

## Дозиметрия кожи при её постоянном поверхностном загрязнении растворами плутония-239 и америция-241

Э.Б. Ершов<sup>1</sup>, Д.П. Осанов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Санкт-Петербург

<sup>2</sup> Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна, Москва

*В статье на основании экспериментальных данных рассматривается вопрос оценки дозовых нагрузок на базальный слой кожи при её постоянном загрязнении растворами плутония-239 и америция-241 и последующей дезактивацией.*

Ключевые слова: загрязнение кожи радионуклидами, базальный слой кожи, дозиметрия кожи, плутоний-239, америций-241, дезактивация.

### Введение

Среди возможных путей поступления радиоактивных веществ в организм человека наименее изученным является поступление их через кожные покровы. Особенно это относится к альфа-излучающим изотопам. Однако убедительно показано [1], что при попадании радиоактивного загрязнения даже на неповреждённую кожу определённая доля активности проникает через роговой слой и придатки кожи в эпидермис и дерму. По-видимому, кожа не может быть отнесена к числу органов, депонирующих радиоактивные изотопы, а является лишь органом, через который осуществляется транзитный перенос веществ, поступающих в организм из внешней среды при её поверхностном загрязнении.

При этом облучение радиочувствительных базальных клеток эпидермиса может быть значительным. Этот факт представляет, с точки зрения радиационной безопасности, практический интерес при возможном профессиональном загрязнении кожных покровов, в частности, альфа-излучающими радионуклидами.

Несмотря на то, что при работе с радиоактивными изотопами предусмотрены меры безопасности, полностью не исключена возможность загрязнения кожных покровов персонала радионуклидами. Особенно это относится к предприятиям, сотрудники которых находятся в ежедневном профессиональном контакте с растворами, содержащими радиоактивные вещества.

Для определения поглощённых доз в структурных слоях кожи необходимо располагать сведениями о количественном содержании радионуклидов на различных глубинах эпидермиса в зависимости от времени контакта. Такие сведения особенно необходимы для моделирования процесса формирования дозовых нагрузок при возможном постоянном профессиональном загрязнении кожи.

Вопросам кожной проницаемости в отечественной и зарубежной литературе посвящено большое количество работ [1–3]. Между тем авторы исследований как в нашей стране, так и за рубежом изучали содержание изотопов в коже и в организме только для случаев непрерывной накожной аппликации [4, 5]. Вне поля рассмотрения остался достаточно, на наш взгляд, актуальный вопрос о величине дозы на базальный слой эпидермиса кожи при

её многократном контактном облучении с последующей дезактивацией после каждого контакта.

Предлагаемый материал относится к экспериментальным исследованиям, проведённым в прошлые годы, но не публиковавшимся ранее.

**Целью** настоящего исследования является определение величины дозовой нагрузки на базальный слой кожи при её поверхностном загрязнении в течение 6 часов плутонием-239 и америцием-241 и последующей дезактивации.

### Материалы и методы

Опыты проводили на группе из 12 поросят, на которых исследовалась кинетика поступления плутония-239 и америция-241 в кожу при 6-часовом непрерывном контакте и динамика выведения радионуклидов после последующей её дезактивации.

Выбор вида экспериментальных животных – задача крайне важная, особенно в исследованиях, рассчитанных на последующую экстраполяцию полученных результатов на человека. Этот выбор должен основываться на максимальной возможной аналогии изучаемых процессов у человека и животных, а также на близости анатомических и физиологических характеристик их кожи. Согласно ряду авторов [6, 7], по этим параметрам кожа поросят весом 9–10 кг, что соответствует возрасту 8 недель, практически идентична коже человека и не зависит от породы и пола животных.

Среднее значение веса поросят в эксперименте было равно  $9,25 \pm 2,15$  кг.

Измерения на гистологических тангенциальных срезах различных слоёв кожи толщиной 15–20 мкм, изготовленных из центральных участков аппликационных полей с помощью замораживающего микротомы, подтвердили правильность выбора возраста животных, средняя глубина залегания базального слоя у которых была равна  $(7,2 \pm 0,8)$  мг/см<sup>2</sup>.

Аппликационные поля располагались в один ряд вдоль позвоночника животного. Площадь каждого поля 25 см<sup>2</sup> (4,1×6,2). Всего было по 3 поля (75 см<sup>2</sup>).

Активность наносили на выстриженные и вымытые за сутки до начала эксперимента участки кожи животных. При выборе участка особое внимание обращали на це-

лостность рогового слоя. При нанесении радиоактивных растворов поросы фиксируются в специальных станках.

В качестве альфа-излучателей использовали водные растворы азотнокислых солей плутония-239 –  $\text{Pu}(\text{NO}_3)_4$  с  $\text{pH}=1,0$  и америция-241 –  $\text{Am}(\text{NO}_3)_3$  с  $\text{pH}=1,5$ .

Поверхностная плотность наносимой активности 40 мкКи/см<sup>2</sup> (1480 кБк/см<sup>2</sup>) каждого радионуклида.

Время нанесения активности на каждое животное составляло 8–10 мин. Столько же времени требовалось для подсыхания кожи.

Через 6 ч контакта с радиоактивными растворами поверхность кожи на аппликационных полях тщательно дезактивировали с помощью ватных тампонов, смоченных в водной суспензии порошкообразного препарата «Защита» [8]. Дезактивация продолжалась около 10 мин. Критерием завершения дезактивации являлось отсутствие счётности ватного тампона. По окончании шестичасового контакта и дезактивации забивали по несколько животных для времени выдержки – 0, 6, 24, 48, 96 и 168 ч.

Приготовление проб начиналось практически сразу после забоя животного. Для усреднения величины активности из каждого лоскута кожи с аппликационного поля брали не менее 3 блоков.

Для определения концентраций изотопов в отдельных слоях кожи применяли метод послойной радиометрии тангенциальных срезов. Срезы поступали на химическое сжигание в концентрированной азотной кислоте с небольшими добавками перекиси водорода. Объём пробы доводили до 1–2 мл и затем её наносили на специальные подложки. Измерения производились на альфа-радиометре.

В результате получены экспериментальные данные по глубинному распределению Pu-239 и Am-241. Погрешность измерений составляла 20–25%. На основании послойного содержания удельной радиоактивности были определены величины поглощённых доз на базальный слой кожи. Методика расчета доз очень подробно описана в целом ряде публикаций [5, 9–12].

## Результаты и обсуждение

На рисунке 1 на основе экспериментальных данных при однократном 6-часовом загрязнении кожи (пронормировано для 1 мкКи/см<sup>2</sup>) приведена зависимость мощности дозы в базальном слое кожи от времени после начала контакта.

Почти линейное возрастание мощности дозы продолжается до начала дезактивации, достигая значений  $13 \cdot 10^{-5}$  Гр/мин (плутоний) и  $8,4 \cdot 10^{-5}$  Гр/мин (амерций). Затем наблюдается экспоненциальный спад, и через 18 ч, т.е. к концу первых суток, мощность дозы уменьшается практически на 40% для обоих изотопов и составляет от плутония-239 –  $8 \cdot 10^{-5}$  Гр/мин, а от америция-241 –  $5 \cdot 10^{-5}$  Гр/мин.

Хотя через 6 ч непосредственный контакт с активностью прекращался, в самой коже ещё находилась часть проникших в дерму радионуклидов, которые поступали внутрь организма. Практически полностью кожа освобождалась от изотопов через 18–19 суток.

Получённые дозы базальным слоем кожи при однократном описываемом контакте иллюстрируются на рисунке 2.

После дезактивации величина дозы ещё продолжает расти за счёт проникших внутрь кожи изотопов. После 7–8 суток этот рост замедляется, что свидетельствует о значительном уменьшении содержания радионуклидов в коже. Максимальных значений 0,4 Гр (амерций) и 0,6 Гр (плутоний) поглощённые дозы достигают к 17–18-м суткам. Практически на всём временном диапазоне величины доз от плутония больше, чем от америция, в 1,5 раза. Это обстоятельство, возможно, связано с большей кислотностью применявшегося раствора плутония по сравнению с раствором америция.

Конечно, маловероятно, что в производственных условиях возможна ситуация, когда загрязнение кожи радионуклидами происходит ежедневно в течение всего рабочего дня, но, с точки зрения оценки максимальной величины гипотетической опасности, представляет интерес вопрос формирования дозы на базальный слой кожи при подобной ситуации.

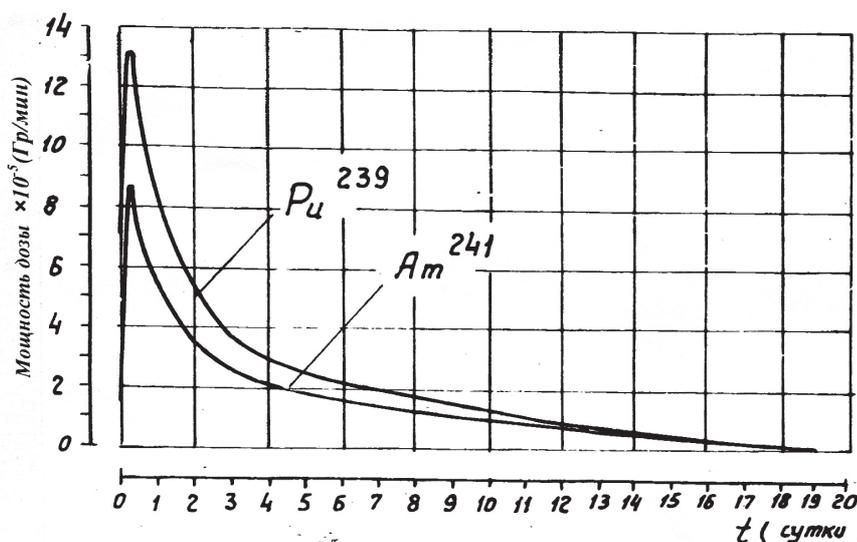
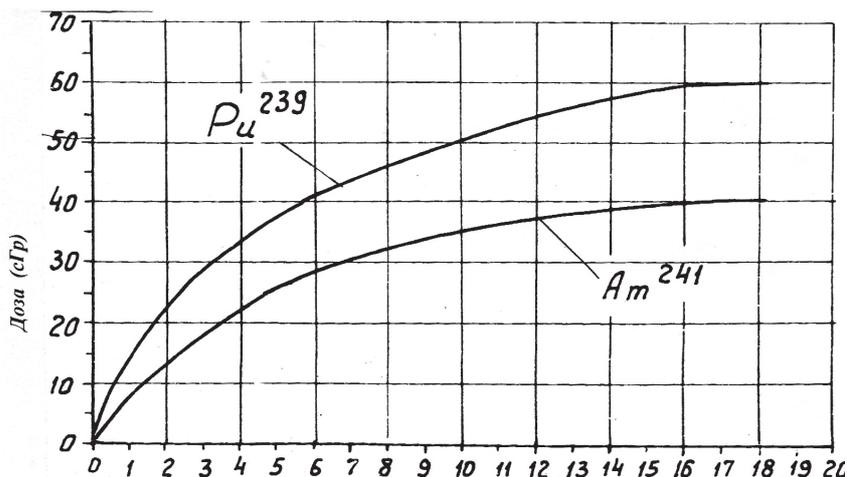


Рис. 1. Мощность дозы в базальном слое кожи при 6-часовом её загрязнении растворами плутония-239 и америция-241 и последующей дезактивации



**Рис. 2.** Поглощённая доза альфа-излучения в базальном слое кожи поросёнка при однократном 6-часовом контакте с растворами плутония-239 и америция-241

При рассмотрении случая постоянного ежедневного поверхностного загрязнения кожи достаточно, на наш взгляд, исходных экспериментальных данных при однократном 6-часовом контакте с активностью и последующей дезактивации кожи.

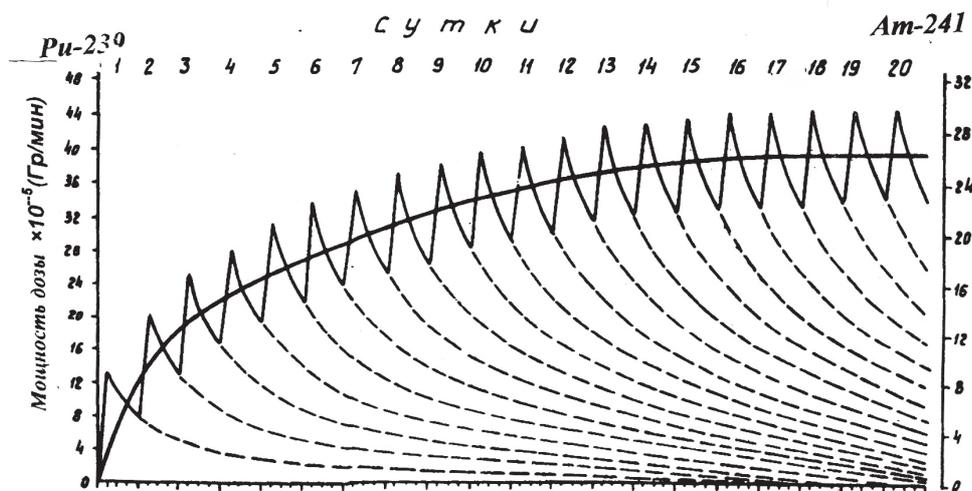
Если предположить, что при ежедневном 6-часовом контакте с альфа-излучателями и последующей дезактивацией через 18 ч начинается следующее 6-часовое загрязнение, то новое поступление изотопа в кожу опять вызовет увеличение мощности дозы с нарастающим участком (до окончания контакта) и спадающим (после дезактивации) и т.д.

Таким образом, путём последовательного, через каждые 24 ч, многократного графического наложения кривой мощности дозы при 6-часовом контакте кожи с активно-

стью (см. рис. 1) зависимость мощности дозы от времени принимает вид возрастающей «пилообразной» кривой, максимумы которой относятся к концу каждого рабочего дня, а минимумы – к его началу (рис. 3).

Сплошная кривая характеризует усреднённую по времени мощность дозы. Начиная с 18-х суток, мощность дозы достигала равновесного значения, равного  $40 \cdot 10^{-5}$  Гр/мин и  $26 \cdot 10^{-5}$  Гр/мин для плутония и америция соответственно, что превышает амплитудное значение дозы при однократном 6-часовом контакте в 3 раза.

С помощью аналогичного построения на основании рисунка 1 можно оценить величины доз на базальный слой кожи при различных ритмах 6-часового её загрязнения растворами плутония-239 и америция-241.



**Рис. 3.** Зависимость мощности дозы альфа-излучения в базальном слое кожи от времени при ежедневном загрязнении кожи растворами плутония-239 и америция-241

### Выводы

На основании экспериментальных данных произведена оценка поглощенной дозы на базальный слой кожи при её поверхностном загрязнении плутонием-239 и америцием-241 в течение в течение 6 часов и последующей дезактивации. На основании полученных результатов проведено графическое моделирование для определения величины дозы при постоянном поверхностном загрязнении.

Предлагаемый метод позволяет определять дозу на базальный слой при любом ритме загрязнения кожных покровов указанными радионуклидами.

Результаты исследования позволяют дать консервативную оценку дозы для случая, когда загрязнение обнаруживается в конце рабочего дня при отсутствии сведений о начале этого загрязнения. В этой ситуации с целью определения возможной максимальной дозы облучения следует рассчитывать её как за весь день.

### Литература

- Rothman, S. Biochemistry and physiology of skin / S. Rothman – Chicago, U.P., 1954. – С. 120.
- Колпаков, Ф.И. Проницаемость кожи / Ф.И. Колпаков. – М.: Медицина, 1973. – С. 120.
- Радиоактивные вещества и кожа (метаболизм и дезактивация) / под ред. Л.А. Ильина. – М.: Атомиздат, 1972. – С. 220.
- Барсегян, Л.Г. Проникновение Zr-95, Nb-95 в Ru-106 в организм с поверхности загрязнённой кожи / Л.Г. Барсегян. [и др.] // Гигиена и санитария. – 1981. – № 1. – С. 32.
- Осанов, Д.П. Дозиметрия и радиационная биофизика кожи / Д.П. Осанов. – М.: Энергоатомиздат, 1983.
- Whitton, J.T. New values for epidermal thickness and their importance / J.T. Whitton // Health Phys. – V. 24. – P. 1. – С. 150.
- Определение структурных слоёв кожи / В.А. Ракова [и др.] // Гигиена и санитария. – 1975. – № 8. – С. 51.
- А.с. № 31461 от 29/1X. Препарат «Защита» / Е.В.Иванов, Л.А.Ильин. 1965.
- Осанов, Д.П. Распределение Pu-239 в неповреждённой коже при поверхностном её загрязнении / Д.П. Осанов, Э.Б. Ершов [и др.]. // Медицинская радиология – 1970. – № 12. – С. 44–46.
- Осанов, Д.П. Кинетика распределения доз в коже при загрязнении её радиоактивными веществами / Д.П. Осанов, Э.Б. Ершов [и др.]. // Медицинская радиология – 1971. – № 5. – С. 44–50.
- Osanov, D.P. Kinetics of dose distribution in structural layers of skin contaminated with radioactive materials / D.P.Osanov, E.V.Ershov [et.al.] // Health Physics. – 1971. – V. 20, № 6. – P. 559–566.
- Осанов, Д.П. Микрораспределение поглощённых доз в коже при её загрязнении альфа – и бета – излучателями / Д.П. Осанов, Э.Б. Ершов [и др.]. // В кн.: Радиационная медицина. – М.: Атомиздат, 1972. – С. 239–246.

**E.B. Ershov<sup>1</sup>, D.P. Osanov<sup>2</sup>**

#### **Skin dosimetry in conditions of its constant surface contamination with solutions of plutonium-239 and americium-241**

<sup>1</sup>Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Saint-Petersburg

<sup>2</sup>Federal Medical Biophysical Center after A.I. Burnazyan, Moscow

*Abstract. The article considers, on the basis of experimental data, the issue of assessing dose burdens to the skin basal layer in conditions of its permanent contamination with solutions of plutonium-239 and americium-241 and subsequent decontamination.*

*Key words: skin contamination with radionuclides, skin basal layer, skin dosimetry, plutonium-239, americium-241, decontamination.*

Поступила: 12.11.2012 г.

Ершов Э.Б.  
Тел.: (812) 232-09-11