

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 опублико-
вания 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. Коротаяев 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., Квашнак Е., Шута Д., Костргун 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

Rumyantseva 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	<i>Mostovenko A.L., Karpenko A.F.</i> 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

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПОДВИЖНОСТЬ ПЛУТОНИЯ И АМЕРИЦИЯ ЧЕРНОБЫЛЬСКОГО ВЫБРОСА В ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОМ ПОКРОВЕ

УО «Белорусский государственный университет», Минск, Беларусь

Изучены физико-химические формы нахождения $^{239,240}\text{Pu}$ и ^{241}Am в образцах почв, загрязненных радионуклидами чернобыльского выброса. Установлен запас $^{239,240}\text{Pu}$ и ^{241}Am в мобильных и потенциально биологически доступных формах в почвах различного генезиса. С помощью коэффициента межфазного распределения (K_d) радионуклидов охарактеризована сорбционная способность почв по отношению к $^{239,240}\text{Pu}$ и ^{241}Am . По величинам коэффициентов перехода (КП) $^{239,240}\text{Pu}$ и ^{241}Am из почвы в наземную часть растения оценена доступность этих радионуклидов различным видам луговой растительности. Полученные данные позволили оценить миграционную способность плутония и америция в почвенно-растительном комплексе природных экосистем Беларуси.

Ключевые слова: плутоний, америций, биологическая доступность

Введение

В настоящее время в результате поступления радионуклидов чернобыльского выброса в окружающую среду значительная часть юго-восточной территории Беларуси загрязнена альфа-излучающими радионуклидами ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu и ^{241}Am с соответствующими периодами полураспада 87,7, 24 120, 6 540 и 433 года, соответственно. Вследствие значительной энергии испускаемых альфа-частиц, продолжительных эффективных периодов полувыведения, высокой химической токсичности эти радионуклиды относятся к числу наиболее биологически опасных при поступлении в организм человека.

С момента попадания трансурановых элементов (ТУЭ) в окружающую среду содержание ^{241}Am в различных объектах экосистем продолжает возрастать в результате бета-распада ^{241}Pu (период полураспада 14,4 года), который в первоначальных радиоактивных выпадениях присутствовал в преобладающем количестве среди других изотопов плутония. Это увеличение будет наблюдаться до 2058 года. Дальнейший альфа-распад ^{241}Am приведет к образованию альфа-излучающего ^{237}Np (период полураспада $2,1 \cdot 10^6$ лет), который бу-

дет играть существенную роль в формировании радиационной обстановки в зоне загрязнения ТУЭ [1, 2].

В настоящее время, когда первоначальные формы выпадения ТУЭ существенно трансформировались в результате разрушения включавших их топливных частиц, необходима информация о современном состоянии и миграционной способности плутония и америция в почвенно-растительном покрове [3].

Одним из наиболее важных факторов, определяющих поведение $^{239,240}\text{Pu}$ и ^{241}Am в наземных экосистемах, является соотношение мобильных и малоподвижных форм радионуклидов в почвах. Формы нахождения радионуклидов оказывают определяющее влияние на их перераспределение по почвенному профилю, поступление в почвенные, подземные и поверхностные воды, а также в пищевые цепи человека через звено «почва – растение» [4, 5].

Данная работа посвящена анализу радиационно-экологической ситуации в природных луговых экосистемах после катастрофы на ЧАЭС по результатам комплексного изучения физико-химического состояния в почве и миграционной способности радионуклидов $^{239,240}\text{Pu}$ и ^{241}Am в почвенно-растительном покрове.

Материал и методы исследования

Объектами исследования являлись образцы 0-20 см слоев минеральных и органических почв и растительности преимущественно осоково-злаковой ассоциации (*Elytregia repens*, *Cladina arbureula*, *Corynephorus canescens*, *Dactylis glomerata*, *Carex acuta*, *Cirsium arvense*, *Conium*, *Festuca pratensis*). Образцы почв и растений отбирались на территории природных комплексов в 2008-2009 годах. Контрольные участки с различными видами почвенного покрова, загрязненные радионуклидами чернобыльского выброса, расположены в Гомельской области на расстоянии 15-260 км от ЧАЭС.

Запас плутония и америция в почвах в миграционноактивных формах оценивали по содержанию радионуклидов в поровой влаге водонасыщенных образцов почв, находящихся в состоянии межфазного равновесия [6]. Поровую влагу из почвенных образцов извлекали методом высокоскоростного центрифугирования на установке SIGMA-4-10. Запас радионуклидов в подвижных (обратно связанных с составляющими почвенного комплекса) формах устанавливали посредством экстрагирования радионуклидов раствором ацетата аммония (1 моль/дм³, pH 7), а запас радионуклидов в потенциально биологически доступных формах – раствором HCl (1 моль/дм³), который имитирует условия, существующие в почвенной среде на границе с корневой системой растений [7].

Содержание ^{239,240}Pu и ²⁴¹Am в образцах почв, растительности и почвенных растворов определяли методом радиохимического анализа с регистрацией α -излучения радионуклидов низкофоновыми детекторами 576 А-600 RV на установке ALPHA KING 676 А [8].

Основные агрохимические характеристики почв, которые могут оказывать влияние на состояние и миграционную способность радионуклидов, определяли по стандартным методикам.

Результаты исследования

Местоположение участков и характеристики изученных почв приведены в таблице 1.

В результате исследования установлено, что удельная активность почвенных образцов составляет 3,2-120 Бк/кг по ^{239,240}Pu и 5,4-210 Бк/кг по ²⁴¹Am.

Важную роль в поступлении радионуклидов в грунтовые, поверхностные воды и растения играют радионуклиды в миграционноактивных формах, которые концентрируются в почвенных поровых растворах. Удельная активность поровых вод, выделенных из изученных образцов почв, составляет 0,0013-0,32 Бк/кг по ^{239,240}Pu и 0,0023-1,02 Бк/кг по ²⁴¹Am. С учетом полной влагоемкости почвенных образцов по этим данным определено относительное содержание радионуклидов в составе поровой влаги почв, которое соответствует запасу в почвах радионуклидов в миграционноактивной форме. В 0-20 см слое почв запас ^{239,240}Pu и ²⁴¹Am в миграционноактивных формах не превышает 1,2% от общего количества радионуклида в почве и в большинстве случаев составляет 0,05-0,2%.

Как показали результаты исследования, основная часть радионуклидов (более 90% плутония и 85% америция) находится в почве в малоподвижном состоянии. Запас плутония и америция в мобильных (миграционноактивных и обратно связанных) формах не превышает соответственно 9,2% и 12,5%, причем доля америция в этой форме, как правило, выше, чем плутония. Среднее относительное содержание плутония и америция в мобильных формах в образцах почв различного типа приведено на рисунке 1.

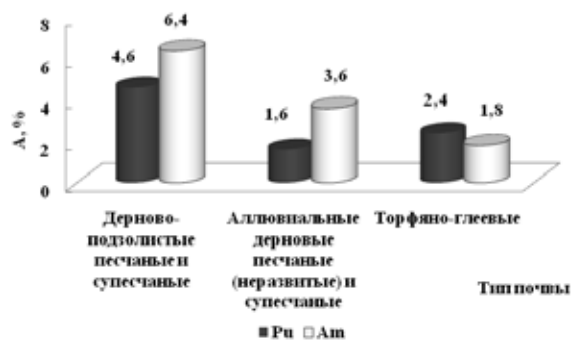


Рисунок 1 – Среднее относительное содержание ^{239,240}Pu и ²⁴¹Am в мобильных формах (A, % от общего содержания радионуклида в почве) в почвах

Таблица 1 – Характеристики почвенных образцов

Участок	Местоположение участка	Тип почвы	ПВ, %	ОК, %	ЕКО, ммоль/кг	pH _{KCl}
ДПП-2	51°34'35" с.ш.; 29°58'43" в.д.	Дерново-подзолистая песчаная	34 ± 3	1,1 ± 0,1	43 ± 5	4,3
ДПП-3	51°47'51" с.ш.; 29°47'01" в.д.	Дерново-подзолистая песчаная	38 ± 3	1,4 ± 0,1	146 ± 10	4,4
ДПП-5	51°33'35" с.ш.; 29°54'05" в.д.	Дерново-подзолистая песчаная	27 ± 3	1,0 ± 0,1	35 ± 3	4,0
ДПП-9	51°35'36" с.ш.; 29°55'10" в.д.	Дерново-подзолистая песчаная	42 ± 4	1,5 ± 0,1	53 ± 6	4,6
ДПСп-1	51°31'06" с.ш.; 30°01'18" в.д.	Дерново-подзолистая супесчаная	48 ± 3	2,9 ± 0,2	59 ± 5	5,4
ДПСп-6	51°36'30" с.ш.; 29°51'28" в.д.	Дерново-подзолистая супесчаная	60 ± 6	7,4 ± 0,4	166 ± 10	5,8
ДПСп-7	51°36'45" с.ш.; 29°51'14" в.д.	Дерново-подзолистая супесчаная	56 ± 4	2,5 ± 0,2	64 ± 6	4,6
ДПСп-8	51°32'12" с.ш.; 29°56'20" в.д.	Дерново-подзолистая супесчаная	54 ± 5	1,4 ± 0,1	72 ± 5	4,3
Д-1	51°46'31" с.ш.; 29°42'26" в.д.	Аллювиальная дерновая супесчаная	79 ± 6	13 ± 1	350 ± 6	5,7
Д-2	51°32'33" с.ш.; 29°52'44" в.д.	Аллювиальная дерновая супесчаная	84 ± 4	8,4 ± 0,4	150 ± 7	4,9
Д-3	51°35'30" с.ш.; 29°50'51" в.д.	Аллювиальная дерново- глеевая песчаная	64 ± 4	5,2 ± 0,4	112 ± 8	4,6
Д-4	51°35'29,9" с.ш.; 29°50'50,7" в.д.	Аллювиальная дерново- подзолистая песчаная	33 ± 4	1,1 ± 0,1	89 ± 9	4,3
Т-1	51°34'22" с.ш.; 30°05'18" в.д.	Торфяно-глеевая	270 ± 20	49 ± 3	580 ± 30	4,4
Т-2	51°36'45" с.ш.; 29°51'14" в.д.	Торфяно-болотная	560 ± 50	69 ± 7	740 ± 40	3,9
Т-3	51°36'09" с.ш.; 29°59'40" в.д.	Торфяная	380 ± 40	42 ± 2	780 ± 40	3,5
Т-4	51°47'23" с.ш. 29°48'13" в.д.	Торфянистая	78 ± 6	18 ± 2	460 ± 20	6,2
Т-9	51°36'10" с.ш. 29°59'03" в.д.	Торфяно-болотная	640 ± 30	75 ± 3	840 ± 50	3,7

Примечание: ПВ (% от массы абсолютно сухой почвы) – полная влагоемкость почвенных образцов, соответствующая максимальному количеству поровой влаги, удерживаемой поверхностью почвенных частиц, ОК (% от массы абсолютно сухой почвы) – содержание органических компонентов, ЕКО (ммоль/кг абсолютно сухой почвы) – емкость катионного обмена, pH_{KCl} – pH почвенной суспензии в растворе KCl (1 моль/дм³).

В соответствии с уменьшением среднего запаса ^{239,240}Pu и ²⁴¹Am в мобильных формах изученные типы почв могут быть расположены в следующей последовательности: дерново-подзолистые песчаные и супесчаные (4,6 и 6,4 %) – аллювиальные дерновые (2,6 и 3,6 %) – торфяно-глеевые (1,4 и 1,8 % от количества соответствующего радионуклида в почве).

Установлено, что запас плутония и америция, способных поступать в почвен-

ные растворы в области корневого питания растений, в торфяных почвах находится в пределах 4-18 %, а в дерново-подзолистых песчаных – 14-29 %. В ряде случаев наблюдается более значительный запас в почвах америция в указанных формах, чем плутония, что способствует более высокой интенсивности накопления америция растениями. Эти различия, как правило, более ярко выражены в экосистемах с дерново-подзолистыми и дерновыми почвами.

Способность почв удерживать радионуклиды оценена по величине коэффициента распределения (K_d), который представляет собой отношение между удельными активностями твердой фазы и порового раствора почвы в состоянии равновесия:

$$K_d = \frac{A_{m.ф.}}{A_{n.p.}} \quad (1)$$

где

$A_{m.ф.}$ – удельная активность твердой фазы почвы, Бк/кг;

$A_{n.p.}$ – удельная активность почвенного порового раствора, Бк/кг.

Большому значению коэффициента K_d соответствует более высокая сорбционная степень закрепления радионуклида в почве, и, следовательно, меньшая миграционная способность радионуклида в почвенно-растительном покрове [8]. Значения коэффициента K_d для исследованных образцов почв приведены на рисунке 2.

Из полученных данных следует, что самые низкие коэффициенты K_d характерны для дерново-подзолистых песчаных почв (120-180 для $^{239,240}\text{Pu}$ и 70-150 для ^{241}Am). В остальных минеральных почвах коэффициенты K_d заметно выше: 240-1 240 для $^{239,240}\text{Pu}$ и 180-700 для ^{241}Am . Большинство органических почв отличается высокой сорбционной способностью по отношению к $^{239,240}\text{Pu}$ и ^{241}Am (K_d достигает 4 300). В целом, сорбционная способность минеральных почв по отношению к $^{239,240}\text{Pu}$ выше, чем по отношению к ^{241}Am .

Биологическую доступность $^{239,240}\text{Pu}$ и ^{241}Am оценивали по величинам коэффициентов перехода (КП, м²/кг) радионуклидов из почвы в надземную часть растений:

$$КП = \frac{A_P}{A_{П.}} \quad (2)$$

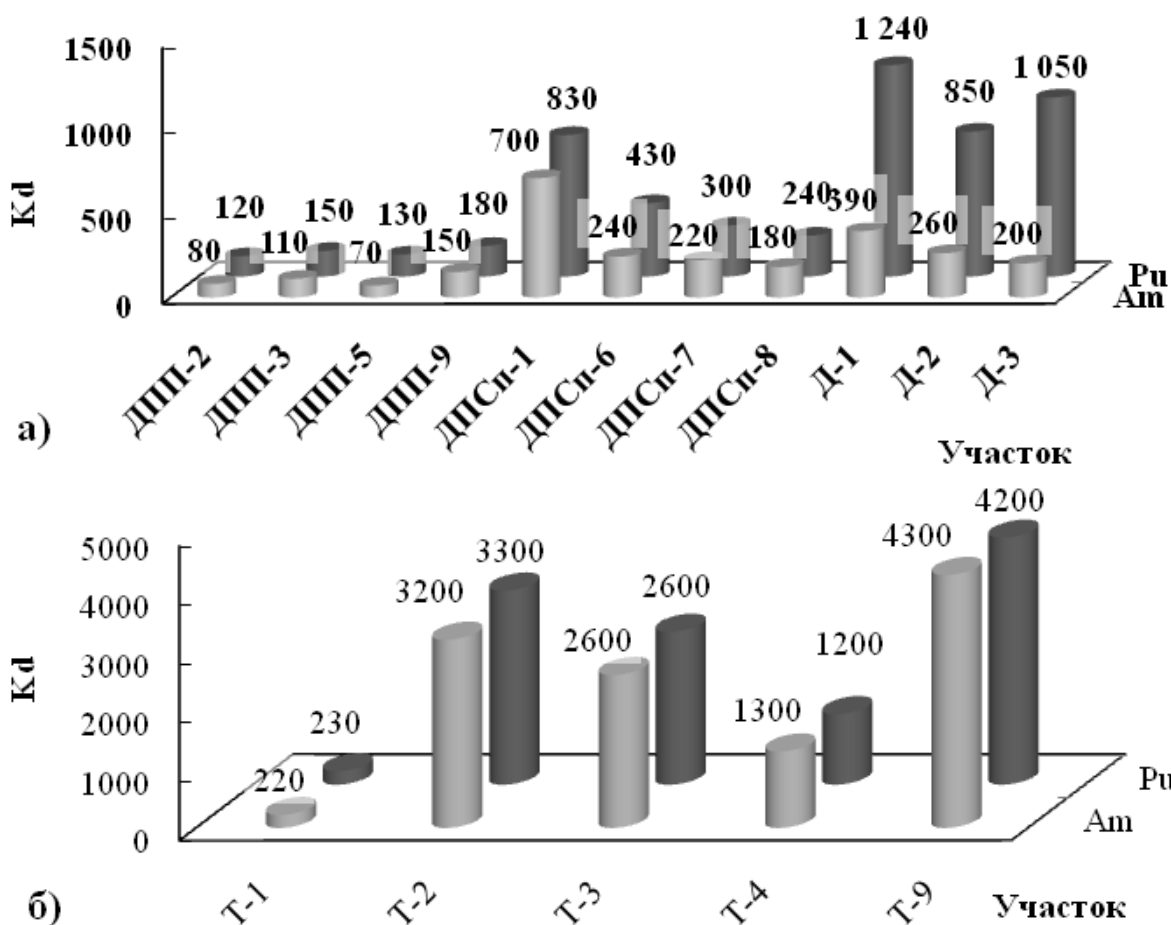


Рисунок 2 – Коэффициент распределения K_d $^{239,240}\text{Pu}$ и ^{241}Am для образцов а) минеральных и б) органических почв

где

A_p – удельная активность сухого образца растительности, Бк/кг;

A_{II} – плотность загрязнения почвы рассматриваемым радионуклидом, Бк/м².

Значение КП определяется видовой принадлежностью растения, типом почвы, на которой оно произрастает, и содержанием радионуклида в почве. При уровнях загрязнения почв 0,9-26 кБк/м² по ^{239,240}Pu и 1,5-45 кБк/м² по ²⁴¹Am величины КП радионуклидов для изученных видов растительности варьируют в интервале от $7 \cdot 10^{-5}$ до $1,5 \cdot 10^{-3}$ м²/кг. Влияние почвенной среды на биологическую доступность радионуклидов проанализировано на примере осоки острой (*Carex acuta*). Соответствующие данные приведены на рисунке 3.

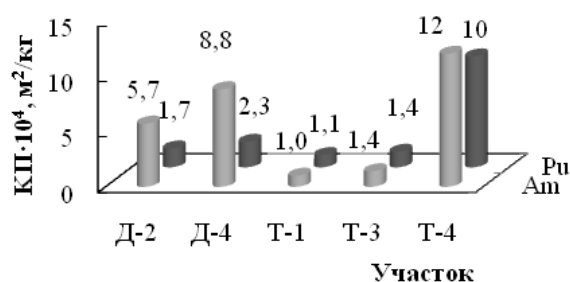


Рисунок 3 – Коэффициенты перехода (КП, м²/кг) ^{239,240}Pu и ²⁴¹Am для произрастающей на различных почвах осоки острой (*Carex acuta*)

Коэффициенты перехода радионуклидов в близкие виды растительности из торфяных почв уступают соответствующим коэффициентам перехода из минеральных почв. По биологической доступности растениям америций нередко превосходит плутоний, что может быть обусловлено более значительным запасом мобильных и потенциально биологически доступных форм америция в почвах.

Сравнение полученных данных с результатами определения форм нахождения и КП ^{239,240}Pu и ²⁴¹Am из однотипных почв в наземную часть растений одинаковой видовой принадлежности в 1997-1998 годах [6] показывает, что за прошедший период в пределах изученных участков не произошло существенных изменений соотношения мобильных и малоподвижных форм

плутония и америция в почве и их биологической доступности. В 2008-2009 величины КП ^{239,240}Pu и ²⁴¹Am из почвы в растения, а также соотношение их мобильных и малоподвижных форм в почвах практически сохранились на уровне 1997-1998 годов, их изменения не выходили за рамки неопределенностей установленных параметров. Уровни же загрязнения почвенных и растительных образцов ²⁴¹Am увеличились в результате распада ²⁴¹Pu.

Заключение

Начиная с 1995-1997 годов, на территориях, удаленных от места аварии на расстояние 20 км и более, соотношение в почве радионуклидов в мобильных и малоподвижных формах определяется, в основном, химической природой радионуклидов и характеристиками почвенной среды. Об этом свидетельствуют данные по запасу в почвах ^{239,240}Pu и ²⁴¹Am в миграционно-активных, обратимо связанных и потенциально биологически доступных формах, а также значения КП радионуклидов из почвы в растения. Отсутствие заметных тенденций в изменении запаса плутония и америция в мобильных формах может быть связано с разрушением топливных частиц и их незначительным вкладом в радиоактивное загрязнение почв этой зоны в рассматриваемый период и небольшим варьированием характеристик почв, определяющих состояние и поведение радионуклидов. Об относительной стабилизации соотношения количеств радионуклидов в мобильных и малоподвижных формах свидетельствуют также практически неизменные величины коэффициентов распределения ^{239,240}Pu и ²⁴¹Am в системе «твердая фаза – поровые воды почвы» рассматриваемой зоны.

В целом, результаты исследования форм нахождения радионуклидов и их биологической доступности растительности наземных экосистем свидетельствуют о низкой миграционной способности плутония и америция в почвенно-растительном комплексе и невысокой биологической доступности этих радионуклидов луговым

травам естественных сенокосов и пастбищ.

Полученные данные позволяют оценивать запас в почвах плутония и америция в формах, способных включаться в процессы биологической и геохимической миграции радионуклидов в экосистемах, помогают прогнозировать их перераспределение в почвенно-растительном комплексе и могут служить основой для разработки стратегии рационального природопользования в регионах, загрязненных радионуклидами техногенного происхождения.

Библиографический список

1. Пазухин, Э.М. Авария на ЧАЭС и проблема америция-241. / Э.М. Пазухин, И.П. Дрозд, В.В. Токаревский // Радиохимия. – 1994. – Т. 36, № 6. – С. 533-539.

2. Физические величины. Справочник / Под ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 1232 с.

3. «Hot» particles - the source of radionuclides on the territory of Belarus. / E. Petryaev [et al.] // Proceedings of the first international conference «The radiological consequences of the Chernobyl accident», Minsk. – 1996. – P. 543-547.

4. Salbu, B. Speciation of radionuclides – analytical challenges within environmental

impact and risk assessments. / B. Salbu // Journal of Environmental Radioactivity. – 2007. – № 96 (1-3). – P. 47-53.

5. Proposal for new best estimates of the soil-to-plant transfer factor of U, Th, Ra, Pb and Po. / H. Vandenhove [et al.] // Journal of Environmental Radioactivity. – 2009. – J100(9) – P. 721-732.

6. Овсянникова, С.В. Почвенные рапторы в процессах миграции ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239,240}\text{Pu}$ и ^{241}Am . / С.В. Овсянникова, Г.А. Соколик, Е.А. Эйсмонт // Геохимия. – 2000. – №2. – С. 222-234

7. Soil-plant transfer of plutonium and americium in contaminated regions of Belarus after Chernobyl catastrophe. / G.A. Sokolik [et al.] // Environment International. – 2004. – № 30. – P. 939-947.

8. Migration ability of plutonium and americium in the soils of Polessie State Radiation-Ecological Reserve. / S. Ovsiannikova [et al.] // J Radio and Nucl Chem. – 2010. – V. 286. – P. 409-415.

9. Forms of occurrence and migration of Chernobyl radionuclides in belarussian soils. / E.P. Petryaev [et al.] // Proceedings of International Meeting on Nuclear and Hazardous Waste Management. SPECTRUM 1994. Atlanta, Georgia, USA. – 1994. – P. 182-187.

G.A. Sokolik, S.V. Ovsiannikova, K.V. Voinikava, M.V. Popenia

CONTEMPORARY STATE AND MOBILITY OF PLUTONIUM AND AMERICIUM OF CHERNOBYL FALLOUT IN A SOIL-PLANT COVER

The physicochemical forms of $^{239,240}\text{Pu}$ and ^{241}Am in the samples of mineral and organic soils contaminated with radionuclides of Chernobyl origin have been studied. The reserves of $^{239,240}\text{Pu}$ and ^{241}Am in mobile and biologically available forms in different types of soils were established. The fixing capacity of the soils for $^{239,240}\text{Pu}$ and ^{241}Am was characterized. The biological availability of $^{239,240}\text{Pu}$ and ^{241}Am for different species of meadow plants was evaluated by radionuclide transfer factors. The received data make possible the estimation of the plutonium and americium migration ability in soil-plant complex of terrestrial ecosystems of Belarus.

Key words: *plutonium, americium, biological availability*

Поступила 22.02.11