

## Радиационная нагрузка на человека в районе АЭС

*По результатам многолетних исследований в районе расположения Южно-Украинской и Запорожской АЭС определена эффективная доза внешнего и внутреннего облучения человека вследствие поступления радионуклидов во внешнюю среду с газоаerosольными выбросами и жидкими сбросами АЭС. Проанализированы различные дозообразующие пути миграции радионуклидов во внешней среде.*

Л. И. Григор'єва

### Радіаційне навантаження на людину в районі АЕС

*За результатами багаторічних досліджень в районі розташування Южно-Української та Запорізької АЕС визначено ефективну дозу зовнішнього та внутрішнього опромінення людини внаслідок надходження радіонуклідів удовкілля з газо-аerosольними викидами й рідкими скидами АЕС. Проаналізовано різні дозоутворюючі шляхи міграції радіонуклідів у зовнішньому середовищі.*

© Л. И. Григорьева, 2010

Определение дозы облучения человека от газоаerosольных выбросов и жидких сбросов атомных электростанций в режиме их нормальной эксплуатации очень актуально [6], [10]–[12], [25]. Кроме научной значимости, вопрос дозиметрии территорий, расположенных в непосредственной близости к АЭС, связан с общественным резонансом в районах расположения больших ядерных комплексов, главным образом из-за негативного отношения населения к атомной промышленности и отнесения всех ухудшений состояния здоровья человеческой популяции к влиянию техногенных источников ионизирующего излучения.

В работе представлены результаты радиоэкологических и дозиметрических исследований, выполненных в районе расположения Южно-Украинской и Запорожской атомных электростанций (ЮУ АЭС и ЗАЭС) на протяжении 1980–2005 гг.

**Материалы и методика.** Материалами служили результаты многолетних (1982–2000 гг.) радиоэкологических и дозиметрических исследований в районе расположения ЮУ АЭС и ЗАЭС, выполненных в Николаевской научно-исследовательской лаборатории по проблемам радиационной безопасности человека «Ларани» и частично освещенных в монографиях [9], [25], а также материалы радиометрии проб внешней среды в районе ЮУ АЭС за 1999–2005 гг. Проведены исследования формирования дозы облучения человека в результате бета-, гамма-излучения от факела радиоактивных выбросов и ингаляционно-го поступления к человеку выброшенных радионуклидов, а также за счет инкорпорированных в организме человека радионуклидов, поступивших через различные пищевые цепочки. Для этого изучены содержание радионуклидов в приземном слое атмосферы и атмосферных выпадениях, миграционные процессы «станционных»<sup>1</sup> радионуклидов в водных системах, принимающих жидкие сбросы радиоактивных веществ АЭС.

*Доза внешнего облучения человека определялась по результатам измерений:*

- 1) мощности экспозиционной дозы на открытой местности в местах расположения стационарных постов наблюдения в 30-километровой зоне ЮУ АЭС с помощью приборов СРП-88Н и ДБГ-06 [17]–[23];
- 2) мощности экспозиционной дозы на открытой местности в местах расположения датчиков системы АСРК [9];
- 3) интегральной поглощенной дозы в воздухе с помощью термолюминисцентных дозиметров ТЛД-500К в стационарных пунктах наблюдения вокруг ЮУ АЭС [17]–[23];
- 4) радионуклидного состава атмосферных выпадений<sup>2</sup> седиментационным методом путем радиометрии собранной пыли на спектрометрической установке SBS-50М с полупроводниковым детектором ДГДК-175В-3 [17]–[23];
- 5) радионуклидного состава aerosолей атмосферного воздуха аспирационным методом в пунктах наблюдения вокруг ЮУ АЭС с еженедельным отбором проб при постоянном режиме работы фильтроэлектроустановки и последующим ежеквартальным озолоением проб, объединенных по пунктам, которые находятся на одинаковых радиусах вокруг АЭС: первый радиус — 0...3 км, второй — 3...8 км, третий — 8...16 км, четвертый — 16...24 км и контрольный пункт на расстоянии 33 км от АЭС.

<sup>1</sup> Радионуклиды, которые поступают во внешнюю среду в результате выбросов и сбросов АЭС.

<sup>2</sup> Ежемесячные измерения.

Доза внутреннего облучения человека определялась по результатам:

1) многолетних (1980—2005 гг.) радиоэкологических исследований в районе ЮУ АЭС и ЗАЭС, выполненных в Николаевской научно-исследовательской лаборатории «Ларани»;

2) дозиметрических исследований, проведенных лабораторией внешней дозиметрии ЮУ АЭС за 1999—2005 гг.

Моделирование рассеивания выбрасываемой с АЭС смеси радионуклидов выполнено на основании гауссовой модели в соответствии с рекомендациями МАГАТЭ [1], [2].

Подготовка проб воды, пищевых продуктов (молоко, мясо, хлеб, овощи, рыба) для радиохимического анализа и гамма-спектрометрии осуществлялась по методикам [13]—[15].

Эффективная доза за счет инкорпорированных радионуклидов определена согласно существующей в сфере радиационной безопасности методике вычисления эффективной эквивалентной дозы через суммарное годовое поступление радионуклидов в организм человека [12], [13] с использованием рекомендованных МКРЗ дозовых коэффициентов [3], [4]. Эффективная доза рассчитывалась для одного из референтных возрастов по НРБ Украины [16] — «взрослый». Для сравнения полученных результатов использованы материалы радиоэкологических и дозиметрических исследований в доэксплуатационный период (1976—1980 гг.) [24].

**Результаты.** По результатам измерений мощности экспозиционной дозы на открытой местности вокруг ЮУ АЭС в течение 1980—2005 гг. радиационный фон находился на уровне 15—22 мкР·ч<sup>-1</sup>, что соответствует естественным для региона значениям. Аналогичные исследования на территории вокруг ЗАЭС показали значения 13—15 мкР·ч<sup>-1</sup>. Поглощенная в воздухе доза гамма-излучения, в среднем за период 1999—2005 гг., для территорий вокруг обеих АЭС составила  $0,85 \pm 0,30$  мГр·год<sup>-1</sup> и не превышала «допустимые» уровни (1,13 мГр).

Результаты наблюдений за суммарной  $\beta$ -активностью и содержанием <sup>90</sup>Sr и <sup>137</sup>Cs в пробах оседающей пыли на территории вблизи ЮУ АЭС в среднегодовой динамике на протяжении 1999—2005 гг. свидетельствовали о характерных незначительных увеличениях суммарной  $\beta$ -активности атмосферных выпадений в марте — августе, что связано с сезонными явлениями и местными метеохарактеристиками. Среднегодовые значения суммарной  $\beta$ -активности атмосферных выпадений на территории стационарных постов практически не отличались от данных «нулевого фона» за 1976—1980 гг.: до пуска АЭС в эксплуатацию суммарная  $\beta$ -активность атмосферной пыли находилась в пределах  $(2,2...5,2) \cdot 10^7$  Бк·км<sup>-2</sup> в месяц [24]. По среднегодовым (за период 1999—2005 гг.) данным исследования содержания радионуклидов в атмосферном воздухе приземного слоя в районах обеих АЭС радионуклидный состав приземного слоя атмосферного воздуха был обусловлен, в основном, <sup>137</sup>Cs, содержание которого  $(3...6) \cdot 10^{-6}$  Бк·м<sup>-3</sup> находилось на достаточно низком уровне по отношению к величинам в доэксплуатационный период. Содержание <sup>60</sup>Co, <sup>54</sup>Mn в воздухе было значительно ниже допустимых значений, установленных нормами радиационной безопасности Украины. Содержание <sup>90</sup>Sr в воздухе находилось на одном уровне и не зависело от расстояния от АЭС. Кроме этого, результаты наблюдений свидетельствовали, что некоторое повышение содержания радионуклидов (в первую очередь <sup>131</sup>I) в атмосферном воздухе вокруг ЮУ АЭС

в определенных точках зависело от величины выбросов из вентиляционной трубы АЭС во время проведения ремонтных работ оборудования блоков АЭС и благоприятных для этих мест метеорологических условий.

На основании приведенных результатов средняя доза внешнего облучения для населения, проживающего в 30-километровой зоне ЮУ АЭС, составляла  $0,80 \pm 0,05$  мЗв·год<sup>-1</sup>, а для населения, проживающего в 30-километровой зоне ЗАЭС, —  $0,97 \pm 0,05$  мЗв·год<sup>-1</sup>. По данным лаборатории внешней дозиметрии ЮУ АЭС [17]—[23] доза гамма-излучения на местности вблизи АЭС в среднем равнялась  $0,75...0,95$  мЗв·год<sup>-1</sup>. В доэксплуатационный период значения этой дозы находились в пределах  $0,95...1,09$  мЗв·год<sup>-1</sup> [24].

Рассеянные в воздухе радионуклиды, выброшенные из вентиляционных труб АЭС (структура выбросов по радионуклидам в соответствии с данными [17]—[23] приведена на рис. 1), кроме фотонного облучения, могут обуславливать также внутреннее облучение, попадая в организм человека через дыхательные пути и желудочно-кишечный тракт. По данным радиоэкологических исследований на территории, прилегающей к ЮУ АЭС, установлены пути формирования полной (интегральной) дозы внутреннего облучения человека от «станционных» радионуклидов в результате газоаэрозольных выбросов АЭС и в результате поступления радионуклидов во внешнюю среду с жидкими сбросами АЭС.

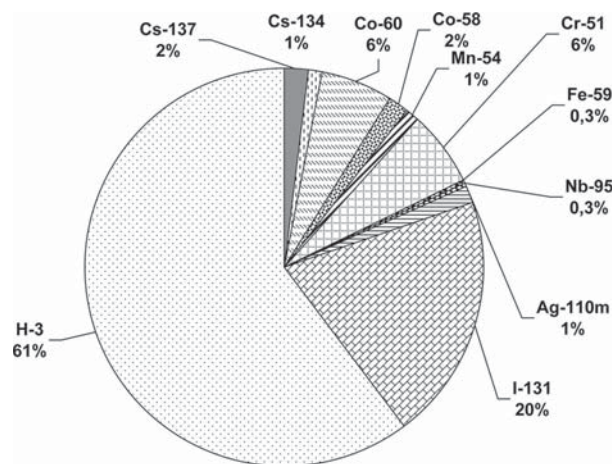


Рис. 1. Структура газоаэрозольных выбросов ЮУ АЭС по радионуклидам (по данным за 1999—2005 гг. [17]—[23])

Сначала рассмотрим формирование дозы облучения, связанной с **газоаэрозольными выбросами**.

Первый путь обусловлен миграцией «станционных» радионуклидов по цепочке *газоаэрозольные выбросы АЭС — атмосферный воздух — человек*. Эффективная доза внутреннего (internal) облучения человека при ингаляционном (inhal) поступлении «станционных» радионуклидов, попадающих во внешнюю среду с газоаэрозольными выбросами (extrass) ЮУ АЭС, —  $E_{st-extr}^{int(inhal)}$  — вычислена по результатам гамма-спектрометрических и радиохимических анализов проб атмосферного воздуха за период 1999 — 2005 гг. в стационарных постах 30-километровой зоны вокруг ЮУ АЭС. Интервал значений эффективной дозы  $E_{st-extr}^{int(inhal)}$  от присутствующих в воздухе радионуклидов составил  $(10...100) \cdot 10^{-12}$  Зв·год<sup>-1</sup>.

Для уточнения полученных данных эта доза вычислена расчетным методом исходя из сведений о годовых выбросах радионуклидов ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{58,60}\text{Co}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{51}\text{Cr}$ ,  $^{59}\text{Fe}$ ,  $^{95}\text{Nb}$ ,  $^{110\text{m}}\text{Ag}$ ,  $^{131}\text{I}$ ) ЮУ АЭС за 1999 — 2005 гг. и литературных сведений относительно годовых выбросов  $^3\text{H}$  и радиоактивных благородных газов АЭС с реакторами ВВЭР. Эффективная доза от ингаляционного поступления этих радионуклидов человеку определена для расстояния 2,5 км от ЮУ АЭС (это расстояние между ЮУ АЭС и ближайшим к ней населенным пунктом — г. Южно-Украинском) по 16 румбам направления ветра. Указанное расстояние взято с точки зрения проведения верхних оценок эффективной дозы облучения человека из-за газоаэрозольных выбросов АЭС. Среднегодовая эффективная доза от ингаляционного поступления человеку выбрасываемых радионуклидов составила:

Радионуклид Интервал разброса значений, Зв·год<sup>-1</sup>

$^{137}\text{Cs}$ .....	(2...8) · 10 <sup>-12</sup>
$^{134}\text{Cs}$ .....	(2...5) · 10 <sup>-12</sup>
$^{60}\text{Co}$ .....	(5...13) · 10 <sup>-12</sup>
$^{58}\text{Co}$ .....	(0,1...0,8) · 10 <sup>-12</sup>
$^{54}\text{Mn}$ .....	(0,04...0,4) · 10 <sup>-12</sup>
$^{51}\text{Cr}$ .....	(0,04...0,8) · 10 <sup>-12</sup>
$^{59}\text{Fe}$ .....	(0,2...1) · 10 <sup>-12</sup>
$^{95}\text{Nb}$ .....	(0,05...0,2) · 10 <sup>-12</sup>
$^{110\text{m}}\text{Ag}$ .....	(0,5...2,5) · 10 <sup>-12</sup>
$^{131}\text{I}$ .....	(2...200) · 10 <sup>-12</sup>
$^3\text{H}$ .....	(1...3) · 10 <sup>-12</sup>

Среднегодовая суммарная эффективная доза от ингаляционного поступления человеку смеси радиоактивных веществ в результате газоаэрозольных выбросов атомной станции  $E_{st-extr}^{int(inhal)} = (10...200) \cdot 10^{-12}$  Зв·год<sup>-1</sup>. Структура этой дозы по радионуклидам приведена на рис. 2. Отметим, что полученные расчетным методом значения хорошо согласуются с результатами вычисления ингаляционной дозы по данным натуральных исследований, приведенным выше.

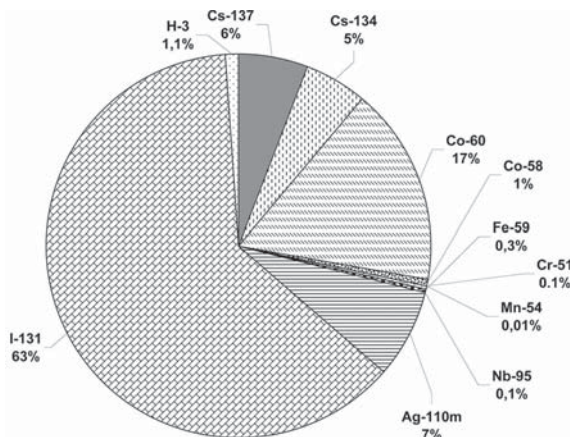


Рис. 2. Структура эффективной дозы  $E_{st-extr}^{int(inhal)}$  по радионуклидам (для территорий радиусом 2,5 км вокруг ЮУ АЭС)

Второй путь обусловлен миграцией «станционных» радионуклидов по цепочке *газоаэрозольные выбросы радионуклидов — атмосферный воздух — почва (листья растений) — сельскохозяйственные растения — человек*.

Эффективная доза внутреннего облучения человека определена по среднегодовым данным выбросов этих радионуклидов ЮУ АЭС за 1999—2005 гг. [17]—[23] и гауссовой модели распространения примесей в воздухе [1], [13] с использованием известной модели переноса радионуклидов в растения через корневой и стеблевой пути вследствие оседания выброшенных примесей на поверхность почвы и растения [13]. Верхние оценки эффективной дозы в результате второго пути поступления к человеку «станционных» радионуклидов рассчитаем с учетом фактора метеорологического разбавления для расстояния 2,5 км от ЮУ АЭС и в предположении, что человек на 100 % питается продукцией, выращенной на приведенном расстоянии. При таком подходе эффективная доза внутреннего облучения человека  $E_{st-extr}^{int(ing)}$  от перорального (ingest) поступления  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{58}\text{Co}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{51}\text{Cr}$ ,  $^{59}\text{Fe}$ ,  $^{95}\text{Nb}$ ,  $^{110\text{m}}\text{Ag}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^3\text{H}$  составила (6...10) мкЗв·год<sup>-1</sup>. Структура этой дозы по радионуклидам приведена на рис. 3: основной вклад (40 %) в дозу  $E_{st-extr}^{int(ing)}$  вносили радиоизотопы цезия ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ).

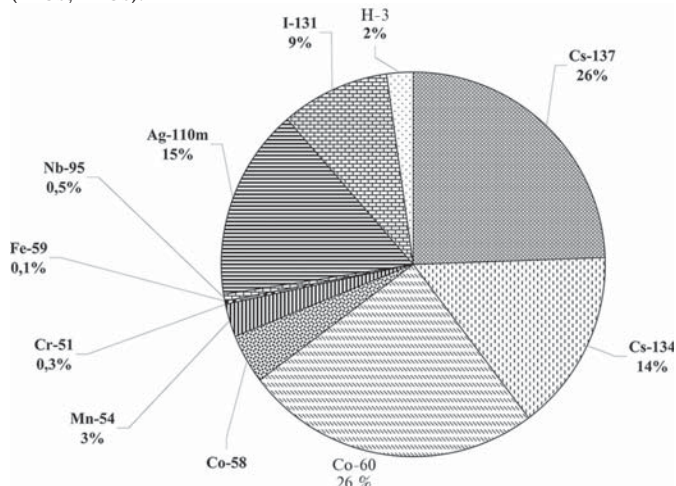


Рис. 3. Структура эффективной дозы  $E_{st-extr}^{int(ing)}$  при пероральном поступлении человеку радионуклидов в результате газоаэрозольных выбросов АЭС (для территорий радиусом 2,5 км вокруг ЮУ АЭС)

По результатам натуральных исследований сельскохозяйственной продукции в населенных пунктах, расположенных на разном расстоянии от АЭС [8], [9], получены значения эффективной дозы внутреннего облучения человека от  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^3\text{H}$  при потреблении продуктов питания на уровне 25...160 мкЗв·год<sup>-1</sup>. Из этого следует, что значения эффективной дозы, полученные расчетным методом как верхние оценки дозы, не превышают (и даже меньше) значений, полученных по результатам натуральных исследований. Это свидетельствует о том, что уровень содержания радионуклидов в сельскохозяйственных растениях формируется не только оседанием радиоактивных аэрозолей, но и по другим миграционным цепочкам. Например, «станционные» радионуклиды попадают в растения при орошении их водой, отбираемой из поверхностных водоемов, куда могут поступать жидкие сбросы радионуклидов с АЭС. Кроме того, поступление в растения таких радионуклидов, как  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$ , возможно из-за наличия в этих районах участков, загрязненных «аварийно-чернобыльским» выбросом радионуклидов.

Рассмотрим формирование дозы облучения человека в результате поступления во внешнюю среду *жидких сбросов АЭС*. Первый миграционный путь пролегает по цепочке *жидкие сбросы АЭС — технологические водоемы — поверхностные водоемы — оросительная вода — почва (листья растений) — сельскохозяйственные растения — человек*. Согласно нашим исследованиям по содержанию  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^3\text{H}$  в сельскохозяйственных растениях, выращенных в условиях орошения (irrigation) [8], эффективная доза внутреннего облучения  $E_{ir}^{ing}$  составила 20...100 мкЗв·год<sup>-1</sup>. Обобщив эти результаты с полученными выше, имеем, что основной путь поступления «станционных» радионуклидов к человеку лежит через продукты питания — орошение сельхозугодий, когда для этих целей используется вода поверхностных водоемов с возможным поступлением «станционных» радионуклидов при сбросах АЭС.

Кроме того, в условиях использования поверхностных водоемов для орошения сельскохозяйственных угодий радиационная нагрузка на человека может создаваться непосредственно при разбрызгивании оросительной воды и при пылеобразовании, т.е. по цепочке *жидкие сбросы АЭС — технологические водоемы — поверхностные водоемы — оросительная вода — атмосферный воздух — человек*. Формирование радиационной нагрузки по этому пути поступления к человеку «станционных» радионуклидов присуще для людей, задействованных в полевых и агротехнических работах на поливных землях. Основным источником попадания радиоактивных веществ в оросительную воду являются жидкие сбросы АЭС, среди которых, как нами показано, преобладает  $^3\text{H}$ .

На основе результатов исследований содержания  $^3\text{H}$  в воде Южно-Бугской и Белоусовской оросительных систем, использующих воду поверхностных водоемов в районе расположения ЮУ АЭС, а также Каховской и Краснознаменской оросительных систем, использующих воду поверхностных водоемов в районе расположения ЗАЭС [8], рассчитанная по рекомендованной МАГАТЭ методике [13] эффективная доза внутреннего облучения человека от поступления  $^3\text{H}$  к человеку из-за разбрызгивания поливной воды  $E_{ir}^{inh}$  составила от 0,1 до 25 мкЗв·год<sup>-1</sup>, а из-за пылеобразования — от 0,1 до 35 мкЗв·год<sup>-1</sup> (в зависимости от содержания  $^3\text{H}$  в оросительной воде).

Формирование радиационной нагрузки на человека возможно также за счет миграции «станционных» радионуклидов по цепочке *жидкие сбросы АЭС — технологические водоемы — подземные воды — питьевая вода — человек*. В связи с тем, что  $^3\text{H}$  является особенно хорошим мигрантом в водной среде, формирование дозы внутреннего облучения человека через питьевую воду также рассмотрено для этого радионуклида. Результаты исследований относительно распространения  $^3\text{H}$  в поверхностных водоемах и подземных питьевых источниках в районе ЮУ АЭС частично освещено в других наших работах [7], [25], где показано, что за период эксплуатации АЭС произошли некоторые изменения в «третичной» нагрузке на водную систему региона. Эти изменения касались повышения уровня  $^3\text{H}$  в поверхностных водах еще в начале 1990-х годов, что связано со сбросами (upcast) канализационных вод АЭС в маловодную речку Арбузинку после очистки их в прудах-биоотстойниках хозяйственно-фекальной канализации (ХФК) АЭС. Фильтрация  $^3\text{H}$  из прудов-биоотстойников и пруда-охладителя АЭС сквозь подземные водоносные горизонты способствовала повышению его уровня в подземных водах, расположенных ниже по природному стоку от этих технологических водоемов АЭС.

На основании этих результатов наших исследований, а также результатов исследований других учреждений [26] установлено существование дифференциации территории в районе ЮУ АЭС по эффективной дозе облучения от  $^3\text{H}$  через питьевой путь поступления радионуклида человеку  $E_{3H-upcast}^{ing(drink)}$ : для населения, проживающего в районе, расположенном выше водоемов, куда сбрасывались загрязненные  $^3\text{H}$  воды, значения  $E_{3H-upcast}^{ing(drink)}$  не превышали 0,16 мкЗв·год<sup>-1</sup>; для населения, проживающего в районе до 10 км ниже по природному стоку от пруда-охладителя ЮУ АЭС, значения  $E_{3H-upcast}^{ing(drink)}$  составляли до 0,27 мкЗв·год<sup>-1</sup>; для населения, проживающего ниже по природному стоку от прудов-биоотстойников ХФК ЮУ АЭС, — от 0,25 до 0,60 мкЗв·год<sup>-1</sup> при максимальных значениях 2,0...2,2 мкЗв·год<sup>-1</sup> (в годы поступления жидких сбросов ЮУ АЭС в маловодную реку Арбузинку).

Кроме того, многолетние наблюдения позволили сделать вывод о существовании еще одного дозообразующего пути миграции «станционного»  $^3\text{H}$ , поступающего в технологические водоемы АЭС с жидкими сбросами. Как известно, из-за *поступления загрязненных подогретых вод для их охлаждения в непроточные водоемы* происходит наибольшая миграция  $^3\text{H}$  в воздух; этот процесс характерен для АЭС, использующих для охлаждения воду открытых водоемов. По нашим наблюдениям [25], за время эксплуатации ЮУ АЭС, начиная с 1983 г., содержание  $^3\text{H}$  в воде пруда-охладителя существенно изменялось (особенно после переноса в 1993 г. сброса в него после очистки жидких сбросов ЮУ АЭС), а из-за высокой температуры воды этого водоема (даже в зимние месяцы) вместе с парами воды в воздух постоянно поступали пары окиси  $^3\text{H}$ . Эффективная доза облучения от  $^3\text{H}$  в результате поступления радионуклида в воздух при испарении (evaporation) с поверхности пруда-охладителя ЮУ АЭС рассчитана для людей, проводящих длительное время в районе пруда-охладителя ЮУ АЭС, — это рыбаки, а также спортсмены (занимающиеся, например, греблей). Учитывая среднестатистические данные длительности пребывания человека в районе пруда-охладителя: при рыбной ловле — 320 ч (из расчета пребывания человека два раза в неделю по 8 ч на протяжении 5 мес), а при спортивных занятиях — 360 ч (по 2 ч ежедневно на протяжении 6 мес), среднегодовая эффективная доза облучения  $E_{3H-evap}^{int(inhal)}$  при ингаляционном поступлении  $^3\text{H}$  для рыболовов составила  $0,007 \pm 0,001$  мкЗв·год<sup>-1</sup>, для спортсменов —  $0,009 \pm 0,001$  мкЗв·год<sup>-1</sup>.

На основании полученных результатов вклад ингаляционного и перорального путей поступления «станционных» радионуклидов человеку при формировании эффективной дозы внутреннего облучения в районе расположения ЮУ АЭС в результате газоаэрозольных выбросов и жидких сбросов АЭС в условиях нормальной эксплуатации станции можно представить в виде, изображенном на рис. 4. Как видно, определяющая роль (более 99 %) в формировании дозы внутреннего облучения человека из-за газоаэрозольных выбросов в условиях нормальной эксплуатации АЭС принадлежит пероральному пути поступления — с продуктами питания и питьевой водой (рис. 4, а). Этот вывод согласуется с результатами других исследователей относительно дозообразования от газоаэрозольных выбросов Ровенской АЭС [5].

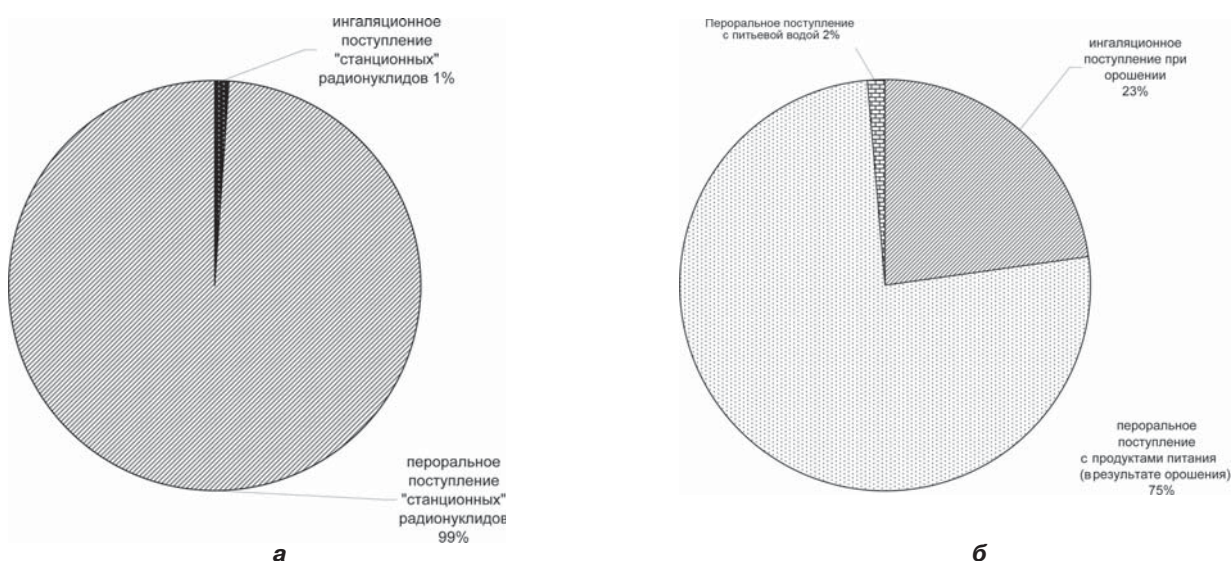


Рис. 4. Вклад ингаляционного и перорального путей поступления «станционных» радионуклидов человеку при формировании эффективной дозы внутреннего облучения в районе расположения ЮУ АЭС в результате газоаэрозольных выбросов (а) и жидких сбросов АЭС (б)

Пероральное поступление радионуклидов человеку является определяющим и при формировании радиационной нагрузки на человека от поступления во внешнюю среду радионуклидов с жидкими сбросами АЭС. В результате попадания их в воду, которой орошаются сельскохозяйственные культуры, на пероральное поступление «станционных» радионуклидов человеку (через орошаемые сельскохозяйственные культуры) приходится более 75 % (рис. 4, б).

### Выводы

1. По результатам исследований в период 1980–2005 гг. годовая эффективная доза внешнего облучения человека на территориях, прилегающих к ЮУ АЭС и ЗАЭС, составляла 0,75–1,15 мЗв·год<sup>-1</sup>, что не превышало величин доэксплуатационного периода.

2. Основное место (более 99 %) в формировании дозы внутреннего облучения человека в результате газоаэрозольных выбросов радионуклидов в условиях нормальной эксплуатации АЭС принадлежит пероральному поступлению этих радионуклидов человеку (с продуктами питания и питьевой водой). По результатам многолетних исследований в районе ЮУ АЭС и ЗАЭС интегральная величина эффективной дозы внутреннего облучения человека вследствие газоаэрозольных выбросов и жидких сбросов АЭС (по верхним оценкам) составляла 20–80 мкЗв·год<sup>-1</sup>.

3. Основным путем поступления «станционных» радионуклидов к человеку пероральным путем выступают орошаемые сельскохозяйственные культуры, когда для целей орошения используется вода поверхностных водоемов, в которые возможно поступление «станционных» радионуклидов из-за жидких сбросов АЭС. Кроме перорального поступления радионуклидов (с продуктами питания и питьевой водой) из оросительной воды весомым является ингаляционное поступление «станционного» <sup>3</sup>H при поливных работах (из-за разбрызгивания и пылеобразования): эффективная доза внутреннего облучения людей, задействованных в поливных работах, может составлять 1–35 мкЗв·год<sup>-1</sup>.

### Список литературы

1. IAEA, 1980. Atmospheric Dispersion in Nuclear Power Plant Siting. A Safety Guide. IAEA Safety series № 50-SG-S3.
2. IAEA, 1982. Generic Models and Parameters for Assessing the Environmental Transfer of Radionuclides from Routine Releases. Exposures of critical groups. IAEA Safety series № 57.
3. ICRP Publication 66. Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection. — Oxford: Pergamon Press, 1994. — 482 p. (Публикация 66 МКРЗ. Модель респираторного тракта человека для радиологической защиты).
4. ICRP Publication 67. Age-Dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 2. Ingestion Dose Coefficients. — Oxford: Pergamon Press, 1993. — 166 p. (Публикация 67 МКРЗ. Возраст-зависимые дозы лиц из населения от поступления радионуклидов. — Ч. 2: Дозовые коэффициенты при пероральном поступлении).
5. Бончук Ю. В., Ратиа Г. Г., Кашипаров А. В. Выбросы при нормальной эксплуатации АЭС и облучение населения // Ядерная радиационная безопасность. — 2009. — № 1. — С. 12–17.
6. Георгиевский В. Б. Экологические и дозовые модели при радиационных авариях: Монография. — К.: Наук. думка, 1994. — 237 с.
7. Григор'єва Л. І., Томілін Ю. А. Оцінка ступеню забруднення <sup>3</sup>H поверхневих водойм та деяких джерел питного водопостачання району ПУ АЕС // Український радіологічний журнал. — 1999. — № 4. — С. 433–437.
8. Григор'єва Л. І., Томілін Ю. А. Радіоекологічні та радіобіологічні аспекти зрошувального землеробства півдня України: Монографія. — Миколаїв: Вид-во МДГУ ім. Петра Могили, 2006. — 264 с.
9. Григор'єва Л. І., Томілін Ю. А. Формування радіаційного навантаження на людину в умовах півдня України: чинники, прогнозування, контрзаходи: Монографія. — Миколаїв: Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2009. — 370 с.
10. Измest'єв К. М. и др. Реконструкция доз облучения населения от газоаэрозольных выбросов, содержащих радиоактивный йод, в период 1961–1969 гг. (Оценка метеорологических факторов, расчет ингаляционной дозы облучения) // Бюллетень сибирской медицины. — 2005. — № 2. — С. 105–109.
11. Кравець О. П., Гродзинський Д. М. Екологічний прогноз розвитку радіаційної ситуації в Україні та формування доз людини від внутрішнього опромінення // Гігієна населених місць. — 2000. — Вип. 36. — Ч. 1. — С. 306–320.

12. Кутлахмедов Ю. О. та ін. Основи радіоекології: Навч. посіб. / Ю. О. Кутлахмедов, В. І. Корогодін, В. К. Кольтовер; За ред. В. П. Зотова. — К.: Вища шк., 2003. — 319 с.
13. Методика расчета распространения радиоактивных веществ с АЭС и облучение окружающего населения // НТД «Безопасность в атомной энергетике». — Т. 1. — Ч. 1. — М.: Энергоатомиздат, 1984. — 112 с.
14. Методические рекомендации по оценке радиационной обстановки окружающей среды. — К.: МЗ УССР, 1988. — 49с.
15. Методические рекомендации по санитарному контролю за содержанием радиоактивных веществ в объектах внешней среды / Под ред. А. Н. Марья, А. С. Зыковой. — М., 1980. — 336 с.
16. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ – 97/2000Д). — К.: МОЗ України, 2000. — 135 с.
17. Отчет по радиационной обстановке в районе расположения ЮУ АЭС / ЛВД ОРБ ОП ЮУ АЭС. — 1999. — 23 с.
18. Отчет по радиационной обстановке в районе расположения ЮУ АЭС / ЛВД ОРБ ОП ЮУ АЭС. — 2000. — 28 с.
19. Отчет по радиационной обстановке в районе расположения ЮУ АЭС / ЛВД ОРБ ОП ЮУ АЭС. — 2001. — 24 с.
20. Отчет по радиационной обстановке в районе расположения ЮУ АЭС / ЛВД ОРБ ОП ЮУ АЭС. — 2002. — 27 с.
21. Отчет по радиационной обстановке в районе расположения ЮУ АЭС / ЛВД ОРБ ОП ЮУ АЭС. — 2003. — 26 с.
22. Отчет по радиационной обстановке в районе расположения ЮУ АЭС / ЛВД ОРБ ОП ЮУ АЭС. — 2004. — 25 с.
23. Отчет по радиационной обстановке в районе расположения ЮУ АЭС / ЛВД ОРБ ОП ЮУ АЭС. — 2005. — 29 с.
24. Радиационная обстановка вокруг Южно-Украинской атомной электростанции в предпусковой период (снятие нулевого фона): Отчет по НИР. — К., 1980. — 147 с.
25. Томілін Ю. А., Григор'єва Л. І. Радіонукліди у водних екосистемах південного регіону України: міграція, розподіл, накопичення, дозове навантаження на людину і контрзаходи: Монографія. — Миколаїв: Вид-во МДГУ ім. Петра Могили, 2008. — 270 с.
26. Тритий в подземных горизонтах в районе ЮУ АЭС: Отчет о НИР /НПП «Южгеология». — № 87/5-1. — Одесса, 1994. — 44 с.

Надійшла до редакції 25.12.2009.