

Медико-биологические проблемы жизнедеятельности

Научно-практический рецензируемый журнал

№ 1(5)

2011 г.

Учредитель

Государственное учреждение
«Республиканский научно-
практический центр
радиационной медицины
и экологии человека»

Журнал включен в Перечень
научных изданий Респуб-
лики Беларусь для опубликова-
ния диссертационных иссле-
дований по медицинской и
биологической отраслям науки
(31.12.2009, протокол 25/1)

Журнал зарегистрирован

Министерством информации
Республики Беларусь,
Свид. № 762 от 6.11.2009

Компьютерная верстка
А.А. Гурин

Подписано в печать 11.04.11.
Формат 60×90/8. Бумага офсетная.
Гарнитура «Times New Roman».
Печать цифровая. Доп тираж 46 экз.
Усл. печ. л. 22,3. Уч.-изд. л. 20,1.
Зак. 861.

Издатель ГУ «Республиканский
научно-практический центр
радиационной медицины и экологии
человека»
ЛИ № 0230/0131895 от 3.01.2007 г.

Отпечатано в Филиале БОРБИЦ
РНИУП «Институт радиологии».
220112, г. Минск,
ул. Шпилевского, 59, помещение 7Н

ISSN 2074-2088

Главный редактор

В.П. Сытый (д.м.н., профессор)

Редакционная коллегия

В.С. Аверин (д.б.н., зам. гл. редактора), В.В. Аничкин (д.м.н., профессор), В.Н. Беляковский (д.м.н., профессор), Ю.В. Висенберг (к.б.н., отв. секретарь), Н.Г. Власова (к.б.н., доцент), А.В. Величко (к.м.н., доцент), В.М. Дорофеев (к.м.н., доцент), В.В. Евсеенко (к.п.с.н.), А.В. Кортаев А.В. (к.м.н.), Н.Б. Кривелевич (к.м.н.), А.Н. Лызилов (д.м.н., профессор), А.В. Макарович (к.м.н.), С.Б. Мельнов (д.б.н., профессор), Э.А. Надыров (к.м.н., доцент), Э.Н. Платошкин (к.м.н., доцент), А.В. Рожко (к.м.н., доцент), Г.Н. Романов (к.м.н.), А.М. Скрябин (к.м.н.), А.Е. Силин (к.б.н.), А.Н. Стожаров (д.б.н., профессор), О.В. Черныш (к.м.н.), Н.И. Шевченко (к.б.н.), А.Н. Цуканов (к.м.н.)

Редакционный совет

С.С. Алексанин (д.м.н., профессор, Санкт-Петербург), А.Ю. Бушманов (д.м.н., профессор, Москва), И.И. Дедов (д.м.н., академик РАМН, Москва), Ю.Е. Демидчик (д.м.н., член-корреспондент НАН РБ, Минск), М.П. Захарченко (д.м.н., профессор, Санкт-Петербург), Л.А. Ильин (д.м.н., академик РАМН, Москва), Я.Э. Кенигсберг (д.б.н., профессор, Минск), В.Ю. Кравцов (д.б.н., профессор, Санкт-Петербург), Н.Г. Кручинский (д.м.н., Минск), Т.В. Мохорт (д.м.н., профессор, Минск), И.А. Новикова (д.м.н., профессор, Гомель), В.Ю. Рыбников (д.м.н., профессор, Санкт-Петербург), В.П. Ситников (д.м.н., профессор, Гомель), Н.Д. Тронько (д.м.н., профессор, Киев), В.П. Филонов (д.м.н., профессор), В.А. Филонюк (к.м.н., доцент, Минск), А.Ф. Цыб (д.м.н., академик РАМН, Обнинск), В.Е. Шевчук (к.м.н., Минск)

Технический редактор

С.Н. Никонович

Адрес редакции

246040 г. Гомель, ул. Ильича, д. 290,
ГУ «РНПЦ РМ и ЭЧ», редакция журнала
тел (0232) 38-95-00, факс (0232) 37-80-97
<http://www.rcrm.by>
e-mail: mbp@rcrm.by

© Государственное учреждение
«Республиканский научно-
практический центр радиационной
медицины и экологии человека», 2011

№ 1(5)

2011

Medical and Biological Problems of Life Activity

Scientific and Practical Journal

Founder

Republican Research Centre
for Radiation Medicine
and Human Ecology

Journal registration
by the Ministry of information
of Republic of Belarus

Certificate № 762 of 6.11.2009

© *Republican Research Centre
for Radiation Medicine
and Human Ecology*

ISSN 2074-2088

Обзоры и проблемные статьи

- Котеров А.Н.* Перспективы учета «эффекта свидетеля» при оценке радиационных рисков 7

Медико-биологические проблемы

- Замотаева Г.А., Степура Н.Н.* Влияние различных доз радиоioda на состояние иммунной системы больных дифференцированным раком щитовидной железы 20

- Кашкалда Д.А., Бориско Г.А.* Гендерные особенности изменений про- и антиоксидантных процессов у детей, рожденных в семьях отцов-ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС 27

- Мельницкая Т.Б., Симонов А.В., Бельх Т.В.* Оценка социально-психологических последствий переживания радиационного риска у населения России и Беларуси 32

- Могилевец О.Н., Шейбак В.М., Пырочкин В.М., Могилевец Э.В.* Способ биохимической оценки дисфункции эндотелия 37

- Молева В.И., Кашина-Ярмак В.Л.* Особенности состояния здоровья и иммунологического гомеостаза у детей, родители которых проживали в зонах радиационного загрязнения в детском и подростковом возрасте 42

- Ровбутъ Т.И., Мойсеенок А.Г., Харченко О.Ф.* Характеристика витаминной обеспеченности как критерий оценки качества жизни детей, проживающих в различных экологических условиях 48

- Росина Й., Вранова Я., Квашняк Е., Шута Д., Коштржун Т., Навратил Л., Сабол Й., Гон З., Драбова Д.* Чешская Республика и авария на Чернобыльской АЭС – 25 лет спустя 55

Reviews and problem articles

- Koterov A.N.* Prospects of the bystander effect at radiation risks estimation 7

Medical-biological problems

- Zamotayeva G.A., Stepura N.N.* Effect of various doses of radioactive iodine on immune status of patients with differentiated thyroid cancer 20

- Kashkalda D.A., Borisko G.A.* Gender peculiarities of changes in pro- and antioxidant processes in children born in families of liquidators of Chernobyl nuclear power station accident 27

- Melnitskaja T.B., Simonov A.V., Belyh T.V.* Estimation of social and psychological consequences of radiation risk among populatoin of Russia and Belarus 32

- Mogilevec O.N., Shejbak V.M., Pyrochkin V.M., Mogilevec E.V.* Method of the biochemical estimation of endothelial dysfunction 37

- Moleva V.I., Kashina-Yarmak V.L.* Features of the health state and immunological homeostasis for children, whose parents lived in areas with radiation contamination in child's and juvenile age 42

- Roubuts T.I., Mojseenok A.G., Kharchanka A.F.* The characteristic of vitamin provision, as criterion of the estimation of quality of the life of children living in different ecological conditions 48

- Rosina Y., Vranova Ya., Kvashnak E., Shuta D., Kostrgun T., Navratil L., Sabol Y., Gon Z., Drabova D.* The Czech Republic and the Chernobyl accident – 25 years later 55

Клиническая медицина

Абросимов А.Ю., Кожушная С.М. Морфология рака щитовидной железы после аварии на ЧАЭС: цитогистологические сопоставления 63

Бранован И. Распространенность заболеваний щитовидной железы среди лиц, проживающих в США, облученных в результате аварии на ЧАЭС 70

Гуминский А.М., Демидчик Ю.Е., Кушнеров А.И. Дифференциальная ультразвуковая диагностика опухолевых заболеваний щитовидной железы 75

Ерш И.Р., Лучко В.С., Зайцев В.И., Романчук Э.В. Комбинированная терапия больных артериальной гипертензией в амбулаторных условиях 81

Захарченко Т.Ф., Замотаева Г.А., Тронько Н.Д. Функциональные показатели эффекторов врожденного иммунитета у больных с отдаленными метастазами рака щитовидной железы после радиойодтерапии 88

Игумнов С.А., Орлов А.Л., Евсеенко В.В., Докукина Т.В., Касап В.А., Козмидиади А.О., Курс О.В. Психологическая и нейрофизиологическая диагностика психического состояния антенатально облученных лиц 93

Красавцев Е.Л., Мицура В.М. Роль цитокинов в прогнозировании эффективности лечения больных хроническим гепатитом С 103

Ляликов С.А. Возрастные особенности картины крови у детей в современный период 109

Румянцева Г.М., Левина Т.М., Чинкина О.В. Сравнительная характеристика психических

Clinical medicine

Abrosimov A. Yu., Kozhushnaya S.M. Morphology of thyroid carcinoma after Chernobyl accident: cytological and histological correlations

Branovan I. Prevalence of thyroid diseases among persons living in the USA exposed to radiation as a result of the Chernobyl accident

Huminski A. M., Demidchik J.E., Kushnerov A.I. Differential ultrasonic diagnostics of tumoral diseases of a thyroid gland

Yorsh I. R., Luchko V.S., Zaitsev V.I., Romanchuk E.W. The combined therapy in patients with arterial hypertension in ambulance conditions

Zakharchenko T.F., Zamotayeva G.A., Tronko N.D. Functional indices of innate immunity effectors in patients with distant metastases of thyroid cancer after radioiodine therapy

Igumnov S.A., Orlov A.L., Evseenko V.V., Dokukina T.V., Kasap V.A., Kozmidiadi A.O., Kurs O.V. Psychological and neurophysiological diagnosis of mental antenatally irradiated persons

Krasavtsev E.L., Mitsura V.M. Role of cytokines in forecasting of treatment efficiency in patients with chronic hepatitis C

Lialikov S.A. Age features of the blood picture in children during the modern period

Rumjantseva G. M., Levina T.M., Chinkina O.V. Comparative characteristics of mental disorders with

нарушений при сосудистой патологии головного мозга у ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС и больных, не подвергавшихся облучению

116

Цитко Е.В., Мрочек А.Г.
Ремоделирование левого желудочка у пациентов с диффузным токсическим зобом

124

Обмен опытом

Воробьев А.П., Радчук В.Я., Фролов А.В., Лопатина А.Л., Поляков С.М., Мельникова О.П., Станкевич В.И. Разработка и внедрение дистанционной кардиологической диагностики в Гомельской области

129

Мирончик А.Ф. Экономическая оценка ущерба от радиационной чрезвычайной ситуации

135

Материалы Международной научно-практической конференции «25 ЛЕТ ПОСЛЕ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ КАТАСТРОФЫ. Преодоление ее последствий в рамках Союзного государства» (г. Гомель, 12-13 апреля 2011 г.)

25 лет после Чернобыльской катастрофы

Аверин В.С., Буздалькин К.Н., Царенок А.А., Тагай С.А., Кухтевич А.Б., Макаровец И.В., Нилова Е.К. Поступление трансуранических элементов в молоко коров

144

Булавик И.М. Радиологическая эффективность калийных удобрений в лесных насаждениях

153

Дударева Н.В., Довнар А.К., Тагай С.А., Кухтевич А.Б., Васковцова В.А., Шумилин В.А. Совершенствование методик радиохимического анализа ^{90}Sr и трансуранических элементов в объектах агробиоценоза

159

vascular brain pathology in liquidators of the Chernobyl accident and in patients not exposed to radiation.

Tsitko E., Mrochek A. Left ventricular remodeling in patients with diffuse toxic goiter

Experience exchange

Vorobiev A.P., Radchuk V.Ja., Frolov A.V., Lopatina A.L., Poliakov S.M., Melnikova O.P., Stankevich V.I. Development and implementation of remote cardiological diagnostics in Gomel region

Mironchik A.F. Economic estimation of a damage from a radiating emergency situation

25 years after Chernobyl accident

Averin V.S., Buzdalkin K.N., Tsarenok A.A., Tagai S.A., Kukhtsevich A.B., Makarovets I.V., Nilova E.K. Transfer of transuranic elements to cow milk

Bulavik I.M. Radiological effectiveness of potassium fertilization in forest stands

Dudareva N.V., Dovnar A.K., Tagai S.A., Kukhtsevich A.B., Vaskovtsova V.A., Shumilin V.A. Development of the techniques for radiochemical analysis of ^{90}Sr and transuranic elements in agrobiocoenosis objects

<i>Мостовенко А.Л., Карпенко А.Ф.</i> Содержание радионуклидов в животноводческой продукции после переспециализации сельскохозяйственного производства	167	Mostovenko A.L., Karpenko A.F. Radionuclide content in animal products after re-specialization of farm production
<i>Подоляк А.Г., Ласько Т.В., Головешкин В.В.</i> Радиологические аспекты использования луговых земель на торфяных почвах в отдаленный период после катастрофы на ЧАЭС	171	<i>Podolyak A.G., Lasko T.V., Goloveshkin V.V.</i> Radiological aspects of long-term meadow land use on peat soils affected in the result of the Chernobyl accident
<i>Соколик Г.А., Овсянникова С.В., Войникова Е.В., Попеня М.В.</i> Современное состояние и подвижность плутония и америция чернобыльского выброса в почвенно-растительном покрове	179	<i>Sokolik G.A., Ovsiannikova S.V., Voinikava K.V., Popenia M.V.</i> Contemporary state and mobility of plutonium and americium of chernobyl fallout in a soil-plant cover

ПОСТУПЛЕНИЕ ТРАНСУРАНОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В МОЛОКО КОРОВ

РНИУП «Институт радиологии», г. Гомель, Беларусь

Приведены результаты физиологических опытов на лактирующих коровах, которым в рацион вводились загрязнённые трансуранными элементами почвенные и растительные затравки. Затравки были приготовлены из почвы и растительности территории, загрязнённой в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС. Установлены уровни содержания изотопов плутония в молоке коров и выполнена консервативная оценка поступления $^{238,239+240}\text{Pu}$ и ^{241}Am по биологической цепи почвенная компонента рациона – молоко.

Ключевые слова: почва, молоко, америций, плутоний, коэффициенты перехода

Введение

В радиоактивных выпадениях чернобыльского генезиса присутствуют трансуранные элементы (ТУЭ) – $^{238,239,240,241}\text{Pu}$ и ^{241}Am , из которых ^{241}Pu ($T_{1/2}=14,4$ г.) распадается по схеме β -распада до ^{241}Am . В почвах зон отчуждения, отселения и прилегающих к ним территорий на юго-востоке Беларуси уже на рубеже 2000-2005 гг. запас ^{241}Am ($\text{Бк}\cdot\text{м}^{-2}$) сравнялся с запасом суммы изотопов $^{238+239+240}\text{Pu}$, а к 2060 году прогнозируется двукратное превышение активности ^{241}Am в почве этих территорий над активностью изотопов плутония.

Радиотоксичность α -излучающих ^{241}Am и $^{238,239,240}\text{Pu}$ значительно выше токсичности γ, β -излучающих радионуклидов [1]. Эти характеристики, а также продолжительные периоды полураспада определяют высокую радиоэкологическую значимость ^{241}Am и $^{238,239,240}\text{Pu}$ при их вовлечении в биологический круговорот.

Животные могут заглатывать почвенные частицы до 18-30% от сухого веса сучного корма в зависимости от состояния травостоя пастбищ [2]. Ранее проведенными исследованиями [3, 4] были установлены коэффициенты перехода радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr по укороченной трофической цепи «почва-молоко» и было показано, что для этих радионуклидов вклад по-

чвы, как дополнительного источника загрязнения молока коров в пастбищный период, не превышает 3% от общего вклада в активность рациона. Для радионуклидов ^{241}Am и $^{238,239+240}\text{Pu}$ подобных исследований на лактирующих коровах до настоящего времени не проводилось. По сравнению с ^{137}Cs и ^{90}Sr коэффициенты перехода ТУЭ из почвы в растения значительно ниже и находятся в пределах 10^{-6} - 10^{-2} $\text{м}^2\cdot\text{кг}^{-1}$ [5-7]. Предполагается, что при таком низком поступлении ^{241}Am и $^{238,239,240}\text{Pu}$ корневым путем в травяные корма, заглатываемая животными почвенный компонент с содержанием ТУЭ обусловит основной вклад в загрязнение молока этими радионуклидами.

Проблемы миграции ТУЭ по биологическим цепям до сих пор изучены крайне недостаточно, и соответствующая научная информация в настоящее время только накапливается. На территории с чернобыльским загрязнением ТУЭ становится актуальным определение параметров накопления, распределения и выведения ^{241}Am и $^{238,239+240}\text{Pu}$ в организме животных для прогнозирования содержания этих радионуклидов в молоке и продуктах убоя скота, имеющих пищевое значение.

В представленной работе приведены результаты научных исследований по определению параметров поступления

^{241}Am и $^{238,239+240}\text{Pu}$ в молоко путем проведения физиологических опытов на лактирующих коровах.

Материал и методы исследований

Опыты проводились на трех группах лактирующих коров-аналогов чернопестрой породы с учетом возраста в отелах, стадии лактации, удоя за предшествующую лактацию и среднесуточного удоя при постановке на опыт.

Первый физиологический опыт (рисунок 1) был проведен на группе коров чернопестрой породы в количестве 4 головы, возраст 5 лет, живой массой 500-550 кг, на 5-ом месяце лактации, в период летне-пастбищного содержания. Рацион кормления подопытных животных состоял из травы пастбищной (злаково-бобовая травосмесь) – 76,3-81,3 % (по питательности), зернофуража собственного производства (овес 30%, ячмень 70%) – 23,7-18,8 % (по питательности). Питательность рациона коров по фактически съеденным кормам составляла в среднем в расчете на 1 кг сухого вещества рациона 1,2-1,3 ЭКЕ; 86,6-93,4 г перевариваемого протеина. Концентрация обменной энергии в расчете на 1 кг сухого вещества рациона составляла 8,3-8,5 МДж. В концентрированный корм (2 кг/гол/сутки) рациона коров этой группы вводилась минеральная почва массой 0,4 кг•сутки⁻¹ (^{241}Am – 348,1 Бк•сутки⁻¹, $^{238,239+240}\text{Pu}$ – 250,8 Бк•сутки⁻¹) и на протяжении 17 суток по утрам проводилось индивидуальное скармливание животным смеси корма с почвенной затравкой. Содержание животных – летне-пастбищное.

Отбор проб кала и молока от каждой коровы в первом физиологическом опыте проводился утром перед началом эксперимента и на 7, 12, 17; 24, 27 сутки.

Второй физиологический опыт (рисунок 2) проводился на группе коров чернопестрой породы в количестве 3 головы, возраст 5 лет, живой массой 480-520 кг, на 4-ом месяце лактации, в период зимне-стойлового содержания. Рацион кормления подопытных животных состоял из сена злакового – 9,5-10,8% (по питательности), силоса кукурузного – 58,3-63,0, зернофуража собственного производства (рожь 40%, овес 40%, ячмень 20%) – 27,5-30,9% (по питательности). Питательность рациона коров по фактически съеденным кормам составляла в среднем в расчете на 1 кг сухого вещества рациона: 0,89-0,95 ЭКЕ; 75,1-82,6 г перевариваемого протеина. Концентрация обменной энергии в расчете на 1 кг сухого вещества рациона составляла 8,9-9,4 МДж. Во втором физиологическом опыте была использована более активная по сравнению с первым опытом почвенная затравка, содержащая ТУЭ. В концентрированный корм (3,9 кг/гол./сутки) рациона коров 2 группы вводилась минеральная почва 0,5 кг•сутки⁻¹ (^{241}Am – 932,5 Бк•сутки⁻¹, $^{238,239+240}\text{Pu}$ – 580,2 Бк•сутки⁻¹) и на протяжении 21 суток по утрам проводилось индивидуальное скармливание животным такой смеси корма с затравкой.

Суточный объем мочи и кала животных 2 группы контролировался на 21-е сутки опыта. Отбор проб кала от каждой коровы проводился на 3, 17, 19, 21, 23, 25 сутки, мочи на 21 сутки опыта.



Рисунок 1 – Схема первого физиологического опыта



Рисунок 2 – Схема второго физиологического опыта



Рисунок 3 – Схема третьего физиологического опыта

Третий физиологический опыт (рисунок 3) проведен на одной лактирующей корове, живая масса 480 кг, возраст 5 лет, средний удой 17,8 кг, в период зимне-стойлового содержания. Рацион кормления животного по составу, входящих в него кормов, и питательности был аналогичным рациону, применяемому во втором физиологическом опыте. Дополнительно в основной рацион опытной коровы вводилась растительная затравка с присутствием ТУЭ – сено многолетних злаковых трав в количестве 3 кг на голову (^{241}Am – 2,5 Бк·сутки⁻¹, $^{238,239+240}\text{Pu}$ – 0,8 Бк·сутки⁻¹). На протяжении 21 суток проводилось ежедневное, индивидуальное скармливание затравки животному.

Поедаемость кормов во всех физиологических опытах определяли путем проведения контрольного кормления, при котором взвешивали заданные корма и их остатки в течение двух смежных дней. Отбор проб молока от каждой коровы во втором и третьем физиологических опытах проводился по завершению опытов на 21 сутки.

Отбор проб почвы и сена для почвенной и растительной затравок животным выполняли на территории зон отчуждения и отселения ЧАЭС. Удельную активность ^{241}Am в образцах почвы и кала определяли гамма-спектрометрическим методом с использованием полупроводникового детектора расширенного энергетического диа-

пазона «Canberra-GX3020» (серия XtRa) по линии 59,5 кэВ [8]. Для унифицированной измерительной геометрии «Дента» минимально-детектируемая активность (МДА) составляла 1 Бк·кг⁻¹ за 24 часа измерений, статистическая погрешность измерений находилась в пределах 20-50 %

Удельную активность ^{241}Am и $^{238,239+240}\text{Pu}$ в биологических образцах мочи, молока, сена и кала (для $^{238,239+240}\text{Pu}$) определяли альфа-спектрометрическим методом путем предварительной радиохимической пробоподготовки и приготовлением счетного образца электролитическим осаждением с использованием альфа-спектрометрического комплекса Alpha Analyst, Canberra, с кремниевым полупроводниковым детектором типа PIPS с энергетическим разрешением < 15 КэВ, эффективностью регистрации – не менее 18 % (для расстояния образец-детектор 5 мм), фоном < 1 импульс/час для энергий более 3 МэВ [9,10]. МДА определения ТУЭ в биологических объектах достигала 1 мБк·кг⁻¹ при использовании оптимальных показателей измерительной (фон, время счета, эффективность регистрации) и аналитической (масса образца, химический выход) процедур.

Результаты исследования

Основными параметрами, характеризующими миграцию радионуклидов в цепочке

рацион-сельскохозяйственные животные-продукция животноводства (молоко, мясо), являются коэффициенты резорбции (всасывания) в желудочно-кишечном тракте (ЖКТ), коэффициенты накопления и коэффициенты перехода [11-13].

Химические свойства элементов существенно влияют на величину резорбции. Всасывание радионуклидов из ЖКТ тесно связано с особенностями их гидроксидов – для щелочных элементов эти соединения являются легкорастворимыми, для щелочно-земельных элементов также достаточно хорошо растворимы, а радионуклиды многих остальных металлов, в т.ч. ТУЭ дают нерастворимые гидроксиды [5, 14]. Труднорастворимые радионуклиды всасываются наиболее плохо [5-7]. При pH 7,0 ионы тяжелых металлов в водной среде образуют коллоидные растворы и нерастворимые комплексные соединения, что обуславливает плохое всасывание в ЖКТ [5]. Вместе с тем, в фундаментальных исследованиях показано, что существуют некоторые комплексные формы ТУЭ, которые могут всасываться значительно быстрее, чем другие соединения этих элементов [15, 16].

Уточненные и пересмотренные в 2009-2010 годах данные по коэффициентам резорбции опубликованы в новых документах МАГАТЭ «Quantification of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments for Radiological Assessments. IAEA-TECDOC-1616» [17] и «Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide

Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments. Technical Reports Series. TRS-472 (Справочник параметров для прогноза транспорта радионуклидов в регионах с умеренным климатом)» [18]. Для жвачных животных экспертами МАГАТЭ основные радионуклиды разделены по различным группам резорбции, согласно которым коэффициенты резорбции ТУЭ (америция и плутония) могут различаться в 1-100 раз [11, 17].

Коэффициент перехода из корма в молоко определяется как отношение содержания радионуклида в продукции к суточному потреблению его с кормом, выраженное в % (для равновесных условий). В документах МАГАТЭ [17, 18] и зарубежных публикациях [19, 20] коэффициент перехода в молоко определяют по выражению 1.

Современная база данных МАГАТЭ по параметрам миграции радионуклидов в животноводческой цепочке включает информацию из доступных литературных источников. К настоящему времени обобщены результаты из 292 публикаций, а также данные, включенные в переизданный МАГАТЭ в 2010 году «Справочник параметров для прогноза транспорта радионуклидов в регионах с умеренным климатом» [18], и данные, обобщенные и проанализированные в публикациях [21, 22]. Анализ базы данных показал широкий диапазон варьирования всех параметров переноса радионуклидов, в том числе для отдельного изотопа, вида и возраста животного. Информация о коэффициентах перехода америция и

$$F_m (\text{сутки} \times \text{л}^{-1}) = \frac{\text{Удельная активность радионуклида в молоке (Бк} \times \text{л}^{-1})}{\text{Активность радионуклида в корме (Бк} \times \text{сутки}^{-1})} \quad (1)$$

Таблица 1 – Коэффициенты перехода радионуклидов в молоко коров $F_m(\text{сутки} \times \text{л}^{-1})$

Элемент	Число данных	GM	GSD	AM	SD	Мин	Макс
Cs	288	$4,6 \times 10^{-3}$	2,0	$6,1 \times 10^{-3}$	$6,3 \times 10^{-3}$	$6,0 \times 10^{-4}$	$6,8 \times 10^{-2}$
Sr	154	$1,3 \times 10^{-3}$	1,7	$1,5 \times 10^{-3}$	$8,1 \times 10^{-4}$	$3,4 \times 10^{-4}$	$4,3 \times 10^{-3}$
Am	1			$4,2 \times 10^{-7}$			
Pu	Рекомендация МАГАТЭ			1×10^{-5}			

Примечание: GM – среднее геометрическое; GSD – стандартное геометрическое отклонение; AM – среднее арифметическое; SD – стандартное отклонение.

плутония, а также цезия и стронция в формате базы данных, сформированной МАГАТЭ [12, 17, 18], приведены в таблице 1.

Как следует из таблицы 1, к настоящему времени накоплен существенный объем данных о параметрах перехода радионуклидов цезия и стронция в молоко

коров и имеется лишь фрагментарная информация для америция и плутония. Более того, согласно международным данным, несмотря на то, что резорбция америция (10^{-4} - 10^{-3}) на порядок величины выше резорбции плутония (10^{-5} - 10^{-4}) [17], коэффициенты перехода америция в молоко на два порядка величины ниже коэффициентов перехода плутония (таблица 1), что трудно объяснить в рамках существующих представлений о поведении радионуклидов в трофической цепи рацион-животное-продукция животноводства.

В физиологических опытах 2010 года для снижения неопределённости оценки содержания ^{241}Am и $^{238,239+240}\text{Pu}$ в биологических пробах, поступление ТУЭ в организм КРС осуществлялось в концентрациях, которые в сотни раз превышают их величины в реальных условиях содержания и кормления животных на территории Республики Беларусь. Размеры суточных затравок ТУЭ животным представлены на рисунке 4.

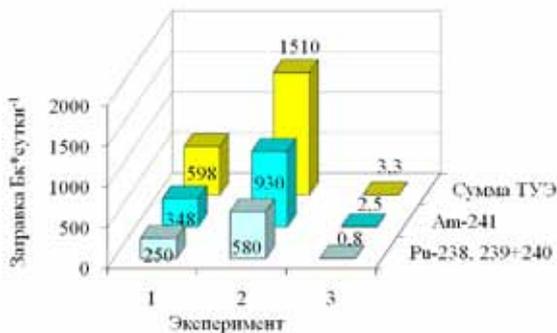


Рисунок 4 – Суточная затравка ТУЭ, поступающая в организм лактирующих коров 1 – первый эксперимент (почвенная затравка, 17 суток); 2 – второй эксперимент (почвенная затравка, 21 сутки); 3 – третий эксперимент (растительная затравка, 21 сутки)

По сравнению с первым опытом для группы коров второго физиологического опыта суточная активность ТУЭ, поступающая с почвенной затравкой, была увеличена с 600 Бк до 1500 Бк (рисунок 4).

Контроль выведения ТУЭ из организма животных в первом и втором физиологических опытах проводился по калу (рисунок 5) и моче животных (таблица 2). Изото-

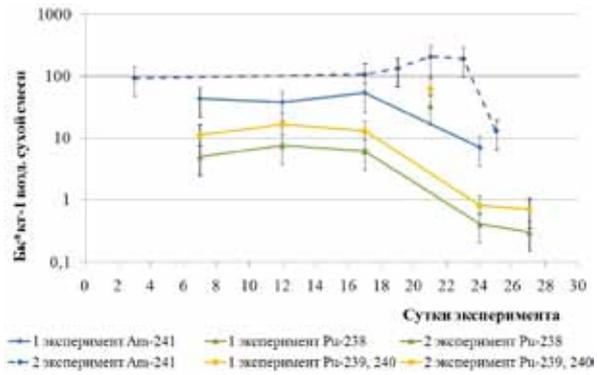


Рисунок 5 – Динамика удельной активности ТУЭ в кале коров (затравка в первом опыте прекращена на 17 сутки, во втором опыте – на 21 сутки) плутония во втором опыте контролировались только на пике поступления затравки (на 21 сутки).

Содержание ^{241}Am и изотопов плутония в пробах мочи коров контролировалось для животных второго физиологического опыта и составляло единицы мБк·л⁻¹. Результаты определения удельной активности ^{241}Am и $^{238,239+240}\text{Pu}$ в моче коров представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Удельная активность ^{241}Am и изотопов плутония в пробах мочи коров, второй физиологический эксперимент

Число данных	^{238}Pu , мБк·л ⁻¹		$^{239,240}\text{Pu}$, мБк·л ⁻¹		^{241}Am , мБк·л ⁻¹	
	АМ	Диапазон	АМ	Диапазон	АМ	Диапазон
3	4,4	2,2-6,9	7,2	3,6-9,3	7,2	4,4-9,1

Присутствие активности ТУЭ в пробах мочи животных может быть обусловлено как метаболизмом этих радионуклидов в организме, так и загрязнением фекалиями. Возможность такого загрязнения биологических проб КРС и, как следствие, завышение результатов, предполагают и авторы работы [19] при обсуждении эксперимента, проведенного на территории зоны отчуждения Украины. Тем не менее, достаточно высокие наблюдаемые уровни содержания ТУЭ в кале и моче коров свидетельствуют о выраженных процессах экскреции этих радионуклидов из организма животных. Экскреция с калом – результат проникновения и транзита активности через кишечник, а также с секреторными выделения-

ми в кишечник тех ТУЭ, которые преодолели барьер резорбции ЖКТ и поступили во внутренние среды организма животных. Экскреция с мочой обусловлена ультрафильтрацией через почки актиноидно-цитратных комплексов, образованных ТУЭ в крови. Известные ранее эксперименты на кроликах и крысах показали, что америций может экскретироваться с мочой в больших количествах, чем плутоний [23, 24].

Применение более активной затравки во втором физиологическом опыте с лактирующими коровами, а также использование оптимальных показателей измерительной и аналитической процедур позволило добиться регистрируемых уровней удельной активности плутония в молоке второй опытной группы коров. Определение удельной активности ^{241}Am и $^{238,239+240}\text{Pu}$ в пробах молока проводилось на пике поступления затравки (таблица 3). Содержание ТУЭ в молоке коров, получающих менее активную почвенную затравку и растительную затравку (рисунок 4), а также удельная активность ^{241}Am в молоке коров всех групп животных были ниже достигнутой МДА.

Таблица 3 – Удельная активность ^{241}Am и $^{238,239+240}\text{Pu}$ в пробах молока опытных коров на пике поступления затравки, второй физиологический опыт (почвенная затравка)

Номер животного	^{238}Pu , мБк·л ⁻¹	$^{239+240}\text{Pu}$, мБк·л ⁻¹	^{241}Am , мБк·л ⁻¹
№1	0,9±0,6 <0,6	0,7±0,5 1,0±0,6	<1,9
№2	<0,4 <0,7	<0,4 <0,7	
№3	<0,5 <0,4	<0,2 0,8±0,4	

Коэффициент перехода $^{238+239+240}\text{Pu}$ из почвенного компонента рациона в молоко, соответствующий продолжительности и условиям скармливания ТУЭ в физиологических опытах, а также возрасту коров, рассчитан в соответствии с выражением (1) и составил $2,8 \cdot 10^{-6}$ ($8,6 \cdot 10^{-7} \div 4,7 \cdot 10^{-6}$) сутки·л⁻¹. Величины перехода плутония в молоко сопоставимы со значениями $(7,5 \pm 6,8) \cdot 10^{-6}$ сутки·л⁻¹, полученными для $^{239+240}\text{Pu}$ в экспериментах с двумя группа-

ми лактирующих коров, которые в течение 56 суток летом 1993 года содержались и потребляли травяные корма на территории украинского сектора зоны отчуждения ЧАЭС [19]. Возможный переход ^{241}Am в молоко коров, потреблявших тогда корма с присутствием не только плутония, но и всего чернобыльского состава ТУЭ, в работе не анализировался.

Содержание ^{241}Am во всех пробах молока, отобранных в физиологических опытах 2010 года, оказалось меньше пределов обнаружения (МДА) применяемых средств измерений, поэтому консервативно коэффициент перехода ^{241}Am из почвенного компонента рациона в молоко опытных коров можно оценить, используя вместо данных удельной активности величину МДА из таблицы 3. В этом случае в соответствии с выражением (1) для суточной затравки ^{241}Am (932,5 Бк), применяемой для коров во втором физиологическом опыте, рассчитанный коэффициент перехода в молоко составил $2,0 \cdot 10^{-6}$ сутки·л⁻¹. Этот параметр на порядок величины выше, чем приведенный для ^{241}Am в справочнике МАГАТЭ (таблица 1)

единичный коэффициент перехода, равный $4,2 \cdot 10^{-7}$ сутки·л⁻¹. Если предположить переход ^{241}Am в молоко на уровне справочных данных, то ожидаемая активность в молоке опытных коров должна быть на порядок величины ниже пределов обнаружения (МДА) применяемых средств измерений.

Из опубликованных ранее источников научной литературы известны другие данные по переходу ТУЭ в организм лактирующих коров, полученные Невадской группой прикладной экологии в основном за период 1974-1978 гг. путем проведения экспериментов с использованием оральных или внутривенных затравок ^{238}Pu , ^{239}Pu в виде цитрата или диоксида, ^{241}Am в виде хлорида [25]. Продолжительность введения затравок в этих экспериментах не превышала

19 суток. Большая часть исследований проведена с использованием разовых затравок. Коэффициент перехода плутония в молоко коров, полученный в экспериментах невадской группы при суточной затравке животным орально в течение 19 дней диоксидом плутония составил на пике поступления затравки $2,7 \cdot 10^{-9}$ сутки·л⁻¹ [19].

Диапазон коэффициентов перехода плутония в молоко коров, полученный в физиологических опытах 2010 года с животными, результаты украинских и невадских опытов, а так же рекомендованный МАГАТЭ диапазон, приведены на рисунке 6. Во всех экспериментах животные получали ТУЭ оральным путем: чистый плутоний 19 суток в виде диоксида - Невада, плутоний 56 суток в смеси ТУЭ с пастбищной травой на территории зоны отчуждения ЧАЭС в Украине, плутоний 21 сутки в смеси ТУЭ с матрицей минеральной почвы, отобранной на территории зоны отчуждения ЧАЭС в Беларуси.

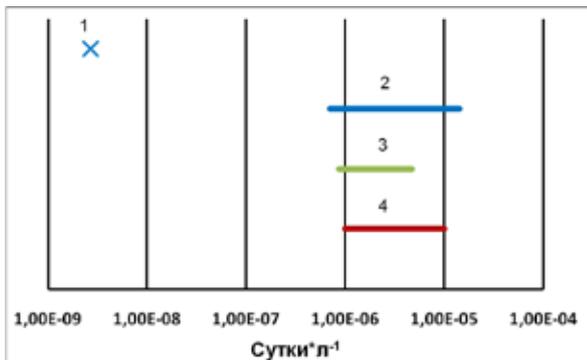


Рисунок 6 – Коэффициенты перехода плутония в молоко коров, полученные в физиологических экспериментах с ТУЭ 1 (сверху вниз) – в Неваде (1974-1978 гг.) [19, 25]; 2 – в Украине (1993 г.) [19]; 3 – в Беларуси (2010 г.); 4 – рекомендации МАГАТЭ (2010 г.) [18, 19]

Рекомендуемый МАГАТЭ [18,19] консервативный коэффициент перехода плутония в молоко коров – $1 \cdot 10^{-6}$ сутки·л⁻¹ приведен для животных, которые находились на выпасе только один пастбищный период. Для животных, которые находились на выпасе типичный для коров период 6 лет, рекомендуется на порядок величи-

ны больший коэффициент перехода плутония – $1 \cdot 10^{-5}$ сутки·л⁻¹. Эксперты признают, что при хроническом поступлении ТУЭ в организм лактирующих животных продолжительности их жизни недостаточно для установления равновесия между поступлением ТУЭ в организм и переходом их в молоко, как это происходит для основного дозобразующего радионуклида чернобыльских выпадений ¹³⁷Cs (рисунок 6).

Заключение

Международная научная общественность подтверждает необходимость дифференцированного подхода к оценке поступления ТУЭ в продукцию животноводства и, тем самым, актуальность разработки и применения математических моделей для решения этих задач. Уровень загрязнения молока трансурановыми элементами существенно зависит от продолжительности потребления радиоактивных кормов. Даже при хроническом поступлении ТУЭ в организм животного продолжительности жизни коров недостаточно для установления равновесия между процессами поступления радионуклидов и их выведения с продуктами жизнедеятельности. Поэтому описывать данные процессы с помощью постоянных коэффициентов перехода не имеет смысла. Можно лишь оценить эти коэффициенты для частного случая (например, для заданной продолжительности скармливания).

Важным и малоизученным путём поступления ТУЭ в пищевые продукты животного происхождения является укороченная пищевая цепочка «почвенный компонент рациона-животное». В представленной работе проведена оценка параметров миграции трансурановых элементов чернобыльского происхождения для почвенно-климатических условий Белорусского Полесья при продолжительности скармливания три недели. Результаты эксперимента показали, что коэффициенты перехода плутония чернобыльского происхождения в молоко коров ($8,6 \cdot 10^{-7} \div 4,7 \cdot 10^{-6}$ сутки·л⁻¹) на территории Белорусского Полесья могут превышать консервативный уровень $1 \cdot 10^{-6}$

сутки·л⁻¹, рекомендуемый МАГАТЭ для одного пастбищного периода. Содержание ²⁴¹Am в молоке коров оказалось меньше пределов обнаружения применяемых средств измерений (МДА = 1,9 мБк·л⁻¹), поэтому консервативная оценка коэффициента перехода ²⁴¹Am в молоко не превысит уровень 2,0·10⁻⁶ сутки·л⁻¹. Следует также отметить, что более высокие коэффициенты перехода для плутония были получены международной группой исследователей на территории Украинского Полесья.

В общем случае для прогнозирования уровней загрязнения ТУЭ продукции животноводства необходимо применять расчетные методы. Перспективным рассматривается построение компьютерно-ориентированных биодинамических моделей, которые позволят прогнозировать загрязнение продукции животноводства ТУЭ, включая молоко, а также органов и тканей сельскохозяйственных животных, имеющие пищевое значение, для производственных сценариев поступления радионуклидов с рационом (по срокам и продолжительности скармливания, уровням загрязнения кормов, с учётом возрастных и видовых особенностей животных). В этом случае экспериментальные задачи сводятся к определению параметров модели.

Библиографический список

1. ГН 2.6.1.8-127-2000 Нормы радиационной безопасности (НРБ-2000) / Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. 2000, №35. 8/3037.
2. Ingested soil as source of ¹³⁷Cs to ruminants / M. Belli [et al.] // The Science of the Total Environment. – 1993. – V. 136. – P. 243-249.
3. Оценка параметров перехода радионуклидов из почвенных частиц и растительной компоненты верхнего слоя дернины в молоко крупного рогатого скота в условиях пастбищного содержания / В.С. Аверин [и др.] // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2002. – Т.42, №4. – С. 429-432.
4. Калиниченко, С.А. Прогноз содержания радионуклидов в молоке крупного рогатого скота с учетом почвенной

компоненты рациона / С.А. Калиниченко, В.С. Аверин // Вести НАН Беларуси. Сер. аграрных наук. – 2007. – № 4. – С. 81-86.

5. 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.

6. Пути миграции искусственных радионуклидов в окружающей среде. Радиоэкология после Чернобыля / Л.Дж. Апplibи [и др.]; пер. с англ. под ред. Ф. Уорнера и Р. Харрисона. – М.: Мир, 1999. – 512 с.

7. Cawse, P.A. The accumulation of ¹³⁷Cs and ^{239,240}Pu in soils of Great Britain, And transferr to vegetation / P.A. Cawse, edited by P.J. Cougtray // Ecological aspects of radionuclide release. Special publication number 3 of the British ecological society. – Boston: Blackwell scientific publications, 1983. – P 47-63.

8. Методика выполнения измерений на гамма-спектрометре: Активность радионуклидов в объемных образцах: МИ 2143-91. – М.: НПО ВНИИФТРИ, 1991. – 11 с.

9. МВИ. МН 3059-2008 Методика альфа-спектрометрического определения удельной активности изотопов плутония (²³⁸Pu, ^{239,240}Pu) в почвах и растениях с получением счетного образца методом электролитического осаждения, утв. 10.2008 РНИУП «Институт радиологии», согл. 16.12.2008 г. Комитет по стандартизации, метрологии и сертификации РБ.

10. МВИ. МН 3621-2010. Методика альфа-спектрометрического определения ²⁴¹Am в почвах и растениях с предварительной радиохимической пробоподготовкой и получением счетного образца электроосаждением, утв. 08.2010 РНИУП «Институт радиологии», согл. 25.10.2010г. РУП «Белорусский государственный институт метрологии».

11. Quantifying the transfer of radionuclides to food products from domestic farm animals / B.J. Howard [et al.] // J. Environ. Radioactivity. – 2009. – № 100. – P. 767-773.

12. Пересмотр параметров миграции радионуклидов в агроэкосистемах / Санжа-

- рова Н.И. [и др.] // Радиационная биология. Радиационная экология. – 2009. – Т. 49, №3. – С. 268-276.
13. Основы сельскохозяйственной радиологии / Б.С. Пристер [и др.]. – К.: Урожай, 1991. – 472 с.
14. Сапожников, Ю.А. Радиоактивность окружающей среды. Теория и практика / Ю.А. Сапожников, Р.А. Алиев, С.Н. Калмыков. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 286 с.
15. Трансурановые элементы в окружающей среде / У. С. Хэнсон и [др.]; пер. с англ. под ред. Р.М. Алексахина. – М.: Энергоиздат, 1985. – 344 с.
16. Надыкто, Б.А. Плутоний. Фундаментальные проблемы: В 2-х ч. Ч.1. / Пер. с англ. / Б.А. Надыкто, Л.Ф. Тимофеева. – Саратов: «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2003. – 293 с.
17. International Atomic Energy Agency (IAEA) Quantification of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments for Radiological Assessments. / IAEA-TECDOC-1616. – Vienna: IAEA, 2009. – 307 p.
18. International Atomic Energy Agency (IAEA) Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments. / Technical Reports Series. TRS-472. – Vienna: IAEA, 2010. – 208 p.
19. The transfer of $^{239/240}\text{Pu}$ to cow milk / B.J. Howard [et al.] // Journal of Environmental Radioactivity. – 2007. – V. 98. – P. 191-204.
20. Higley, K.A. Generic approaches to transfer / K.A. Higley, D.P. Bytwerk // J. Environ. Radioact. – 2007. – V. 98. – P. 4-23.
21. Review of Russian language studies on radionuclide behaviour in agricultural animals: part 1. Gut absorption / S. Fesenko [et al.] // Journal of Environmental Radioactivity. – 2007. – V. 98. – P. 85-103.
22. Review of Russian language studies on radionuclide behaviour in agricultural animals: part 2. Transfer to milk / S. Fesenko [et al.] // Journal of Environmental Radioactivity. – 2007. – V. 98. – P. 104-136.
23. Швыдко, Н.С. Физико-химическое состояние и обмен плутония и америция в организме / Н.С. Швыдко, Н.П. Иванова, С.И. Рушоник. – М.: Энергоатомиздат. – 1987. – 144 с.
24. Проблемы радиобиологии ^{238}Pu / Ю.И. Москалев [и др.]. – М.: Энергоатомиздат. – 1990. – 168 с.
25. Metabolism of americium-241 in dairy animals. / W.W. Sutton [et al.]. – EMSL-LV-0539-22, S Environmental Protection Agency, Las Vegas, Nevada. – 1978. – 24 p.

V.S. Averin, K.N. Buzdalkin, A.A. Tsarenok, S.A. Tagai,
A.B. Kukhtsevich, I.V. Makarovets, E.K. Nilova

TRANSFER OF TRANSURANIC ELEMENTS TO COW MILK

Herbage and soil-based components contaminated with transuranic elements were added into the diet of lactating cows in physiological experiments carried out during the study. The dietary mixtures were prepared of soil and plants taken from the territory contaminated as the result of the Chernobyl NPP accident. Concentration levels of plutonium isotopes in cow milk have been determined. Conservative estimate of $^{238,239+240}\text{Pu}$ and ^{241}Am intake through the «soil component-milk» biological chain has been performed.

Key words: Soil, milk, americium, plutonium, transfer factors

Поступила 10.03.11