → рыба → человек»), а также с питьевой водой.

Очевидно, что, кроме содержания ПРН в выбросах самих производств, определенный вклад в облучение населения вносят места хранения производственных отходов неурановых предприятий. Хвостохранилища, являясь накопителем отходов переработки различных руд, относят к числу экологически потенциально опасных инженерных объектов. Дозы облучения населения за счет ингаляционного поступления радона и пыли, содержащей ПРН, на территориях вблизи хвостохранилищ оцениваются величинами около 0,04 и 0,02 мЗв/год соответственно [27].

Наиболее детальный анализ различных путей облучения населения за счет содержания природных радионуклидов в выбросах неурановых предприятий приводится

в документе ЕС [14]. При этом отмечается, что характер распространения радионуклидов с выбросами предприятий и формирование дозовой нагрузки на население в наибольшей степени определяется высотой трубы предприятия. При малой высоте выброса (10 м) ведущую роль в формировании доз облучения населения за счет всех природных радионуклидов играет их ингаляционное поступление в организм с вдыхаемым воздухом. Исключение составляют ^{210}Pb и ^{210}Po, основной вклад которых в облучение населения определяется их поступлением с растительной пищей (так называемые глобальные выпадения природных радионуклидов [30]).

Вклад отдельных ПРН в выбросах предприятий в суммарные дозы облучения населения за счет разных путей облучения заметно различается (табл. 7).

Таблица 7

Относительный вклад в суммарные дозы отдельных ПРН, содержащихся в атмосфере (по общей экологической модели [31])

Радионуклид	Зв/год на 1 Бк/м^3	Относительный вклад в суммарные дозы, %	
		внешнее облучение	ингаляционное поступление
^{210}Pb	$4{,}7 \cdot 10^{-4}$	4	2
^{210}Po	$9{,}0 \cdot 10^{-4}$	–	1
^{226}Ra	$1{,}5 \cdot 10^{-3}$	82	11
^{228}Th	$8{,}4 \cdot 10^{-4}$	11	64
^{230}Th	$2{,}0 \cdot 10^{-3}$	61	36
^{232}Th	$2{,}5 \cdot 10^{-3}$	67	30
^{238}U	$1{,}5 \cdot 10^{-3}$	90	9

Дозы облучения населения за счет ^{210}Pb и ^{210}Po примерно на 94% обусловлены их оседанием на овощные растения с последующим попаданием в организм.

При большой высоте выброса поступление с пищей ^{210}Pb и ^{210}Po становится определяющим, достигая максимальных значений 75–90% при высоте трубы 100–200 м. При 100-метровой высоте трубы поступление с пищей ^{232}Th и ^{228}Ra составляет примерно половину их вклада в суммарные дозы. А при большей высоте трубы около 40% вклада ^{226}Ra приходится на долю внешнего облучения [14].

Приведенные в [14] оценки получены, исходя из того, что выбросы предприятий происходят равномерно в течение года, а оседание радионуклидов на поверхность земли или воды происходит в радиусе до 500 м от точки выброса. В то же время по [3] радионуклиды, попавшие в атмосферу в результате глубоких термических процессов (например, при производстве элементарного фосфора, железа и стали, а также в цементной промышленности) рассеиваются на гораздо большие расстояния. Следует учитывать возможные технологические срывы на производствах, которые в сочетании с особыми метеоусловиями могут спровоцировать более сильный выброс за короткое время и, соответственно, большую дозу облучения населения и т.д. [14]. Кроме того, в этих исследованиях признается особая значимость водных путей миграции ПРН в окружающей среде за счет выпадения их из атмосферы.

НКДАР ООН рассматривает ^{210}Pb и ^{210}Po, наряду с радоном, как основные дозообразующие природные радионуклиды, поступающие в окружающую среду в результате действия неурановых предприятий по переработке минерального сырья: фосфатных, металлургических, керамических, огнеупоров, строительного сырья, а также ТЭС. Для типичных отраслей промышленности облучение населения за счет выноса ПРН в атмосферу с выбросами предприятий происходит главным образом в непосредственной близости от заводов. По данным [3], для этих территорий характерными являются дозы облучения на уровне 1–10 мкЗв/год, хотя возможны и ситуации, когда эффективная доза облучения составит 100 мкЗв/год и более (табл. 8).

Таблица 8

Максимальные эффективные дозы облучения населения за счет выбросов ПРН в результате деятельности предприятий по переработке и использованию полезных ископаемых [3]

Отдельные виды промышленного производства	Максимальная мощность эффективной дозы (мкЗв/год) за счет	
	внешнего облучения	воздушных путей распространения
Производство элементарного фосфора	130	2
Производство фосфорной кислоты	8	Около 2000
Производство удобрений	20	< 0,4
Производство железа и стали	8	< 0,4
Обработка угольной смолы	4	< 0,4
Производство кокса	4	< 0,4
Угольная электростанция	12	< 0,4
Электростанция на газе	< 0,4	< 0,4
Производство цемента	5	< 0,4
Керамическое производство	< 0,4	< 0,4
Операции с минеральным песком	60	< 0,4
Получение титанового пигмента	< 0,4	< 0,4

Оценки доз облучения населения за счет выбросов ПРН предприятиями по переработке и использованию полезных ископаемых, полученные в разных странах, отличаются от значений, приведенных в таблице 8. Так, в Великобритании дозы облучения для критической группы населения за счет атмосферного выброса угольных ТЭС оцениваются величиной порядка 1,5 мкЗв/год, а для всего населения – 0,1 мкЗв/год [27]. В Испании, по оценкам [32], доза облучения населения за счет выбросов ТЭС считается пренебрежимо малой и составляет максимум 4 мкЗв/год. Доза облучения населения за счет деятельности предприятий керамической отрасли, по данным [33], оценивается величиной до 250 мкЗв/год.

Таким образом, из сказанного следует, что оценки доз облучения населения за счет содержания ПРН в выбросах предприятий неядерных отраслей промышленности варьируют в достаточно широком диапазоне, что свидетельствует в первую очередь о том, что проблема крайне мало изучена. Тем не менее, значительный интерес к ней

со стороны специалистов и международных организаций свидетельствует о необходимости более глубокого изучения проблемы, уточнения реальных уровней и масштабов ее проявления для разработки и принятия адекватных мер по ограничению облучения населения.

Нормирование потока ПРН с выбросами предприятий

В разных странах в качестве критерия значимости выбросов ПРН предлагается величина дозы для критической группы населения. В Греции таким критерием является эффективная годовая доза 0,01 мЗв/год, в Финляндии < 0,1 мЗв/год [14]. Нормирование по величине суммарной активности ПРН в выбросах введено в Нидерландах, где, наряду с дозовым критерием 10 мкЗв/год, для выбросов и сбросов предприятий вводятся нормативы для отдельных природных радионуклидов (табл. 9).

Таблица 9

Допустимые значения выбросов и сбросов отдельных ПРН в Нидерландах

Радионуклид	Выброс радионуклидов, ГБк/год	
	Воздушный выброс	Жидкий сток
^{238}U	10	1000
^{232}Th	1	100
^{228}Ra	1	100
^{226}Ra	10	10
^{210}Pb	10	10
^{210}Po	10	10

В США введены отдельные нормативы по величине допустимого воздушного выброса ПРН для отдельных видов производств: в производстве элементарного фосфора для ^{210}Po – (7,4 – 16,65) • 10^{10} Бк/год; для отвалов отходов производства фосфогипса – 0,74 Бк/м^3 в секунду по ^{222}Rn и т.д. [34].

Крайне неполные сведения об ограничении выбросов ПРН предприятиями неядерных отраслей свидетельствуют прежде всего о чрезвычайной сложности изучения самой проблемы и о необходимости учета возможных негативных последствий введения этих ограничений. Предприятия неядерных отраслей по характеристикам используемого сырья, технологическим особенностям производства, технической оснащенности средствами очистки выбросов и многим другим показателям значительно отличаются друг от друга даже в пределах одной отрасли. Как показано выше, еще большими различиями характеризуются предприятия разных отраслей, в том числе и разных периодов их строительства и оснащения. В силу этих и целого ряда других причин проблема ограничения облучения населения за счет выброса в атмосферу ПРН в результате деятельности предприятий неядерных отраслей, по-видимому, будет оставаться актуальной еще многие годы.

В заключение отметим, что подавляющая часть имеющихся данных по оценке выбросов ПРН относится к зарубежным неурановым предприятиям, неизбежно отличающимся от отечественных как по характеристикам используемого минерального сырья, так и по многим технологическим особенностям, среди которых особое значение имеет степень фильтрации и очистки выбросов. Радиационное воздействие на население и окружающую среду при сжигании одного и того же угля на ТЭС в расчете на единицу полезной мощности может различаться на порядок за счет разной эффективности системы фильтрации выбросов. Вследствие этого выработка 1 ГВт энергии на старых ТЭС может создавать дозовую нагрузку на население близлежащих территорий на уровне единиц чел.-Зв, в то время как для новых ТЭС эта величина приблизительно в 10 раз ниже [10]. Имеющиеся сведения о доле радионуклидов в выбросе относительно их содержания в исходном сырье также неоднозначны. К тому же необходимо учитывать, что современные индустриальные центры на своей территории зачастую имеют несколько предприятий, каждое из которых является независимым поставщиком ПРН в окружающую среду – от мощных ТЭС и металлургических комплексов до производства цемента, керамики и огнеупоров и т.д. Наконец, в ближайшие десятилетия ожидается исключительно динамичное развитие промышленного производства в нашей стране. Все это требует глубокого изучения зарубежного опыта нормирования выбросов предприятий неядерных отраслей, анализа состояния проблемы в нашей стране для своевременного принятия адекватных мер по обеспечению радиационной безопасности населения.

Литература

1. Вклад основных отраслей промышленности в общий объем промышленных выбросов и отраслевая структура промышленного производства. [Электронный ресурс]. – www.edu.nstu.ru (Дата обращения 05.09.2012).
2 Природа вокруг нас. Производственный процесс выброса пыли, млн.т. [Электронный ресурс]. – www.ecolosorse.ru (Дата обращения 05.09.2012).
3. Источники и эффекты ионизирующего излучения : отчёт НКДАР ООН, 2000. – Нью-Йорк, 2000. –308 с.
4. Глотов, В.Е. Инженерно-геологические особенности и современное геоэкологическое состояние хвостохранилища Карамкенского горно-металлургического комбината / В.Е. Глотов, Л.П. Глотова, В.И. Кобец // Общественный информационный ресурс о горнодобывающей отрасли в России [Электронный ресурс]. – www.miningwatch.ru/content/view/44/ (Дата обращения 05.09.2012).
5. Лисаченко, Э.П. Радиационно-гигиеническое обследование промышленных объектов неядерных технологий / Э.П. Лисаченко [и др.]. // Радиационная гигиена : сб. научных трудов. – СПб: ФГУН НИИРГ им. проф. П.В. Рамзаева, 2006. – С. 242–251.
6. Лисаченко, Э.П. Радиационно-гигиеническая значимость дисперсного распределения естественных радионуклидов в природных материалах / Э.П. Лисаченко, Ю.А. Белячков, И.Г. Матвеева // Радиационная гигиена : сб. научных трудов. – Л., 1991. – С. 158–164.
7. Свободная шахтерская энциклопедия [Электронный ресурс]. – www.miningwiki.ru (Дата обращения 09.05.2012).
8. Лисаченко, Э.П. Оценка поступления ЕРН в окружающую среду и сферу производства при переработке отечественных фосфатов / Э.П. Лисаченко // Радиационная гигиена : сб. научных трудов. – Л., 1986. – С. 115–120.
9. Pente, A. Radiological impact of releases by the Dutch non-nuclear industry / A. Pente, R.J. de Meijer, L.W. Put // Rad. Prot. Dos. – 1988. – V. 1, № 4. – P. 425–429.
10. Стамат, И.П. Проблемы использования ископаемых углей, создаваемые природными радионуклидами / И.П. Стамат [и др.]. // Радиоактивные элементы в среде обитания : мат. II междунар. конф. человека. – Томск, 2004. – С. 569–573.
11. Гордиенко, В.А. Атомная энергетика: за или против? Сравнительный анализ радиоактивного загрязнения, создаваемого АЭС и ТЭС, работающими на угле /

В.А. Гордиенко [и др.].[Электронный ресурс] nuclphys.sinp.msu.ru. (Дата обращения 09.05.2012).

12. Skwarzec, B. Studies on the size distribution of some nuclear (210Pb, 210Po, 238U and 235U) radionuclides in air particulate matter collected in the vinicity of phosphate fertilizer and coal-fired power plants in Poland / B. Skwarzec [et al.]. // Proc. of the 5 Int. Symp. in Seville (19–22 March 2007). – Poster 4–3. – Vienna: IAEA, 2008.
13. Extent of environmental contamination by naturally occurring radioactive material (NORM) and technological options for mitigation. Technical reports series № 419. – Vienna, 2004.– 147 p.
14. Effluent and Dose Control from European Union NORM Industries Assessment of Current Situation and Proposal for a Harmonised Community Approach // Radiation Protection, 135. – V. 1. Main Report, 2003. – P. 47–56.
15. Экологический портал ECOFAQ.ru [Электронный ресурс]. – www. ecofaq.ru (Дата обращения 09.05.2012).
16. Бушихин, В.В. Текущее состояние и перспективы развития цементной промышленности РФ / В.В. Бушихин. – СПб.: ЗАО «НИЦ «Гипроцемент-Наука». [Электронный ресурс] www.giprocement.ru (Дата обращения 09.05.2012).
17. Особенности доменного процесса и состав выбросов [Электронный ресурс]. – www.act.metal-index.ru (Дата обращения 09.05.2012).
18. Главные загрязнители атмосферы. [Электронный ресурс]. –www.globalproblems.narod.ru (Дата обращения 09.05.2012).
19. Загрязнение атмосферы выбросами машиностроительных предприятий. [Электронный ресурс]. – www. ecologylib.ru (Дата обращения 09.05.2012).
20. Лисаченко, Э.П. Природные радионуклиды в производственных отходах предприятий неурановых отраслей промышленности / Э.П. Лисаченко, И.П. Стамат // Радиационная гигиена. – 2009. – Т.2, № 2. – С. 64–71.
21. Jobbagy, V. Dependence of radon emanation from red mud on heat treatment / V. Jobbagy [et al.] // Proc. of the 5 Int. Symp. in Seville 19–22 March 2007. – Vienna: IAEA, 2008 – P. 470–488.
22. Производство керамических изделий 2007. Европейская комиссия генеральная дирекция объединенный научный центр : справочный документ по наилучшим доступным технологиям [Электронный ресурс] – www.14000.ru (Дата обращения 09.05.2012).
23. Лисаченко, Э.П. Радиационно-гигиеическая оценка современного производства керамики / Э.П. Лисаченко, И.П. Стамат, И.Г. Матвеева // Радиационная гигиена. – 2008. – Т.1, № 3. – С. 31–35.
24. Wetherill, Y.M. Dossessment of maintenance workers and significance of radium-impregnated used filtres in the phosphate fertilizer industry / Y.M. Wetherill // Rad. prot. practice. 7 Int.Congr. of the Int.Rad. Protection Association. – Sydney, 2008. – V. 2. – P. 853.
25. Assessing the need for radiation protection measures in work involving minerals and raw material: Safety Report Series No 49. – IAEA, 2006. – 115 p.
26. Гращенко, С.М. Распределение естественных радионуклидов по промпродуктам технологического цикла получения титана / С.М. Гращенко [и др.] // Радиохимия. – 1996. – Т. 38. – С. 172–182.
27. SOURCES AND EFFECTS OF IONIZING RADIATION. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly with Scientific Annexes V I. UNITED NATIONS – New York, 2010. – 463 p.
28. Использование природного газа [Электронный ресурс]. – http://mingas.ru/2010/11/ispolzovanie-prirodnogo-gaza/ (Дата обращения 09.05.2012).
29. Нозик, М.Л. Научно-методические основы обеспечения радиоэкологической безопасности на предприятиях нефтегазового комплекса.: автореф. дис. ... канд. геолого-минералог. наук / М.Л. Нозик [Электронный ресурс]. – http://www.vims-geo.ru/Downloads/Nozik.pdf (Дата обращения 09.05.2012).
30. Крисюк, Э.М. Уровни и последствия облучения населения / Э.М. Крисюк // АНРИ. – 2002. – № 1 (28). – С. 4–13.
31. Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Invironment. Safety Reports Series No. 19. – Vienna: IAEA, 2001. – 274 p.
32. Baeza, A. Radiological impact of a coal-fired power station in Spain / A. Baeza [et al.]. // Proc. of the 5 Int. Symp. in Seville (19–22 March 2007). – Poster 3–1. – Vienna: IAEA, 2008. – 534 p.
33. Radiation protection and NORM residue management in the zircon and zirconia industries: Safety Report Series No 51. – Vienna: IAEA, 2007. – 149 p.
34. Regulatory and management approaches for control of environmental residues containing naturally occurring radioactive material (NORM): Proc. of Technical Meeting held in Vienna 6–10 December 2004. – Vienna: IAEA, 2006. – 317 p.

E.P. Lisachenko[1], I.P. Stamat[1], A.L. Zeldin[2]

Discharges of natural radionuclides into the environment due to functioning of the enterprises of non-nuclear industries

[1] Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Saint-Petersburg
[2] Northwestern State Medical University after I.I. Mechnikov, Saint-Petersburg

Abstract. *In the present overview we analyze the literary data concerning discharges of natural radionuclides into the environment due to functioning of the enterprises of non-nuclear industries. We consider their quantitative characteristics of discharges, the peculiarities of the formation of radionuclide composition of discharges from various industrial branches, the information about the population exposure doses due to these discharges, as well as the possibilities of standardization of the industrial discharges of natural radionuclides.*

Key words: *natural radionuclides, enterprises of non-nuclear industries, flows of natural radionuclides with the discharges of enterprises, population natural exposure doses, industrial waste.*

Поступила: 09.11.2012 г.

Э.П. Лисаченко
Тел.: (812) 233-53-63