

Отмечено сохранение характерного для ATV статистически значимого снижения микровязкости общего липидного пула и микрополярности аннулярного липидного пула ЛПОНП ( $p = 0,003, 0,0016$  соответственно) и восстановление характерного для группы «плацебо» роста микрополярности общего липидного пула ЛПОНП ( $p = 0,005$ ). Кроме того, микровязкость аннулярного и общего липидных пулов ЛПВП возвращены к значениям, характерным для контрольных животных. Однако для оценки позитивности или негативности произошедших под влияние 1-холекальциферола сдвигов необходимы дополнительные исследования. Возможно, возврат физико-химических свойств ЛПВП к исходным значениям вызван нормализацией метаболических сдвигов, вызванных стрессом и ATV.

#### Заключение

1. Стрессирование животных 3-месячным внутрижелудочным введением 1 % крахмала вызывает, вероятно, адаптационные сдвиги физико-химических свойств ЛПК крови, заключающиеся в увеличении микрополярности общего липидного пула ЛПОНП и уменьшении микровязкости аннулярных пулов ЛПНП и ЛПВП.

2. Введение ATV нивелирует некоторые стрессорные эффекты «плацебо» и изменяет физико-химические свойства ЛПВП, способствуя увеличению их функциональной активности.

3. Совместное введение ATV и 1-холекальциферола восстанавливает эффекты, характерные для стресса и ATV в отношении ЛПОНП, и возвращает к исходным значениям физико-химические свойства ЛПВП.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Slominski, A. T.* On the role of skin in the regulation of local and systemic steroidogenic activities / A. T. Slominski, P. R. Manna, R. C. Tuckey // *Steroids*. — 2015. — Vol. 103. — P. 72–88.
2. *Осочук, С. С.* Распределение аторвастатина в липопротеиновых комплексах крови больных ИБС через 2 часа после его

однократного приема / С. С. Осочук, Г. Д. Коробов, С. В. Буянова // *Журн. ГрГМУ*. — 2012. — Т. 37, № 1. — С. 59–61.

3. *Осочук, С. С.* Метод оценки вероятности сопряженности транспорта аторвастатина и его метаболически активных дериватов с липопротеинами низкой и очень низкой плотности / С. С. Осочук, С. В. Буянова, А. Ф. Марцинкевич // *Вест. ВГМУ*. — 2015. — Т. 14, № 5. — С. 16–22.

4. Hair growth defects in Insig-deficient mice caused by cholesterol precursor accumulation and reversed by simvastatin / B. M. Evers [et al.] // *J Invest Dermatol*. — 2010. — Vol. 130, № 5. — P. 1237–1248.

5. *Gröber, U.* Influence of drugs on vitamin D and calcium metabolism / U. Gröber, K. Kisters // *Dermatoendocrinol*. — 2012. — Vol. 4, № 2. — P. 158–166.

6. Vitamin d levels and lipid response to atorvastatin / J. L. Pérez-Castrillón [et al.] // *Int J Endocrinol*. — 2010. — Vol. 2010. — P. 320–721.

7. *Holick, M. F.* Stay tuned to PXR: an orphan actor that may not be D-structive only to bone / M. F. Holick // *J Clin Invest*. — 2005. — Vol. 115, № 1. — P. 32–34.

8. Impact of high-dose statins on vitamin D levels and platelet function in patients with coronary artery disease / M. Verdoia [et al.] // *Thromb Res*. — 2017. — Vol. 150. — P. 90–95.

9. *Singh, J.* Quantitation of lysolipids, fatty acids, and phospholipase A2 activity and correlation with membrane polarity / J. Singh, R. Ranganathan // *J Lipid Res*. — 2012. — Vol. 53, № 9. — P. 1993–2001.

10. Metabolism of 1 $\alpha$ -hydroxyvitamin D3 by cytochrome P450csc to biologically active 1 $\alpha$ ,20-dihydroxyvitamin D3 / R. C. Tuckey [et al.] // *J Steroid Biochem Mol Biol*. — 2008. — Vol. 112 (4–5). — P. 213–219.

11. Analisis of low density lipoproteins by preparative ultracentrifugation and refractometry / F. T. Lindgren [et al.] // *J Of lipid Research*. — 1964. — Vol. 5. — P. 68–74.

12. *Осочук, С. С.* Физико-химические свойства мембран эритроцитов и липопротеинов высокой плотности спортсменов циклических видов спорта / С. С. Осочук, А. Ф. Марцинкевич, А. С. Осочук // *Прикладная спортивная наука*. — 2016. — № 3. — С. 84–89.

13. *Боровиков, В. П.* Statistica. Искусство анализа данных на компьютере. Для профессионалов / В. П. Боровиков. — СПб.: Питер, 2001. — 656 с.

14. *Сурина-Марышева, Е. Ф.* Интенсивность процессов перекисного окисления липидов при иммобилизационном стрессе / Е. Ф. Сурина-Марышева // *Вестн. ЮУрГУ*. — 2008. — № 4. — С. 86–87.

15. *Гидулянова, К. В.* Жирнокислотный состав плазмы и мембран эритроцитов больных хроническим гломерулонефритом / К. В. Гидулянова, С. В. Коношенко // *Ученые зап. Тавр. нац. ун-та им. В. И. Вернадского. Сер. «Биология, химия»*. — 2008. — Т. 19, № 4. — С. 56–62.

16. *Коновалова, Т. Т.* Роль липидов в структурно-функциональной организации мембран при атерогенезе и их коррекция у больных ишемической болезнью сердца / Т. Т. Коновалова, И. П. Смирнова // *Сиб. мед. журн.* — 2005. — № 1. — С. 8–13.

Поступила 11.09.2017

УДК 57.043

## ОЦЕНКА ДОЗОВОЙ НАГРУЗКИ ТРАНСУРАНОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ОТДЕЛЬНЫЕ ВИДЫ БИОТЫ ПОЛЕССКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО РАДИАЦИОННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ЗАПОВЕДНИКА

*Р. К. Спиров, А. Н. Никитин*

Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси, г. Гомель

**Цель:** оценить реально складывающуюся дозовую нагрузку трансураниевых элементов на подземные и надземные органы травянистых растений на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника.

**Материалы и методы.** Объектами исследования являлись надземные и подземные органы *Iris pseudacorus* L., *Convallaria majalis* L., *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. Отбор образцов проводили в Полесском государственном радиационно-экологическом заповеднике. Определяли удельную активность  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$  в надземных и подземных органах методом радиохимического анализа, на основании чего рассчитывали мощность эквивалентной дозы.

**Результаты.** Мощность эквивалентной дозы от инкорпорированных в тканях растений изотопов трансурановых элементов составляет: *Iris pseudacorus* —  $6,04 \times 10^{-1}$  мкЗв  $\times$  сут<sup>-1</sup> (надземные) и  $4,74$  мкЗв  $\times$  сут<sup>-1</sup> (подземные), *Convallaria majalis* —  $6,86 \times 10^{-1}$  мкЗв  $\times$  сут<sup>-1</sup> (надземные) и  $9,01$  мкЗв  $\times$  сут<sup>-1</sup> (подземные), *Phragmites australis* —  $3,93 \times 10^{-1}$  мкЗв  $\times$  сут<sup>-1</sup> (надземные) и  $3,14$  мкЗв  $\times$  сут<sup>-1</sup> (подземные). Это в 4–33 раза меньше эквивалентной дозы от <sup>137</sup>Cs в почве.

**Заключение.** Наибольшая дозовая нагрузка трансурановых элементов приходится на подземные органы исследуемых растений, при этом основной вклад среди трансурановых элементов вносит <sup>241</sup>Am.

**Ключевые слова:** трансурановые элементы, плутоний-238, плутоний-239, плутоний-240, америций-241, дозовая нагрузка.

## THE ASSESSMENT OF RADIATION EXPOSURE OF TRANSURANIUM ELEMENTS ON SOME SPECIES OF THE BIOTA OF POLESIE STATE RADIOECOLOGICAL RESERVE

R. K. Spirov, A. N. Nikitin

Institute of Radiobiology of the National Academy of Sciences of Belarus, Gomel

**Objective:** to assess the real radiation-absorbed dose of transuranium elements in underground and above-ground organs of herbaceous plants in the area of PSRER.

**Material and methods.** The objects of the research were aboveground and underground organs of *Iris pseudacorus* L., *Convallaria majalis* L., *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. The selection of the samples was carried out in Polesie State Radioecological Reserve. The specific activity of <sup>238</sup>Pu, <sup>239</sup>Pu, <sup>240</sup>Pu, and <sup>241</sup>Am in the aboveground and underground organs was determined by the method of radiochemical analysis, on the basis of which the equivalent dose rate was calculated.

**Results.** The equivalent dose rates of the isotopes of transuranium elements incorporated in the plant tissues are:  $6.04 \times 10^{-1}$  micro Sv/day<sup>-1</sup> (aboveground) and  $4.74$  micro Sv/day<sup>-1</sup> (underground) in *Iris pseudacorus*,  $6.86 \times 10^{-1}$  micro Sv/day<sup>-1</sup> (aboveground) and  $9.01$  micro Sv/day<sup>-1</sup> (underground) in *Convallaria majalis*,  $3.93 \times 10^{-1}$  micro Sv/day<sup>-1</sup> (aboveground) and  $3.14$  micro Sv/day<sup>-1</sup> (underground) in *Phragmites australis*. These rates are 4–33 times as little as the equivalent dose of <sup>137</sup>Cs in the soil.

**Conclusion.** The largest dose rate of transuranium elements is the share of the underground organs of the studied plants, besides <sup>241</sup>Am makes the main contribution among transuranium elements.

**Key words:** transuranium elements, plutonium-238, plutonium-239, plutonium-240, americium-241, the dose rate.

### Введение

Согласно Р. М. Алексахину [1], заметное усиление интереса в последние 10–15 лет к облучению живых организмов, находящихся в естественной среде обитания, связано с возросшим значением проблемы защиты природной среды (в том числе и радиационной защиты) в условиях расширяющегося техногенного и антропогенного давления на природу. Эта проблема имеет важное значение в самом существовании человека в современном мире. Несмотря на то, что постоянно увеличивается количество дозиметрических данных об уровнях облучения биоты, такой информации гораздо меньше, чем в отношении человека. Особое внимание к облучению биоты связано с распространением эоцентрических принципов радиационной защиты.

Являясь  $\alpha$ -излучателями, изотопы <sup>238</sup>Pu, <sup>239</sup>Pu, <sup>240</sup>Pu, <sup>241</sup>Am, представляют особенную опасность, поскольку обладают большой ионизирующей способностью. Так, энергия  $\alpha$ -частиц и выход на распад для данных изотопов следующие [2]: <sup>238</sup>Pu — 5,495 МэВ (72 %), 5,452 МэВ (28 %); <sup>239</sup>Pu — 5,147 МэВ (72 %), 5,134 МэВ (16,8 %), 5,096 МэВ (10,7 %); <sup>240</sup>Pu — 5,162 МэВ (76 %), 5,118 МэВ (24 %), <sup>241</sup>Am — 5,486 МэВ (86 %), 5,443 МэВ (12,7 %).

Большая опасность трансурановых элементов (ТУЭ) для экосистем также обусловлена длительными периодами полураспада. Так, например, у плутония-238 он составляет 86,4 года, у плутония-239 — 24360 лет, плутония-241 — 6580 лет, америция-241 — 458 лет. Взаимодействие ТУЭ с другими элементами в значительной степени определяется структурой и основными физико-химическими свойствами, существенно отличающимися от свойств других элементов. Так, со щелочными металлами плутоний в твердом состоянии не взаимодействует, из щелочноземельных металлов образует химические соединения только с бериллием и магнием [3]. Отсутствие биологических функций, механизмов поглощения и выведения также подчеркивает радиобиологическую опасность ТУЭ.

На сегодняшний день основными источниками поступления ТУЭ в окружающую среду являются испытания ядерного оружия и аварии на предприятиях ядерно-топливного цикла. Авария на Чернобыльской АЭС привела к существенному локальному загрязнению ТУЭ на территории Республики Беларусь. В первые месяцы после катастрофы площадь загрязнения чернобыльскими ТУЭ на уровне  $0,1$  Ки/км<sup>2</sup> составила  $400$  км<sup>2</sup> (плутоний-241 —  $5,1$  ПБк, плутоний-238 —  $0,03$  ПБк, плутоний-240 —

0,03 ПБк, плутоний-239 — 0,024 ПБк). Здесь стоит отметить, что в результате трансформации плутония-241 в америций-241 площадь этой зоны к 2060 г. увеличится в несколько раз — до 1800 км<sup>2</sup>. Загрязнение территории ТУЭ привело к тому, что чернобыльская дополнительная радиоактивность будет сохраняться в биосфере в заметных количествах сотни и тысячи лет [4]. В связи с этим возникает необходимость изучения дозовой нагрузки ТУЭ на растительные организмы.

#### Цель исследования

Оценить реально складывающуюся дозовую нагрузку трансурановых элементов на подземные и надземные органы травянистых растений территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника.

#### Материалы и методы

Объектами исследования являлись типичные для экосистем Полесского государственного радиационно-экологического заповедника (ПГРЭЗ) виды травянистых растений: ирис ложноаировый (*Iris pseudacorus* L.), семейство Ирисовые (*Iridaceae*), ландыш майский (*Convallaria majalis* L.), семейство Спаржевые (*Asparagaceae*), тростник обыкновенный (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.), семейство Мятликовые (*Poaceae*).

Отбор почвенных и растительных образцов проводили по общепринятым методикам [5] в июне 2015 г. на пробной площадке, охватывающей несколько сопряженных экотопов и характеризующейся МЭД на поверхности почвы  $1,90 \pm 0,29$  мкЗв  $\times$  ч<sup>-1</sup>, на расстоянии 1 м —  $1,30 \pm 0,20$  мкЗв  $\times$  ч<sup>-1</sup>.

Для определения удельной активности ТУЭ в растительных образцах отбирали надземные и подземные части растений. Собирали смешанную пробу, состоящую из трех индивидуальных, в количестве, необходимом для радиохимического анализа с учетом того, что растительные образцы будут подвергнуты сушке. Надземные части растений отделяли секатором, корни отмывали от почвы. Растительные образцы измельчали секатором и взвешивали на месте на переносных весах, фасовали в полиэтиленовые пакеты и маркировали.

После высушивания в сушильном шкафу до постоянной сухой массы при 80 °С фиксировали в журнале значение массы высушенных растительных образцов для расчета коэффициента усушки. Пробы измельчали на мельнице для последующего определения в них удельной активности цезия-137 и ТУЭ.

Радиохимический анализ включал кислотное вскрытие пробы, соосаждение трансурановых элементов с гидроксидом железа (III). Раствор нейтрализовали безугольным аммиаком и фильтровали. Осадок растворяли в азотной кислоте и стабилизировали плутоний до четы-

рехвалентного состояния нитритом натрия. Пропускали через колонки с анионитом АВ-17 в азотнокислой форме. Плутоний элюировали 0,3 М HNO<sub>3</sub> — 0,1 М HF. Америций очищали от железа и урана на колонках с АВ-17, затем пропускали через колонки с ФИБАНОм.

Содержание изотопов плутония и америция в элюате определяли методом  $\alpha$ -спектрометрии. Для этого к порции элюата добавляли раствор азотнокислого церия в количестве, содержащем 50 мкг церия (в пересчете на металл). Раствор нейтрализовали аммиаком, не содержащим растворенный CO<sub>2</sub>, до pH 6–7. Образовавшийся осадок гидроксида четырехвалентного церия с осажденными ТУЭ фильтровали под вакуумом через ядерный фильтр с диаметром пор 0,15 мкм. Осадок на фильтре высушивали на воздухе и наклеивали на подложку из нержавеющей стали [6].

Содержание ТУЭ измеряли на альфа-спектрометрической системе Alpha Analyst от CAN-BERRA, включающей шесть полупроводниковых PIPS-детекторов, изготовленных из сверхчистого кремния. Площадь детектора — 300 мм<sup>2</sup>, эффективность регистрации в области энергий 3–8 МэВ составляет  $20 \pm 2$  %. Время измерения содержания плутония — 24 ч, время измерения содержания америция-241 — от 12 до 24 ч. Математическую обработку спектров проводили при помощи программного обеспечения Apex Alpha.

Мощность эквивалентной дозы ТУЭ рассчитывали по формуле:

$$H_{\alpha} = 1,38 \times 10^{-8} \times C \times f \times E \times w_{\alpha},$$

где  $H_{\alpha}$  — мощность эквивалентной дозы  $\alpha$ -излучающего радионуклида в органе, выраженная в Зв  $\times$  сут<sup>-1</sup>;

$1,38 \times 10^{-8}$  — коэффициент перехода от мегаэлектрон-вольт к джоулям;

$C$  — удельная активность радионуклида, Бк  $\times$  кг<sup>-1</sup> (на сырой вес);

$f$  — выход данного вида излучения на распад;

$E$  — энергия частиц, МэВ;

$w_{\alpha}$  — коэффициент качества  $\alpha$ -излучения для органов растений, равный 5 [7, 8].

Мощность эквивалентной дозы <sup>137</sup>Cs рассчитывали по формуле [9]:

$$H_{137Cs} = C \times k \times w_{\gamma} \times 24,$$

Где  $H_{137Cs}$  — мощность эквивалентной дозы  $\gamma$ -излучающего радионуклида в органе, выраженная в мкЗв  $\times$  сут<sup>-1</sup>;

$C$  — удельная активность почвы, Бк  $\times$  кг<sup>-1</sup>;

$k$  — дозовый коэффициент ( $1,1 \times 10^{-4}$  и  $3,0 \times 10^{-4}$  для надземных и подземных органов травянистых растений соответственно);

$w_{\gamma}$  — коэффициент качества  $\gamma$ -излучения для растительных органов, равный 1;

24 — пересчет мощности дозы из  $\text{мкЗв} \times \text{ч}^{-1}$  в  $\text{мкЗв} \times \text{сут}^{-1}$ .

Расчет неопределенности измерения проводили согласно общепринятым методикам по оценке неопределенности радиационных измерений [10] с коэффициентом охвата, равным двум.

#### Результаты и обсуждение

В результате проведенной работы определена плотность загрязнения почвы пробной площадки. Наибольшая плотность загрязнения среди техногенных радионуклидов приходи-

лась на  $^{137}\text{Cs}$  —  $707,58 \pm 40,33 \text{ кБк} \times \text{м}^{-2}$ . Наибольшее значение плотности загрязнения ТУЭ характерно для  $^{241}\text{Am}$  —  $7,93 \pm 2,07 \text{ кБк} \times \text{м}^{-2}$ , минимальное значение приходилось на  $^{238}\text{Pu}$  —  $1,35 \pm 0,18 \text{ кБк} \times \text{м}^{-2}$ . Плотность загрязнения пробной площадки изотопами  $^{239+240}\text{Pu}$  составила  $2,27 \pm 0,27 \text{ кБк} \times \text{м}^{-2}$ .

Показатели удельной активности ТУЭ в надземной и подземной фитомассе исследуемых травянистых растений представлены в таблице 1.

Таблица 1 — Удельная активность (Ауд.) ТУЭ и неопределенность измерения (U) в надземной и подземной фитомассе *Iris pseudacorus*, *Convallaria majalis*, *Phragmites australis*

Вид	$A_{\text{уд.}}(^{238}\text{Pu})$ , $\text{Бк} \times \text{кг}^{-1}$	$U(^{238}\text{Pu})$ , $\text{Бк} \times \text{кг}^{-1}$	$A_{\text{уд.}}(^{239+240}\text{Pu})$ , $\text{Бк} \times \text{кг}^{-1}$	$U(^{239+240}\text{Pu})$ , $\text{Бк} \times \text{кг}^{-1}$	$A_{\text{уд.}}(^{241}\text{Am})$ , $\text{Бк} \times \text{кг}^{-1}$	$U(^{241}\text{Am})$ , $\text{Бк} \times \text{кг}^{-1}$
<i>Iris pseudacorus</i> (надземная фитомасса)	3,24	0,39	1,31	0,25	3,44	0,66
<i>Iris pseudacorus</i> (подземная фитомасса)	5,87	0,70	9,54	1,10	21,92	4,25
<i>Convallaria majalis</i> (надземная фитомасса)	1,59	0,54	0,89	0,64	3,62	0,92
<i>Convallaria majalis</i> (подземная фитомасса)	7,90	0,93	14,61	1,75	63,96	14,54
<i>Phragmites australis</i> (надземная фитомасса)	0,75	0,12	0,59	0,08	1,80	0,34
<i>Phragmites australis</i> (подземная фитомасса)	2,40	0,37	6,09	0,77	33,60	6,73

Согласно данным, обобщенным в таблице 1, наибольшая удельная активность среди ТУЭ в надземной фитомассе ириса ложноаирового приходилась на  $^{241}\text{Am}$  —  $3,44 \pm 0,66 \text{ Бк} \times \text{кг}^{-1}$ , наименьшая — для изотопов плутония  $^{239+240}\text{Pu}$  —  $1,31 \pm 0,25 \text{ Бк} \times \text{кг}^{-1}$ . Содержание  $^{238}\text{Pu}$  составило  $3,24 \pm 0,39 \text{ Бк} \times \text{кг}^{-1}$ . В подземной фитомассе также наблюдалось преобладание  $^{241}\text{Am}$  ( $21,92 \pm 4,25 \text{ Бк} \times \text{кг}^{-1}$ ). Наименьшее значение удельной активности характерно для  $^{238}\text{Pu}$  —  $5,87 \pm 0,70 \text{ Бк} \times \text{кг}^{-1}$ , что более чем в полтора раза меньше, чем  $^{239+240}\text{Pu}$  ( $9,54 \pm 1,10 \text{ Бк} \times \text{кг}^{-1}$ ). Значение удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  превышало суммарное значение удельной активности рассматриваемых ТУЭ:  $56,41 \pm 1,69 \text{ кБк} \times \text{кг}^{-1}$  для надземной фитомассы и  $29,85 \pm 0,96 \text{ кБк} \times \text{кг}^{-1}$  — для подземной.

Для ландыша майского, как и в случае с ирисом ложноаировым, наибольшая удельная активность среди ТУЭ в надземной фитомассе приходилась на  $^{241}\text{Am}$  —  $3,62 \pm 0,92 \text{ Бк} \times \text{кг}^{-1}$ , что более чем в два раза превышало значение удельной активности для  $^{238}\text{Pu}$  —  $1,59 \pm 0,54 \text{ Бк} \times \text{кг}^{-1}$ . Наименьшая удельная активность соответствовала изотопам плутония  $^{239+240}\text{Pu}$  ( $0,89 \pm 0,64 \text{ Бк} \times \text{кг}^{-1}$ ). В подземной фитомассе также наблюдалось преобладание  $^{241}\text{Am}$  ( $63,96 \pm 14,54 \text{ Бк} \times \text{кг}^{-1}$ ). Наименьшее значение удельной активности характерно для  $^{238}\text{Pu}$  —  $7,90 \pm$

$0,93 \text{ Бк} \times \text{кг}^{-1}$ , что более чем в полтора раза меньше, чем  $^{239+240}\text{Pu}$  ( $14,61 \pm 1,75 \text{ Бк} \times \text{кг}^{-1}$ ). Значение удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  превышало суммарное значение удельной активности рассматриваемых ТУЭ:  $40,83 \pm 1,54 \text{ кБк} \times \text{кг}^{-1}$  для надземной фитомассы и  $32,43 \pm 1,03 \text{ кБк} \times \text{кг}^{-1}$  — для подземной.

Наибольшая удельная активность среди ТУЭ в надземной фитомассе тростника обыкновенного приходилась на  $^{241}\text{Am}$  —  $1,80 \pm 0,34 \text{ Бк} \times \text{кг}^{-1}$ , что более чем в два раза превышало значение удельной активности для  $^{238}\text{Pu}$  —  $0,75 \pm 0,12 \text{ Бк} \times \text{кг}^{-1}$ . Наименьшая удельная активность соответствовала изотопам плутония  $^{239+240}\text{Pu}$  ( $0,59 \pm 0,08 \text{ Бк} \times \text{кг}^{-1}$ ). В подземной фитомассе также наблюдалось преобладание  $^{241}\text{Am}$  ( $33,60 \pm 6,73 \text{ Бк} \times \text{кг}^{-1}$ ). Наименьшее значение удельной активности характерно для  $^{238}\text{Pu}$  —  $2,40 \pm 0,37 \text{ Бк} \times \text{кг}^{-1}$ , что более чем в 2 раза меньше, чем  $^{239+240}\text{Pu}$  ( $6,09 \pm 0,77 \text{ Бк} \times \text{кг}^{-1}$ ). Значение удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  превышало суммарное значение удельной активности рассматриваемых ТУЭ:  $13,37 \pm 0,63 \text{ кБк} \times \text{кг}^{-1}$  для надземной фитомассы и  $14,13 \pm 0,62 \text{ кБк} \times \text{кг}^{-1}$  — для подземной.

Таким образом, наибольшее значение удельной активности ТУЭ характерно для подземной фитомассы вне зависимости от вида рассматриваемых травянистых растений. Среди

ТУЭ основной вклад в суммарную активность составлял  $^{241}\text{Am}$ , как для надземной, так и для подземной фитомассы.

Показатели дозовой нагрузки рассматриваемых ТУЭ на надземные и подземные органы исследуемых растений представлены в таблице 2.

Таблица 2 — Мощность эквивалентной дозы (Н) ТУЭ в надземных и подземных органах *Iris pseudacorus*, *Convallaria majalis*, *Phragmites australis*

Вид	Н ( $^{238}\text{Pu}$ ), мкЗв $\times$ сут $^{-1}$	Н ( $^{239+240}\text{Pu}$ ), мкЗв $\times$ сут $^{-1}$	Н ( $^{241}\text{Am}$ ), мкЗв $\times$ сут $^{-1}$
<i>Iris pseudacorus</i> (надземные органы)	$(2,49 \pm 0,30) \times 10^{-1}$	$(9,42 \pm 1,80) \times 10^{-2}$	$(2,61 \pm 0,50) \times 10^{-1}$
<i>Iris pseudacorus</i> (подземные органы)	$(7,62 \pm 0,91) \times 10^{-1}$	$1,16 \pm 0,13$	$2,81 \pm 0,55$
<i>Convallaria majalis</i> (надземные органы)	$(1,81 \pm 0,61) \times 10^{-1}$	$(9,57 \pm 6,89) \times 10^{-2}$	$(4,09 \pm 1,04) \times 10^{-1}$
<i>Convallaria majalis</i> (подземные органы)	$(8,39 \pm 0,98) \times 10^{-1}$	$1,46 \pm 0,18$	$6,71 \pm 1,53$
<i>Phragmites australis</i> (надземные органы)	$(9,56 \pm 1,53) \times 10^{-2}$	$(7,07 \pm 0,95) \times 10^{-2}$	$(2,26 \pm 0,42) \times 10^{-2}$
<i>Phragmites australis</i> (подземные органы)	$(1,82 \pm 0,28) \times 10^{-1}$	$(4,34 \pm 0,55) \times 10^{-1}$	$2,52 \pm 0,51$

Выполненные расчеты показали (таблица 2), что мощность эквивалентной дозы  $^{241}\text{Am}$  в надземных органах ириса ложноаирового составила  $(2,61 \pm 0,50) \times 10^{-1}$  мкЗв  $\times$  сут $^{-1}$ , что близко к значению мощности эквивалентной дозы от  $^{238}\text{Pu}$  —  $(2,49 \pm 0,30) \times 10^{-1}$  мкЗв  $\times$  сут $^{-1}$ . Значительно меньше была дозовая нагрузка изотопов плутония  $^{239+240}\text{Pu}$   $(9,42 \pm 1,80) \times 10^{-2}$  мкЗв  $\times$  сут $^{-1}$ . Мощность эквивалентной дозы  $^{137}\text{Cs}$  в надземных органах составила  $1,32 \times 10^1 \pm 7,55 \times 10^{-2}$  мкЗв  $\times$  сут $^{-1}$ , что в 21,93 раза превышает суммарную дозу ТУЭ.

Для подземных органов ириса ложноаирового характерно большее значение мощности дозы ТУЭ на порядок в сравнении с надземными органами. Основную дозовую нагрузку на подземные органы оказывал  $^{241}\text{Am}$  —  $2,81 \pm 0,55$  мкЗв  $\times$  сут $^{-1}$ , наименьшую  $^{238}\text{Pu}$  —  $(7,62 \pm 0,91) \times 10^{-1}$  мкЗв  $\times$  сут $^{-1}$ . Для изотопов плутония  $^{239+240}\text{Pu}$  характерна мощность эквивалентной дозы  $1,16 \pm 0,13$  мкЗв  $\times$  сут $^{-1}$ . Мощность эквивалентной дозы  $^{137}\text{Cs}$  в подземных органах составила  $3,61 \times 10^1 \pm 2,06$  мкЗв  $\times$  сут $^{-1}$ , что в 7,62 раза превышает суммарную дозу ТУЭ.

Мощность эквивалентной дозы  $^{241}\text{Am}$  в надземных органах ландыша майского составила  $(4,09 \pm 1,04) \times 10^{-1}$  мкЗв  $\times$  сут $^{-1}$ , что более чем в 2 раза больше значения мощности эквивалентной дозы от  $^{238}\text{Pu}$  —  $(1,81 \pm 0,61) \times 10^{-1}$  мкЗв  $\times$  сут $^{-1}$ . Значительно меньше была дозовая нагрузка изотопов плутония  $^{239+240}\text{Pu}$  —  $(9,57 \pm 6,89) \times 10^{-2}$  мкЗв  $\times$  сут $^{-1}$ . Мощность эквивалентной дозы  $^{137}\text{Cs}$  в надземных органах составила  $1,32 \times 10^1 \pm 7,55 \times 10^{-1}$  мкЗв  $\times$  сут $^{-1}$ , что в 19,31 раза превышает суммарную дозу ТУЭ.

Для подземных органов ландыша майского также характерно большее значение мощности дозы ТУЭ на порядок в сравнении с надземными органами. Основную дозовую нагрузку на подземные органы оказывал  $^{241}\text{Am}$  —  $6,71 \pm$

$1,53$  мкЗв  $\times$  сут $^{-1}$ , наименьшую  $^{238}\text{Pu}$  —  $(8,39 \pm 0,98) \times 10^{-1}$  мкЗв  $\times$  сут $^{-1}$ . Для изотопов плутония  $^{239+240}\text{Pu}$  характерна мощность эквивалентной дозы  $1,46 \pm 0,18$  мкЗв  $\times$  сут $^{-1}$ . Мощность эквивалентной дозы  $^{137}\text{Cs}$  в подземных органах составила  $3,61 \times 10^1 \pm 2,06$  мкЗв  $\times$  сут $^{-1}$ , что в 4,01 раза превышает суммарную дозу ТУЭ.

Мощность эквивалентной дозы  $^{241}\text{Am}$  в надземных органах тростника обыкновенного составила  $(2,26 \pm 0,42) \times 10^{-2}$  мкЗв  $\times$  сут $^{-1}$ , что более чем в 2 раза больше значения мощности эквивалентной дозы от  $^{238}\text{Pu}$  —  $(9,56 \pm 1,53) \times 10^{-2}$  мкЗв  $\times$  сут $^{-1}$ . Дозовая нагрузка изотопов плутония  $^{239+240}\text{Pu}$  —  $(7,07 \pm 0,95) \times 10^{-2}$  мкЗв  $\times$  сут $^{-1}$ . Мощность эквивалентной дозы  $^{137}\text{Cs}$  в надземных органах составила  $1,32 \times 10^1 \pm 7,55 \times 10^{-1}$  мкЗв  $\times$  сут $^{-1}$ , что в 33,72 раза превышает суммарную дозу ТУЭ.

Для подземных органов тростника обыкновенного большее значение мощности дозы ТУЭ на порядок в сравнении с надземными органами характерно только для америция. Основную дозовую нагрузку на подземные органы оказывал  $^{241}\text{Am}$  —  $2,52 \pm 0,51$  мкЗв  $\times$  сут $^{-1}$ , наименьшую  $^{238}\text{Pu}$  —  $(1,82 \pm 0,28) \times 10^{-1}$  мкЗв  $\times$  сут $^{-1}$ . Для изотопов плутония  $^{239+240}\text{Pu}$  характерна мощность эквивалентной дозы  $(4,34 \pm 0,55) \times 10^{-1}$  мкЗв  $\times$  сут $^{-1}$ . Мощность эквивалентной дозы  $^{137}\text{Cs}$  в подземных органах составила  $3,61 \times 10^1 \pm 2,06$  мкЗв  $\times$  сут $^{-1}$ , что в 11,52 раза превышает суммарную дозу ТУЭ.

#### Заключение

В результате проведенных исследований установлено, что суммарная удельная активность ТУЭ в *Iris pseudacorus*, *Convallaria majalis*, *Phragmites australis*, произрастающих на территории ПГРЭЗ, на порядки меньше, чем значение удельной активности  $^{137}\text{Cs}$ . При этом содержание ТУЭ в корнях растений превышает

содержание их в надземной фитомассе. Среди рассматриваемых ТУЭ наибольшее значение удельной активности приходится на  $^{241}\text{Am}$ .

При оценке дозовой нагрузки необходимо отметить, что суммарная мощность эквивалентной дозы от ТУЭ в надземных и подземных органах исследуемых растений в 4–33 раза меньше, чем значение мощности эквивалентной дозы от  $^{137}\text{Cs}$ . Наибольшая дозовая нагрузка приходится на подземные органы, при этом основной вклад среди ТУЭ вносит  $^{241}\text{Am}$ .

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.

1. *Алексахин, Р. М.* Дозы облучения человека и биоты в современном мире: состояние и некоторые актуальные проблемы / Р. М. Алексахин // Медицинская радиология и радиационная безопасность. — 2009. — Т. 54, № 4. — С. 25–31.
2. *Конопля, Е. Ф.* Радиация и Чернобыль: Трансурановые элементы на территории Беларуси / Е. Ф. Конопля, В. П. Кудряшов, В. П. Миронов. — Гомель: РНИУП «Институт радиологии», 2007. — 128 с.
3. *Вдовенко, В. М.* Химия урана и трансурановых элементов / Акад. наук СССР. Радиевый ин-т им. В. Г. Хлопина. — Л.; М.: Изд-во Акад. наук СССР, 1960. — 700 с.

4. Чернобыль: последствия Катастрофы для человека и природы / А. В. Яблоков [и др.]. — М.: Товарищество научных изданий КМК, 2016. — 826 с.

5. ГОСТ 17.4.3.01-83 Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб = Nature protection. Soils. General requirements for sampling. — Введ. 01.07.84. — М.: Изд-во стандартов, 1984. — 8 с.

6. МВИ. МН 1892-2003. Методика определения активности стронция-90 и трансурановых элементов в биологических объектах. — Минск, 2003. — 17 с.

7. *Моисеев, А. А.* Справочник по дозиметрии и радиационной гигиене / А. А. Моисеев, В. И. Иванов. — М.: Энергоатомиздат, 1984. — 292 с.

8. *Taranenko, V.* Absorbed dose rate conversion coefficients for reference biota for external photon and internal exposures / V. Taranenko, G. Prohl, J. M. Gomez-Ros // Journal of radiological protection. — 2004. — № 24. — P. 35–62.

9. *Chambers, B.* Choosing an alpha radiation weighting factor for doses to non-human biota / B. Chambers, R. V. Osborne, A. L. Garva // Journal of Environmental Radioactivity. — 2006. — № 87. — P. 1–14.

10. *Шошина, Р. Р.* Анализ неопределенностей при оценке доз на биоту в условиях хронического радиационного воздействия / Р. Р. Шошина, Г. В. Лаврентьева // Радиобиология: «Маяк», Чернобыль, Фукусима: матер. междунар. науч. конф. (Гомель, 24–25 сент. 2015 г.) / ред. кол.: А. Д. Наумов (гл. ред.) [и др.]. — Минск: Ин-т радиологии, 2015. — С. 270–273.

Поступила 09.10.2017

УДК 616-076:[547.281.1+615.2]

## УСКОРЕНИЕ ФИКСАЦИИ ОПЕРАЦИОННОГО И БИОПСИЙНОГО МАТЕРИАЛА

*А. Ю. Крылов<sup>1</sup>, В. В. Янченко<sup>2</sup>, А. Н. Млявий<sup>3</sup>, Ю. В. Крылов<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Институт повышения квалификации и переподготовки кадров  
Государственного комитета судебных экспертиз Республики Беларусь, г. Минск,

<sup>2</sup>Витебский государственный ордена  
Дружбы народов медицинский университет», г. Витебск

<sup>3</sup>Витебское областное клиническое патологоанатомическое бюро, г. Витебск

**Цель:** разработать способ ускорения фиксации биопсийного материала добавлением в формалин димексида.

**Материал и методы.** Методом добавления пищевого красителя Е124 (понсо 4R) (1 мг/мл) в забуференный формалин изучали его проникновение в биопсийный материал лейомиом, доставленных на срочное гистологическое исследование. В опытной группе в качестве ускорителя проникновения красителя в структуры биопсийного материала добавляли димексид в конечной концентрации 20 %. Материал оценивался морфометрически в процентах площади окрашенных красителем участков.

**Результаты.** Полное прокрашивание всех образцов опытной серии с добавлением димексида наблюдалось уже через 12 часов фиксации, а в контрольной – только в трех кусочках из шести. В остальных трех образцах было прокрашено 75, 76 и 86 %. В двух наблюдениях рака молочной железы на 12 часах фиксации с добавлением в формалин димексида 20 % концентрации их экспрессия соответствовала 24 часам фиксации обычным способом.

**Заключение.** Добавление димексида в забуференный формалин в конечной концентрации 20 % позволило существенно ускорить фиксацию, при этом не искажая результаты иммуногистохимического исследования экспрессии маркеров, входящих в стандартную панель иммуногистохимического исследования (Er, Pg, Ki-67, HER2).

**Ключевые слова:** димексид, пищевой краситель, скорость фиксации, качество фиксации.

## ACCELERATION OF THE FIXATION OF SURGICAL AND BIOPSY MATERIAL

*A. Yu. Krylov<sup>1</sup>, U. V. Yanchenko<sup>2</sup>, A.N. Mlyaviy<sup>3</sup>, Yu. V. Krylov<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Institute for Advanced Training and Retraining of Personnel  
of the State Committee of Forensic Expertise of the Republic of Belarus, Minsk,

<sup>2</sup>Vitebsk State Order of Peoples' Friendship Medical University, Vitebsk,

<sup>3</sup>Vitebsk Regional Clinical Pathoanatomical Bureau, Vitebsk

**Objective:** to develop a method for accelerating the fixation of biopsy material by adding dimexide to formalin.

**Material and methods.** The method of adding food coloring E124 (ponso 4R) (1 mg/ml) to buffered formalin was used to study its penetration into biopsy material by leiomyomas delivered for an urgent histological study. In the test group, dimexide was added to the structure of the biopsy material as a dye penetration accelerator at a final concentration of 20 %. The material was evaluated morphometrically in percents of the area of the stained areas.