



Научная статья
УДК 631.4:502.76
doi: 10.55186/25876740_2024_67_1_74

ПРОБЛЕМА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ ^{238}U , ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{210}Po В УСЛОВИЯХ ПРИМЕНЕНИЯ БОЕПРИПАСОВ С ОБЕДНЕННЫМ УРАНОМ

П.М. Орлов, Н.И. Аканова, А.А. Ермаков

Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии
имени Д.Н. Прянишникова, Москва, Россия

Аннотация. В настоящее время одной из острых экологических проблем является загрязнение окружающей среды и последующее ухудшение здоровья населения вследствие применения боеприпасов с обедненным ураном. Последний является новым стойким фактором техногенного происхождения, приводящий к значительному изменению естественного радиационного фона. Основное поражающее действие обедненного урана на здоровье населения обусловлено его химической токсичностью и радиационной активностью. В статье рассмотрен наиболее негативный сценарий развития последствий боевого применения снарядов с обедненным ураном на полях сельскохозяйственных угодий для населения. Негативные последствия связаны не с ^{238}U , а с продуктами распада ^{226}Ra и с продуктами распада ^{226}Ra — ^{210}Pb , ^{210}Bi и ^{210}Po . Названные радионуклиды после боевого применения находятся в воздухе и почве в виде мелкодисперсного аэрозоля. Заключение о том, что в обедненном уране изотоп ^{226}Ra , сделано на основании того, что в облаке, образованном после уничтожения склада боеприпасов с обедненным ураном обнаружен изотоп ^{214}Bi — короткоживущий изотоп цепочки распада ^{226}Ra . Предложен агротехнологический способ снижения негативных последствий путем внесения в почву органических удобрений и простого суперфосфата. В работе приведены данные о содержании ^{226}Ra в почвах областей, граничащих с Украиной, и данные о содержании ^{137}Cs в наиболее загрязненных районах Брянской области.

Ключевые слова: обедненный уран, изотопы ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{210}Bi и ^{210}Po , радиоактивность, негативные последствия, почва

Original article

THE PROBLEM OF SOIL POLLUTION ^{238}U , ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{210}Po UNDER CONDITIONS OF USE OF DEPLETED URANIUM AMMUNITION

P.M. Orlov, N.I. Akanova, A.A. Ermakov

All-Russian Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov, Moscow, Russia

Abstract. At present, one of the most acute environmental problems is environmental pollution and the consequent deterioration of the health of the population due to the use of depleted uranium munitions. The latter is a new persistent factor of man-made origin, leading to a significant change in the natural radiation background. The main damaging effect of depleted uranium on public health is due to its chemical toxicity and radiation activity. The article discusses the most negative scenario for the development of the consequences of the combat use of shells with depleted uranium in the fields of agricultural land for the population. The negative consequences are not related to ^{238}U , but to its decay products ^{226}Ra and to the decay products of ^{226}Ra — ^{210}Pb , ^{210}Bi and ^{210}Po . These radionuclides are found in the air and soil in the form of a finely dispersed aerosol after combat use. The conclusion that the isotope ^{226}Ra is in depleted uranium was made on the basis of the fact that the isotope ^{214}Bi , a short-lived isotope of the decay chain ^{226}Ra , was found in the cloud formed after the destruction of the ammunition depot with depleted uranium. An agrotechnological method of reducing negative consequences by introducing organic fertilizers and simple superphosphate into the soil is proposed. The paper presents data on the content of ^{226}Ra in the soils of the regions bordering Ukraine and data on the content of ^{137}Cs in the most polluted areas of the Bryansk region.

Keywords: depleted uranium, isotopes ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{210}Bi and ^{210}Po , radioactivity, negative effects, soils

Радионуклиды природного происхождения содержатся в объектах окружающей среды, и их излучение создает естественный радиационный фон планеты. Изотоп ^{238}U содержится в земной коре (почва, горные породы) и является родоначальником радиоактивного семейства $4n+2$. В это семейство входит 17 изотопов [1]. В нем целесообразно выделить следующие подсемейства.

В первом подсемействе содержится ^{238}U (период полураспада $T_{1/2}=4,5\cdot 10^9$ лет), ^{234}U ($T_{1/2}=2,4\cdot 10^5$ лет), ^{230}Th ($T_{1/2}=8,0\cdot 10^4$ лет). В это семейство также входят короткоживущие радионуклиды ^{234}Th ($T_{1/2}=24,1$ сутки), $^{234\text{m}}\text{Pa}$ ($T_{1/2}=1,17$ минуты), $^{234\text{Pa}}$ ($T_{1/2}=6,75$ час). В горных породах эти радионуклиды находятся в вековом равновесии с материнским изотопом ^{238}U .

Почвы подвергаются воздействию хозяйственной деятельности (вспашка, внесение удобрений и мелиорантов) и, соответственно, возможно нарушение векового равновесия между радионуклидами этого подсемейства. При вековом равновесии период полураспада

материнского нуклида несравненно больше периода полураспада дочернего нуклида. С момента разделения дочернего и материнского изотопов по истечении 5 периодов полураспада дочернего изотопа активность материнского и дочернего изотопа выравниваются. Далее в цепочке равновесных превращений дочерний радионуклид начинает изменять свою активность по закону материнского изотопа.

Во второе подсемейство входят ^{226}Ra ($T_{1/2}=1600$ лет), ^{222}Rn ($T_{1/2}=3,8$ сутки) и несколько короткоживущих радионуклидов с периодом полураспада от нескольких секунд до 20 минут. Все они находятся в вековом равновесии с изотопом ^{226}Ra . В совокупность этих короткоживущих радионуклидов входит ^{214}Bi ($T_{1/2}=19,7$ минуты). По гамма-излучению ^{214}Bi (энергия излучения $E_\gamma=609$ кэВ) определяется содержание ^{226}Ra в изучаемом объекте. При нахождении в герметичных условиях ^{222}Rn через 21 день вступает в вековое равновесие с ^{226}Ra .

Обнаружение в радиоактивном облаке, образованном после уничтожения склада

боеприпасов с обедненным ураном, ^{214}Bi со всей определенностью указывает на то, что в нем содержится ^{222}Rn . Изотопы ^{222}Rn и ^{214}Bi вступают в вековое равновесие приблизительно через 2,5 часа после взрывного и ударно-механического воздействия.

При герметичном хранении ^{226}Ra и ^{222}Rn находятся в вековом равновесии через 19-21 сутки. В обедненном уране из уничтоженных боеприпасов содержался ^{226}Ra в количестве достаточном, чтобы быть обнаруженным по гамма-излучению ^{214}Bi . Наличие ^{226}Ra в обедненном уране опровергает тезис о радиационной безопасности сердечников из обедненного урана.

В таблице 1 приведены данные о содержании ^{226}Ra в почвах субъектов Российской Федерации, граничащих с Украиной.

Из приведенных в таблице 1 данных видно, что содержание и плотность загрязнения ^{226}Ra в почве достаточно велики. Увеличение среднего содержания ^{226}Ra в почве после применения снарядов с обедненным ураном вряд ли возможно. Однако проблема радиационного



влияния применения сердечников из ²³⁸U на человека в полевых условиях может оказаться более сложной, чем непосредственное увеличение содержания ²²⁶Ra в почве.

В третьем подсемействе цепочки 4n+2 (²³⁸U) входят изотопы ²¹⁰Pb (T_{1/2}=21 год), ²¹⁰Bi (T_{1/2}=5,0 суток), ²¹⁰Po (T_{1/2}=138 суток) и ²⁰⁶Pb (T_{1/2}=4,19 минуты).

При длительном хранении в герметичных условиях боеприпасов из ²³⁸U с примесью ²²⁶Ra, в урановом сердечнике происходит накопление ²²²Rn с периодом полунакопления 3,8 суток. Через 19-21 день ²²²Rn вступает в вековое равновесие с ²²⁶Ra, их активности совпадают и далее в урановом сердечнике ²²²Rn распадается по закону ²²⁶Ra. Содержание ²²²Rn в урановом сердечнике становится постоянной на достаточно долгий срок (более 100 лет). Вследствие распада ²²²Rn в урановом сердечнике происходит накопление ²¹⁰Pb в равновесии с ²¹⁰Bi (вековое равновесие ²¹⁰Pb-²¹⁰Bi наступает через 25 суток) с периодом полунакопления 21 год. Через 21 год активности ²¹⁰Pb и ²¹⁰Bi будут составлять 0,5 от активности ²²⁶Ra, через 42 года — 0,75 и т.д.

Вследствие распада ²¹⁰Pb (²¹⁰Bi) будет происходить накопление ²¹⁰Po с периодом полунакопления 138 суток. Через 2 года активность ²¹⁰Pb и ²¹⁰Po станут равными и далее ²¹⁰Po, в первом приближении, будет накапливаться в соответствии с законом накопления ²¹⁰Pb.

При военном применении боеприпасов с обедненным ураном при взрывном или ударно-механическом воздействии ²²²Rn эманурует из уранового сердечника в окружающую среду (воздух, почва) и далее распадается независимо от ²²⁶Ra. Как ведут себя ²²⁶Ra, ²¹⁰Pb, ²¹⁰Bi и ²¹⁰Po предсказать невозможно. С большой долей вероятности они остаются в обедненном уране (в том, что осталось от уранового сердечника после боевого применения), так как являются нелетучими элементами. Не исключено, что часть ²²⁶Ra, ²¹⁰Pb, ²¹⁰Bi и ²¹⁰Po может эмануировать из ²³⁸U в виде аэрозоля вследствие возникновения высоких температур при взрывном или ударно-механическом воздействии.

Таким образом, возникает проблема дополнительного загрязнения воздуха и почвы ²²⁶Ra и продуктами его распада — ²¹⁰Pb и ²¹⁰Po.

Натурное (природное) содержание ²³⁸U и продуктов его распада связано с почвообразующими минералами. Уран и продукты его распада находятся в структуре минералов в качестве примесей. Их переход в почвенный раствор или атмосферный воздух сильно затруднен. Возможен и наблюдается переход ²²²Rn в виде эманации, но основная часть продуктов распада ²²⁶Ra остается в почве.

Техногенное (военное) загрязнение продуктами распада ²²⁶Ra (²¹⁰Pb, ²¹⁰Bi и ²¹⁰Po) не связано с почвообразующими минералами. Эти радионуклиды находятся в почве в мелкодисперсном или сорбированном состоянии. Они способны переходить и загрязнять почвенный раствор и воздух. При анализе воздействия ²¹⁰Pb, ²¹⁰Bi и ²¹⁰Po, эманированных из обедненного урана, на организм человека следует рассматривать их пути поступления с продуктами питания, водой и воздухом.

В таблице 2 представлены данные о дозовых коэффициентах и пределах годового поступления с воздухом и пищей ²²⁶Ra, ²¹⁰Pb, ²¹⁰Bi и ²¹⁰Po для населения. Для сравнения приведены эти же данные для ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr.

При сравнении можно видеть, что продукты распада радия значительно более опасны для человека, чем ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr. Согласно нормам радиационной безопасности, для населения при поступлении с водой и пищей эффективная доза от 1 Бк ²¹⁰Pb в 277 раз больше, чем от 1 Бк ¹³⁷Cs и в 45 раз больше, чем от 1 Бк ⁹⁰Sr. Для ²¹⁰Po эти величины больше в 677 и 110 раз, соответственно. При поступлении в организм человека с воздухом (через легкие) эффективная доза от 1 Бк ²¹⁰Pb в 288 раз больше, чем от 1 Бк ¹³⁷Cs и в 26 раз, чем от 1 Бк ⁹⁰Sr. Для 1 Бк ²¹⁰Po эти величины больше в 870 и 80 раз. Полученные результаты показывают, что при проведении сельскохозяйственных работ на полях, загрязненных продуктами распада ²³⁸U, следует защищать органы дыхания сельскохозяйственных рабочих.

Другим аспектом обсуждаемой нами проблемы загрязнения почвы продуктами распада обедненного урана являются радио-аналитические проблемы контроля загрязнения сельскохозяйственной продукции ²¹⁰Pb и ²¹⁰Po.

Согласно рациону, человек потребляет в год: хлеба — 150 кг, картофеля — 200 кг, овощей — 100 кг, молока — 200 кг, мяса — 70 кг. Масса годового рациона составляет 720 кг. Предел годового поступления в организм человека с водой и пищей для ²¹⁰Pb составляет 280 Бк/кг, ²¹⁰Po — 110 Бк/кг. Чтобы осуществлять эффективный радиационный контроль содержания ²¹⁰Pb и ²¹⁰Po необходимо иметь или разработать методики определения в сельскохозяйственной продукции (продуктах питания) с нижним пределом обнаружения ²¹⁰Pb — 0,3 Бк/кг, ²¹⁰Po — 0,1 Бк/кг. Эта задача может быть решена с применением радиохимических методов анализа и альфа-спектрометрии высокого разрешения [5].

Проблема загрязнения почв обедненным ураном и продуктами его распада может возникнуть в областях на границе с Украиной. Почвы Брянской, Курской, Воронежской, Белгородской

областей подверглись радиоактивному загрязнению от Чернобыльской аварии. Наибольшее загрязнению подверглась Брянская область. В таблице 3 представлены данные о загрязнении 5 сильнозагрязненных ¹³⁷Cs районов Брянской области.

В почвах остальных субъектов РФ содержание ¹³⁷Cs в 1992 г. находилось в интервале 1-5 Ки/км². В таблице 4 представлены данные о дополнительных эффективных дозах внешнего облучения сельскохозяйственных рабочих в сильнозагрязненных районах Брянской области.

В настоящее время годовые дополнительные эффективные дозы внешнего облучения сельскохозяйственных рабочих не превышают установленный нормами радиационной безопасности уровень в 1 мЗв/год. Но в 1992 г. годовые эффективные дозы облучения были выше, чем 1 мЗв/год. Таким образом, с 1986 по 1992 гг. дополнительные дозы облучения сельскохозяйственных рабочих превышали требования норм радиационной безопасности для населения в 1 мЗв/год в среднем за любые последовательные 5 лет.

На основе данных 1992 г., с учетом распада ¹³⁷Cs, мы оценили уровни загрязнения почв и годовые эффективные дозы внешнего облучения от ¹³⁷Cs сельскохозяйственных рабочих в 5 сильнозагрязненных районах Брянской области в 1986-1987 гг. (табл. 5).

В Красногорском районе наблюдается большая вариабельность результатов, поэтому нижнюю границу стандартного распределения оценить статистическим методом не удастся.

За первые 5 лет после Чернобыльской аварии в Красногорском и Новозыбковском районе средние значения годовых эффективных доз превышали требования норм радиационной безопасности (НРБ) в 1 мЗв/год. В Злыковском районе они были на уровне НРБ, а в Гордеевском и Клиновском районе — меньше.

Таблица 1. Содержание ²²⁶Ra в почвах России по данным локального мониторинга сельскохозяйственных угодий [2, 3]

Table 1. ²²⁶Ra content in Russian soils according to local monitoring of agricultural lands [2, 3]

Субъект РФ, тип почвы	Содержание ²²⁶ Ra среднее значение/стандартный интервал	
	Бк/кг	Бк/м ²
Воронежская область	15±1/8-22	4500±300/2400-6600
Белгородская область	24±1/21-27	7200±300/6300-8100
Краснодарский край	31±2/26-36	9300±600/5100-8700
Ростовская область	23±1/17-29	6900±300/5100-8700
Черноземные почвы РФ	23,1±0,5/12-34	6830±150/3600-10200
Дерново-подзолистые почвы РФ	19,8±0,6/11-29	5940±180/3300-8700
Почвы России в целом	21,6±0,3/11-32	6480±90/3300-9600
Почвы планеты (типичный интервал)	26/11-52	7800/3300-15600

Таблица 2. Значения дозовых коэффициентов, пределов годового поступления с воздухом и пищей ²²⁶Ra, ²¹⁰Pb, ²¹⁰Bi и ²¹⁰Po для населения [4]

Table 2. Values of dose coefficients, limits of annual intake with air and food are ²²⁶Ra, ²¹⁰Pb, ²¹⁰Bi and ²¹⁰Po for the population [4]

Нуклид	Дозовый коэффициент, Зв/Бк		Предел годового поступления, Бк/год	
	с воздухом	с водой и пищей	с воздухом	с водой и пищей
²²⁶ Ra	4,5·10 ⁻⁶	1,5·10 ⁻⁶	220	670
²¹⁰ Pb	1,3·10 ⁻⁶	3,6·10 ⁻⁶	770	280
²¹⁰ Bi	1,1·10 ⁻⁷	9,7·10 ⁻⁹	9100	10 ⁵
²¹⁰ Po	4,0·10 ⁻⁶	8,8·10 ⁻⁶	250	110
¹³⁷ Cs	4,6·10 ⁻⁹	1,3·10 ⁻⁸	2,2·10 ⁵	7,7·10 ⁴
⁹⁰ Sr	5,0·10 ⁻⁸	8,0·10 ⁻⁸	2·10 ⁴	1,3·10 ⁴



Таблица 3. Содержание ^{137}Cs в почвах сильнозагрязненных районов Брянской области [6]
Table 3. Content of ^{137}Cs in soils of heavily polluted areas Bryansk region [6]

Район Брянской области	Плотность загрязнения ^{137}Cs , Ки/км ² среднее значение/стандартный интервал			
	1992 г.	2007 г.	2014 г.	2022 г.
Гордеевский	12,3/5,5-19,5	8,5/3,8-13,2	7,4/3,3-11,5	6,0/2,6-9,4
Злыковский	17,8/9,8-25,8	12,3/6,8-17,8	9,8/5,4-14,2	8,0/3,8-12,2
Клинцовский	8,7/2,5-14,9	6,0/1,7-10,2	4,5/1,3-7,7	3,7/1,2-6,2
Красногорский	14,0/<33,8	9,7/<23	7,0/<16,9	5,7/<13,9
Новозыбковский	18,5/11,5-25,5	12,8/7,9-17,6	10,8/6,7-14,9	8,8/5,6-12,0

Таблица 4. Годовые эффективные дозы внешнего облучения от ^{137}Cs в 6 наиболее загрязненных районах Брянской области
Table 4. Annual effective doses of external radiation from ^{137}Cs in the 6 most polluted districts of the Bryansk region

Район Брянской области	Годовая эффективная доза, мЗв/год среднее значение/стандартный интервал			
	1992 г.	2007 г.	2014 г.	2022 г.
Гордеевский	0,78/0,35-1,24	0,54/0,24-0,84	0,50/0,22-0,78	0,38/0,17-0,60
Злыковский	1,1/0,62-1,6	0,78/0,43-1,1	0,62/0,29-0,95	0,51/0,24-0,78
Клинцовский	0,55/0,16-0,95	0,38/0,11-0,65	0,29/0,09-0,48	0,24/0,08-0,39
Красногорский	0,89/<2,2	0,62/1,5	0,45/<1,1	0,36/<0,88
Новозыбковский	1,2/0,73-1,6	0,82/0,50-1,1	0,69/0,44-0,93	0,55/0,35-0,75

Таблица 5. Уровни загрязнения почв и годовые эффективные дозы внешнего облучения от ^{137}Cs сельскохозяйственных рабочих в 1986-1987 гг.
Table 5. Soil contamination levels and annual effective external radiation doses from ^{137}Cs of agricultural workers in 1986-1987

Район Брянской области	Уровень загрязнения ^{137}Cs , Ки/км ² среднее значение/стандартный интервал	Годовая эффективная доза, мЗв/год среднее значение/стандартный интервал
Гордеевский	14,1/6,3-22,4	0,90/0,40-1,4
Злыковский	20,5/11,3-29,7	1,3/0,72-1,9
Клинцовский	10,0/2,9-17,1	0,64/0,18-1,1
Красногорский	16,1/<38,9	1,0/<2,5
Новозыбковский	21,3/13,2-29,3	1,4/0,8-1,9

Превышение годовых эффективных доз требований НРБ создает дополнительные риски негативных последствий при загрязнении почв продуктами распада ^{238}U изотопами ^{210}Pb , ^{210}Bi и ^{210}Po . В этом случае первичное радиационное воздействие от Чернобыльских выпадений усилит последующее воздействие продуктов распада обедненного урана. К наиболее уязвимым районам Брянской области следует отнести Красногорский и Новозыбковский районы.

Возникает проблема радио-аналитического определения изотопов ^{238}U , ^{210}Pb , ^{210}Bi и ^{210}Po [6]. С 2002-2003 гг. радиологическими подразделениями агрохимической службы проводится определение естественных радионуклидов ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K в почве методом сцинтилляционной гаммаспектрометрии. Чернобыльская авария произошла в 1986 г., следовательно, определение ^{226}Ra в почвах загрязненных районов Брянской области методом сцинтилляционной гамма-спектрометрии — невозможно. Изотопы ^{210}Pb , ^{210}Bi и ^{210}Po не имеют гамма-излучения, по которому возможно их определение в почве. Необходимо разрабатывать радиохимические методы анализа почв ^{210}Pb , ^{210}Bi и ^{210}Po в сочетании с низкофоновой бета-радиометрии и полупроводниковой альфа-спектрометрии. При изучении и оценке негативных последствий применения боеприпасов с обедненным ураном данные о содержании продуктов распада ^{226}Ra в почвах и сельскохозяйственных растениях будут востребованы.

В настоящей статье рассмотрен наиболее негативный вариант развития последствий применения в военных целях боеприпасов с обедненным ^{238}U . Основанием для рассмотрения стало экспериментальное обнаружение изотопа ^{214}Bi в облаке, образовавшемся при уничтожении склада боеприпасов с обедненным ураном. Изотоп ^{214}Bi является коротко живущим изотопом семейства ($T_{1/2}$ 19,7 мин) ^{238}U . Наличие ^{214}Bi со всей определенностью указывает, что в обедненном ^{238}U содержится изотоп ^{226}Ra в качестве примеси, так как изотоп ^{214}Bi через последовательные радиоактивные превращения ^{226}Ra ; ^{222}Rn ($T_{1/2}$ 3,8 суток); ^{218}Po ($T_{1/2}$ 3,05 минуты); ^{214}Pb ($T_{1/2}$ ~2 секунды); ^{214}Bi ($T_{1/2}$ 19,7 минуты) вступает в вековое равновесие с ^{222}Rn через 100 минут после взрыва (5 периодов полураспада наиболее долго живущего изотопа ^{214}Bi). В свою очередь, изотоп ^{222}Rn вступает в вековое равновесие с ^{226}Ra через 19 суток. По сравнению с временем хранения боеприпасов на складах эти времена незначительны.

Если будет доказано наличие негативных последствий у населения на территориях, где применяются боеприпасы с обедненным ураном, то причиной этих последствий будет являться наличие изотопа ^{226}Ra в обедненном уране и, как следствие, продуктов его распада ^{210}Pb , ^{210}Bi и ^{210}Po . Наиболее токсичным из тройки ^{210}Pb , ^{210}Bi и ^{210}Po является ^{210}Po .

В течение первых двух лет после боевого применения боеприпасов с обедненным ураном

будет наблюдаться увеличение содержания ^{210}Po относительно ^{210}Pb . С истечением указанного срока ^{210}Po вступит в вековое равновесие с ^{210}Pb . Далее ^{210}Po будет накапливаться в почве по закону накопления ^{210}Pb . В свою очередь, будет происходить накопление ^{210}Pb в почве относительно ^{226}Ra .

Если наши доводы убедительны, а рассуждения верны, то проблема негативных последствий у населения территорий, где применялись или будут применяться боеприпасы с обедненным ураном, будет нарастать, по крайней мере, в течение двух лет.

Мы описали поведение продуктов распада ^{226}Ra в почве в соответствии с радиохимическими законами поведения радионуклидов в цепочке распада радиоактивного семейства. Не исключено, что поведение радионуклидов в почве может быть скорректировано химическими и биохимическими процессами, протекающими в почве.

Изотопы ^{210}Pb , ^{210}Bi и ^{210}Po вследствие их эманации из обедненного урана находятся в мелкодисперсном состоянии. Мелкодисперсные системы являются нестабильными. Под действием природных факторов (окисление кислородом, растворение в кислом почвенном растворе, действие микробиологических факторов) они исчезают. Изотопы ^{210}Pb , ^{210}Bi и ^{210}Po переходят в почвенный раствор, а затем сорбируются компонентами почвы. Этот процесс будет значительно снижать радиационное воздействие продуктов распада обедненного урана на население.

Задачей агрономических мероприятий является ускорение процесса связывания продуктов распада урана. Целесообразно в почву полей сельскохозяйственных угодий, на которых проводились боевые действия с применением боеприпасов с обедненным ураном, внести дополнительные количества органических удобрений (торф, сапропель, навоз). Желательно также внести простой суперфосфат, который содержит кислые фосфаты кальция. Возможно внесение промышленных отходов с кислой реакцией. Желательно повысить кислотность почв до приемлемого уровня, при котором можно вести сельское хозяйство. Повторного внесения не потребуются.

Брянская область находится на границе с Украиной. Существуют определенные риски загрязнения почвы продуктами распада ^{238}U изотопами ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{210}Bi и ^{210}Po . Вторичное дополнительное облучение (внутреннее облучение от названных изотопов) повысит риски возникновения негативных последствий у сельскохозяйственных рабочих. В этой связи для Брянской области необходим тщательный контроль за содержанием ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{210}Bi и ^{210}Po в почвах и воздухе сельскохозяйственных угодий при боевом применении снарядов с обедненным ураном.

После Чернобыльской аварии исследования радиологов были направлены на ликвидацию последствий радиоактивного загрязнения почв и сельскохозяйственной продукции ^{137}Cs и ^{90}Sr . Исследования поведения естественных радионуклидов ^{238}U , ^{232}Th в почве сельскохозяйственных угодий не проводились. Между тем на глобальном уровне загрязнения, основную часть годовой эффективной дозы у населения, в том числе и у сельскохозяйственных рабочих, создают естественные радионуклиды.

Боевое применение зарядов с обедненным ураном является достаточно веским основанием для проведения исследований поведения естественных радионуклидов в почвах.



Список источников

1. Источники и действие ионизирующей радиации. Научный комитет Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации. Доклад за 1977 год Генеральной Ассамблее с приложениями, т. 1, с. 233, 260. Нью-Йорк, 1978.
2. Орлов П.М., Гладышева О.В., Лунев М.И., Аканова Н.И. Зависимость содержания техногенных и естественных радионуклидов в почвах Центрального Федерального округа от интенсивности применения минеральных удобрений и химических мелиорантов // Международный сельскохозяйственный журнал. 2018. № 1 (361). С. 37-42.
3. Сычев В.Г., Лунев М.И., Орлов М.М., Белоус Н.М. Чернобыль: радиационный мониторинг сельскохозяйственных угодий и агрохимические аспекты снижения последствий радиоактивного загрязнения почв. М.: ВНИИА, 2016, 183 с.
4. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523-09. М., 2009. 84 с.
5. Сборник методик по определению радионуклидов в почвах сельскохозяйственных угодий и продукции растениеводства. М., 1999. 156 с.

6. Иванов А. О применении НАТО боезарядов с обедненным ураном против СФРЮ // Зарубежное военное обозрение. 2000. № 5. С. 11-12.
7. Орлов П.М., Аканова Н.И. Корреляции и закономерности загрязнения ¹³⁷Cs почв сельскохозяйственных угодий России // Международный сельскохозяйственный журнал. 2023. № 1 (391). С. 58-61.

References

1. Istochniki i deistvie ioniziruyushchei radiatsii. Nauchnyi komitet Organizatsii Ob'edinennykh Natsii po deistviyu atomnoi radiatsii. Doklad za 1977 god General'noi Assamblee s prilozheniyami, t. 1, s. 233, 260 [Sources and effects of ionizing radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. 1977 Report to the General Assembly with Annexes, vol. 1, pp. 233, 260]. New York, 1978.
2. Orlov, P.M., Gladysheva, O.V., Lunev, M.I., Akanova, N.I. (2018). Zavisimost' soderzhaniya tekhnogenykh i estestvennykh radionuklidov v pochvakh Tsentral'nogo Federal'nogo okruga ot intensivnosti primeneniya mineral'nykh udobrenii i khimicheskikh meliorantov [Dependence of the content of technogenic and natural radionuclides in soils of the Central Federal District on the intensity of the use of mineral fertilizers and chemical ameliorants]. *Mezhdunarodnyi sel'skokhozyaistvennyi zhurnal* [International agricultural journal], no. 1 (361), pp. 37-42.

3. Sychev, V.G., Lunev, M.I., Orlov, M.M., Belous, N.M. (2016). *Chernobyl': radiatsionnyi monitoring sel'skokhozyaistvennykh ugodii i agrokhimicheskie aspekty snizheniya posledstviy radioaktivnogo zagryazneniya pochv* [Chernobyl: radiation monitoring of agricultural lands and agrochemical aspects of reducing the consequences of radioactive soil pollution]. Moscow, VNIIA, 183 p.
4. Normy radiatsionnoi bezopasnosti (NRB-99/2009). Sanitarnye pravila i normativy SanPIN 2.6.1.2523-09 (2009). [Radiation Safety Standards (NRB-99/2009). Sanitary Rules and Regulations SanPIN 2.6.1.2523-09]. Moscow, 84 p.
5. Sbornik metodik po opredeleniyu radionuklidov v pochvakh sel'skokhozyaistvennykh ugodii i produktsii rastenievodstva (1999). [Collection of methods for determining radionuclides in soils of agricultural lands and crop products]. Moscow, 156 p.
6. Ivanov, A. (2000). O primeneniі NATO boezaryadov s obedennym uranom protiv SFRYU [On the use of NATO warheads with depleted uranium against the SFRY]. *Zarubezhnoe voennoe obozrenie*, no. 5, pp. 11-12.
7. Orlov, P.M., Akanova, N.I. (2023). Korrelyatsii i zakonemernosti zagryazneniya ¹³⁷Cs pochv sel'skokhozyaistvennykh ugodii Rossii [Correlations and regularities of pollution of ¹³⁷Cs of soils of agricultural lands of Russia]. *Mezhdunarodnyi sel'skokhozyaistvennyi zhurnal* [International agricultural journal], no. 1 (391), pp. 58-61.

Информация об авторах:

Орлов Павел Михайлович, кандидат химических наук, старший научный сотрудник лаборатории агрохимии органических, известковых удобрений и химической мелиорации, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2753-3371>, n_akanova@mail.ru
Аканова Наталья Ивановна, доктор биологических наук, профессор, заведующая лабораторией агрохимии органических, известковых удобрений и химической мелиорации, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3153-6740>, n_akanova@mail.ru
Ермаков Антон Александрович, кандидат биологических наук, заведующий лабораторией аналитического обеспечения агрохимических исследований, ORCID: <http://orcid.org/0009-0008-9956-4442>, p.ermakov@mail.ru

Information about the authors:

Pavel M. Orlov, candidate of chemical sciences, senior researcher of the laboratory of agrochemistry of organic, lime fertilizers and chemical reclamation, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2753-3371>, n_akanova@mail.ru
Natalia I. Akanova, doctor of biological sciences, professor, head of the laboratory of agrochemistry of organic, lime fertilizers and chemical reclamation, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3153-6740>, n_akanova@mail.ru
Anton A. Ermakov, candidate of biological sciences, head of the laboratory of analytical support of agrochemical research, ORCID: <http://orcid.org/0009-0008-9956-4442>, p.ermakov@mail.ru

✉ n_akanova@mail.ru

Издательство «Электронная наука» выпускает научные журналы на русском и английском языках.

Нам доверяют авторы по всему миру. Количество наших читателей, в том числе и в Интернете, более **55 тысяч** человек ежемесячно.

ЖУРНАЛЫ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ЭЛЕКТРОННАЯ НАУКА»



Международный журнал прикладных наук и технологий «INTEGRAL» издается 6 раз в год.

- Стратегический научный партнер журнала «Государственный университет по землеустройству».
- **INTEGRAL** цитируется в РИНЦ, Google Scholar, КиберЛенинке.
- Научным публикациям присваивается международный **цифровой индикатор DOI**.
- Журнал участник программы **открытого доступа** к научным публикациям.

Контакты: <https://e-integral.ru>, e-science@list.ru

