

Мурзалимова А., Иминова Д.,  
Яровая Е., Мамутов Ж.

**<sup>239,240</sup>Pu в почве зимовки  
Сарапан семипалатинского  
испытательного полигона**

Murzalimova A., Iminova D.,  
Yarova Ya., Mamutov Zh.

**<sup>239,240</sup>Pu in the soil at the Sara-  
pan settlement of semipalatinsk  
nuclear test site**

Мурзалимова А., Иминова Д.,  
Яровая Е., Мамутов Ж.

**Семей сынақ полигоны Сарапан  
қыстағының топырағындағы  
<sup>239,240</sup>Pu**

<sup>239, 240</sup>Pu – долгоживущий радионуклид, количество которого накапливается в природных экосистемах от инцидента к инциденту. Радиотоксичность этого радионуклида высока, и необходимы научно обоснованные подходы к оценке и прогнозу радиоэкологического состояния экосистем, подверженных риску повторного радиоактивного загрязнения <sup>239, 240</sup>Pu. В настоящей работе проведено исследование почвы зимовки Сарапан на содержание оружейного плутония -<sup>239, 240</sup>. Известно, что зимовка Сарапан находится на территории бывшего СИП, которая используется местными жителями в сельскохозяйственных целях. Пробы почвы анализировали в радиоэкологической научно-исследовательской лаборатории Государственного университета им. Шакарима г. Семей на содержание оружейного Pu-<sup>239,240</sup> альфа-спектрометрическим методом после предварительной радиохимической подготовки. Установлено, что содержание изотопов плутония в почве зимовки Сарапан СИП составляет в среднем 0,05 +/-0,01 Бк/кг, что в целом незначительно превышает уровень загрязнений, обусловленных глобальными выпадениями. Годовая эффективная доза облучения от почвы людей, проживающих на этой территории, вычисленная методом математического моделирования, с учетом метаболизма изотопов плутония составляет 0.95 м<sup>3</sup>/год.

**Ключевые слова:** Семипалатинский испытательный полигон, изотопы плутония, доза облучения.

<sup>239, 240</sup>Pu is a long-lived radionuclide, the amount of which accumulates in natural ecosystems from incident to incident. The radiotoxicity of this radionuclide is high, and scientifically based approaches to the assessment and prediction of radioecological conditions of ecosystems at risk of <sup>239, 240</sup>Pu radioactive contaminations are needed. In the present work, of the soil of Sarapan settlement for the presence of weapons-grade plutonium -<sup>239, 240</sup> was made. It is known that the Sarapan settlement is located on the territory of the former STS, which is used by local residents for agricultural purposes. Soil samples were analyzed in the radioecological research laboratory of the Shakarim State University for the content of weapons-grade Pu-<sup>239,240</sup> by the alpha-spectrometric method after preliminary radiochemical preparation. It has been established that the content of plutonium isotopes in the soil of Sarapan settlement is an average of 0,05 +/-0,01 Bq / kg, which is slightly higher than the level of pollution caused by global fallout. The annual effective dose of irradiation from the soil of people living in this area, calculated by mathematical modeling, taking into account the metabolism of plutonium isotopes is 1.95 mSv / year.

**Key words:** Semipalatinsk test site, plutonium isotopes, dose of irradiation.

<sup>239,240</sup>Pu – табиғи экологиялық жүйелердің барлық бөліктерінде жинақтала алатын болғандықтан ұзақ өмір сүре алатын изотоптар қатарына жатады. Бұл радионуклидтердің радиациялық улылығы жоғары және <sup>239,240</sup>Pu радиоактивті қайта ластану қаупі бар экологиялық жүйелердің радиоэкологиялық жағдайын болжау және бағалауға негізделген ғылыми тәсілдер қажет. Бұл жұмыста Сарапан қыстағының топырағының құрамындағы қарулық плутоний-<sup>239, 240</sup> зерттеу жүргізілген. Сарапан қыстағы Семей сынақ полигонының аумағында орналасқандықтан, жергілікті тұрғындар ауылшаруашылық мақсатында қолданылып жүргені белгілі. Семей қаласының Шәкәрім атындағы Мемлекеттік университетінің радиоэкологиялық ғылыми-зерттеу зертханасында топырақ сынамаларын алдын ала радиохимиялық дайындықтан өткізгеннен кейін альфа-спектрометрлік әдіспен қарулық Pu-<sup>239, 240</sup> құрамын талдадық. Семей сынақ полигонының Сарапан қыстағының топырағындағы плутоний изотоптарының құрамы орта есеппен 0,05 ± 0,01 Бк/кг, бұл тұтастай алғанда жаһандық жауын-шашынмен негізделген ластану деңгейінен аздап жоғары екендігін көрсетеді. Осы аумақта тұратын адамдардың топырақтан алатын жылдық тиімді сәулелену дозасы, плутоний изотоптарының метаболизмін ескере отырып 1,95 мЗв/жыл құрайтыны математикалық модельдеу әдісімен есептелген.

**Түйін сөздер:** Семей сынақ полигоны, плутоний изотоптары, сәулелену дозасы.

239,240 **РУ В ПОЧВЕ  
ЗИМОВКИ САРАПАН  
СЕМИПАЛАТИНСКОГО  
ИСПЫТАТЕЛЬНОГО  
ПОЛИГОНА**

**Введение**

Радиоактивное загрязнение биосферы является одним из опасных видов воздействия при производственной деятельности человека в современных условиях. Развитие атомной промышленности, энергетики, физико-химических технологий, добыча и переработка урановых и ториевых руд, производство ядерного оружия, эксплуатация ядерных реакторов сопровождаются поступлением в биосферу большого количества искусственных делящихся материалов (Алексахин, 1982:215).

Таким образом, изучение радиоактивных веществ – важнейший экологический фактор, воздействующий на биоту и представляющий большую потенциальную опасность для человека. Необходимо решение проблемы сельского хозяйства в условиях загрязнения почвы радиоактивными элементами – максимально возможного снижения поступления этих веществ в растениеводческую продукцию и предотвращения их накопления в организмах сельскохозяйственных животных (Михайлов, 1998:302).

Решение задачи связано с комплексом мероприятий, которые следует провести в сельском хозяйстве. Основанием для их проведения является увеличение заболеваемости и смертности, врожденных уродств и населения, проживающего на загрязненных территориях.

Загрязнение системы почва – растения – вода различными химическими веществами, а главным образом твердыми, жидкими и газообразными отходами промышленности, продуктами топлива и т. д. приводит к изменению химического состава почв. Техногенные выбросы радионуклидов в природную среду в ряде районов земного шара значительно превышают природные нормы (Белоголова, 2000:158).

Радионуклиды по цепочке почва – растение – животное попадают в организм человека, накапливаются и оказывают неблагоприятное воздействие на здоровье.

Во времена «холодной войны» центральноазиатский регион обеспечивал Советскую программу ядерных вооружений по добыче урановых руд и производству военных материалов для наземных и подземных испытаний. Особенно показательным

примером является Казахстан. Небольшая плотность населения, наличие обширных районов, не пригодных для интенсивного земледелия, значительные запасы минерального сырья сделали Казахстан регионом, удобным для разработки и отработки военных технологий и вооружений. Около 70% всех ядерных испытаний бывшего СССР проведено на территории Казахстана с 1949 по 1989 годы (Павлоцкая, 1987:99).

Большая часть из них, включая 113 воздушных и наземных взрывов, была проведена на Семипалатинском полигоне (СИП) (Архипов, 1982:31). Здесь проводились испытания первой в СССР атомной (1949 г.) и первой в мире водородной (1953 г.) бомб.

Ядерные испытания, проводившиеся на СИП в период с 1949 по 1989 гг., создали весьма сложную радиационную обстановку на полигоне, которая эволюционирует во времени (Махонько, 1992:49).

Территория СИП расположена на северо-востоке Республики Казахстан, в зоне восточной части Центрального Казахского мелкосопочника. В административном отношении Семипалатинский полигон находится на стыке трех областей: Восточно-Казахстанской, Павлодарской и Карагандинской, на каждую из которых приходится 54%, 39% и 7% соответственно. Площадь полигона составляет 18,5 тысяч км<sup>2</sup>. Северная граница совпадает с водоразделом реки Иртыш, южная и юго-западная части представлены изолированными массивами низких гор (Отчет ИГИ НЯЦ РК, 1996:5).

В результате ядерных взрывов на территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона (СИП) и прилегающей к ней местности сложилась сложная радиэкологическая ситуация, отличающаяся пестротой картины радионуклидного загрязнения компонентов окружающей среды. Зачастую наблюдаются незаконмерно располагаемые локальные участки почвы с повышенным содержанием искусственных радионуклидов на общей относительно чистой местности (Логачев, 1997:97).

В настоящее время, в средствах массовой информации обсуждается предложение НЯЦ РК о передаче земель СИП в сельскохозяйственный оборот. Одной из таких территорий является территория зимовки Сарапан, которая уже активно используется местными фермерами для целей выпаса домашнего скота и заготовки сена. На этих землях в летнее время проживают не-

сколько семей чабанов с детьми. Известно, что на исследуемой части полигона не проводили ядерные испытания, однако, вблизи к этой территории находится испытательная площадка «Балапан», на которой проводились подземные ядерные испытания.

В работе [Priest, 2006:87] нами были представлены данные по загрязнению почвы рассматриваемой территории полигона стронцием-90 и оценен биологический ущерб от этого радионуклида.

В настоящей работе представлены данные по содержанию оружейного плутония в почве зимовки Сарапан территории СИП и методом математического моделирования с учетом метаболизма изотопов плутония оценена эффективная доза облучения людей, занимающихся трудовой деятельностью на этом участке.

### Экспериментальная часть

Отбор проб почвы проводили во время осенней полевой экспедиции 2016 г. по методике, рекомендованной МАГАТЭ (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 1996).

Карта исследованного участка СИП и точки отбора проб почвы (по сетке 0,5x0,5 км), а также их расположение показаны на рисунке 1. Определение координат отбора проб образцов проводили с помощью спутникового навигационного прибора *GARMIN* в географической системе WGS 84. В местах отбора проб проводили измерения мощности эквивалентной дозы  $\gamma$ -излучения на поверхности и на высоте 1 м от поверхности почвы. Измерение плотности потока  $\alpha$ -частиц и  $\beta$ -частиц проводили с использованием дозиметра Harwell Instrument с площадью счетного окна 100 см<sup>2</sup>. Для этих же целей также применяли прибор МКС-01Р1. Погрешность использованных измерительных приборов составляла  $\pm 20\%$ .

#### *Радиохимический анализ*

Пробы почвы анализировали в радиэкологической научно-исследовательской лаборатории Государственного университета им. Шакарима на содержание оружейного Pu-239,240 альфа-спектрометрическим методом после предварительной радиохимической подготовки, включавшей процедуру предварительного соосаждения изотопов на гидроксиде железа (III); перевод сорбированных изотопов в раствор; освобождение от мешающих соединений на анионообменной смоле; получение



Таблица 1 – Содержание гамма-излучающих радионуклидов в почве зимовки Сарапан

№ пробы	Удельная активность радионуклидов, Бк/кг	
	Am-241	Cs-137
#1	7,5±0,5	1232,2±4,2
#2	8,0±0,1	762,2±4,2
#3	2,2±0,2	597,6±2,9
#4	3,4±0,3	30,2±0,2
#5	1,5±0,2	2,1±0,4
#6	0,7±0,2	1,2±0,2
#7	<1	1,0 ±0,1
#8	0,7±0,3	0,7±0,2
#9	35±1	33±1
#10	13±1	21±1
#11	<5	1,7±0,2
#12	5,3±0,2	3,2±0,6
#13	<0,42	<0,5
#14	10±2	1456,3±16,5
#15	4,9±0,2	40,3±0,2
#16	2,8±0,2	41±2
#17	0,6±0,1	2,5±0,2
#18	0,2±0,1	1,0±0,2

Таблица 2 – Содержание  $^{239,240}\text{Pu}$  в почве зимовки Сарапан, находящейся на территории Семипалатинского полигона

№ точки пробоотбора	Активность $^{239,240}\text{Pu}$ , Бк кг <sup>-1</sup>
#1	16,2±0,4
#2	9,8±0,5
#3	9,6±0,3
#4	8,3±0,5
#5	1,5±0,1
#6	0,8±0,2
#7	4,9±0,3
#8	0,2±0,1
#9	8±2
#10	5,9±3,5
#11	0,9±0,5
#12	5,8±3,5
#13	<0,2
#14	5,4±0,2
#15	2±0,1
#16	1,5±0,2
#17	<0,05
#18	<0,05
<b>Среднее содержание</b>	<b>7,8±0,3</b>

Как видно из данных таблицы 2, в нескольких исследованных точках пробоотбора наблюдается превышение содержания изотопов плутония относительно значений, обусловленных уровнем глобальных выпадений, составляющих 1-2 Бк/кг (Гусева, 1959:146). Вместе с тем следует отметить, что в разгар ядерных испытаний содержание  $^{239,240}\text{Pu}$  в почвах северного полушария за счет глобальных выпадений по данным исследования (Lehto, 2011:397) составляло 4 100 Бк/кг.

По результатам настоящего исследования также проведена оценка пригодности изучаемой территории для сельскохозяйственных целей и проведен расчет эффективной дозы облучения, которое может получить человек, проживающий в северной части СИП.

Оценка доз облучения жителей зимовки Сарапан Семипалатинского полигона является важным фактором для изучения риска отдаленных последствий действия ионизирующего излучения на всей исследуемой территории. Для оценки доз внутреннего облучения необходимы детальные знания биокинетики  $^{239,240}\text{Pu}$  в отдельных органах и тканях человека.

Получение значений всех параметров основано главным образом на использовании различных инструментальных методик – радиохимических, радиометрических и радиоспектрометрических. Наряду с этим необходимо наличие алгоритма перехода от измеренных значений активности к величинам поступления и соответствующей ему дозы, основанного на современных представлениях о процессах переноса радионуклидов в организме и формирования дозы.

Распределение  $^{239,240}\text{Pu}$  в организме человека и полученная от него дозовая нагрузка была определена с помощью дозиметрических моделей, разработанных Международным Комитетом по Радиационной защите (МКРЗ) (ICRP, 1995).

В данной работе использованы современные модели поведения  $^{239,240}\text{Pu}$  в организме человека, согласно которым существуют два основных отдела, в которых могут находиться радионуклиды: желудочно-кишечный тракт и экстрапульмонарная область. Барьерным органом в данном случае является желудочно-кишечный тракт. Попавший в барьерный орган  $^{239,240}\text{Pu}$  частично или полностью попадает в системный кровоток и перераспределяется между органами депонирования в экстрапульмонарной области. Из органов депонирования  $^{239,240}\text{Pu}$  постепенно высвобождается обратно в кровь с последующим перераспределением.

Для прогнозирования накопления органами  $^{239,240}\text{Pu}$ , регулярно поступающего в организм, и его выделение с мочой и фекалиями нами был использован алгоритм *RDMS 3.2.1*. Прогноз был сделан для накопления  $^{239,240}\text{Pu}$  в течение 50 лет их хронического поступления с загрязненными продуктами питания при фракционном поглощении  $^{239,240}\text{Pu}$  из желудочно-кишечного тракта в кровь, составляющем 0.1.

На рисунке 2 представлен прогноз процентного содержания  $^{239,240}\text{Pu}$  в мягких тканях и костной ткани, спустя 50 лет после их поступления в организм. Из рисунка видно, что в течение первых 10 дней количество  $^{239,240}\text{Pu}$  в тканях продолжает увеличиваться, после чего их содержание достигает равновесия.

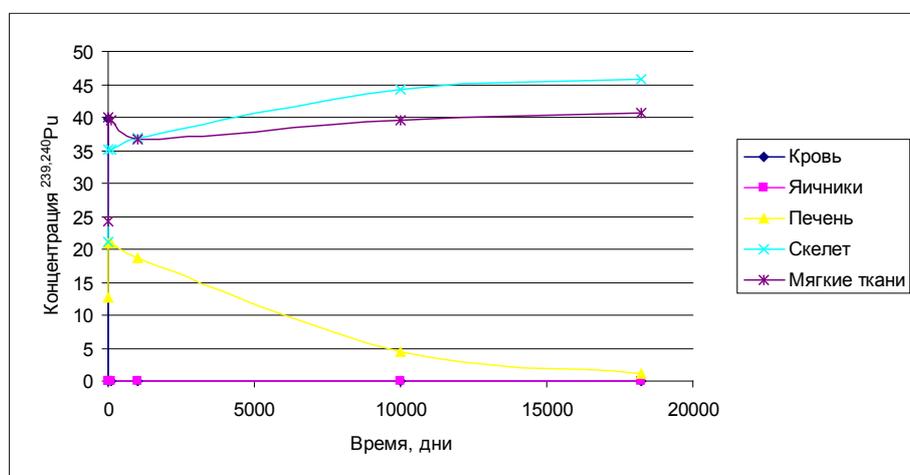


Рисунок 2 – Распределение  $^{239,240}\text{Pu}$  в организме человека при разовом поступлении изотопа

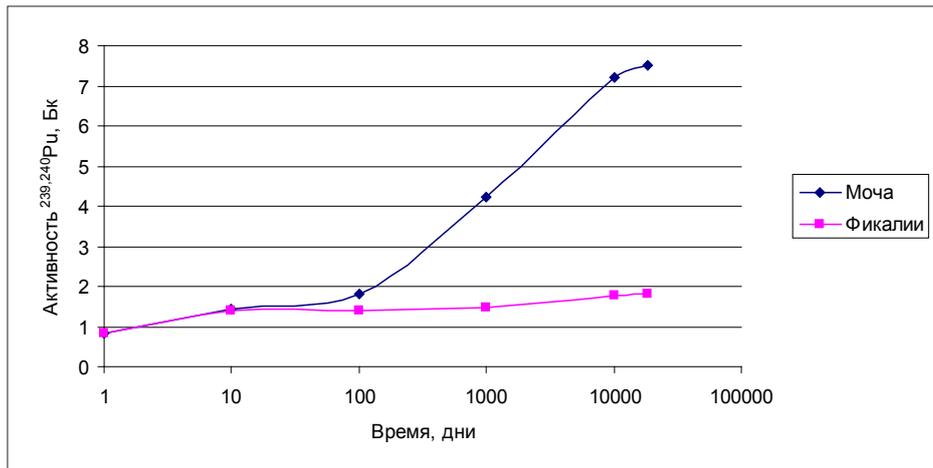


Рисунок 3 – Выделение  $^{239,240}\text{Pu}$  с мочой и фекалиями

Выделение  $^{239,240}\text{Pu}$  с мочой и фекалиями соответствует их накоплению в определенных органах человека (рисунок 3).

После определения содержания  $^{239,240}\text{Pu}$  в основных органах депонирования, была рассчитана доза внутреннего облучения. Для выполнения расчетов по определению эффективной дозы

внутреннего облучения от  $^{239,240}\text{Pu}$  принимали:

- постоянное нахождение человека в течение 50 лет на загрязненной территории;
- отсутствие средств индивидуальной защиты.

Эффективную дозу внутреннего облучения вычисляли по формуле:

$$H(t, T) = \frac{1.6 \times 10^{-13} \text{ Дж} \cdot \text{Мэв}^{-1} \sum U_{si} \times SEE_i(T \leftarrow s) \tau^{-1} \cdot \text{кг}^{-1} \times Q_i \text{Зв} \cdot \text{Гр}^{-1}}{\text{Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{Гр}^{-1}} \quad (3)$$

где  $\tau$  – количество превращений радионуклида в органе или ткани;

$U_{si}$  – кумулятивное число превращений ( $\tau$ ) радионуклида в органе или ткани;

$SEE_i$  – удельная эффективная поглощенная энергия;

$Q_i$  – взвешивающий коэффициент качества излучения

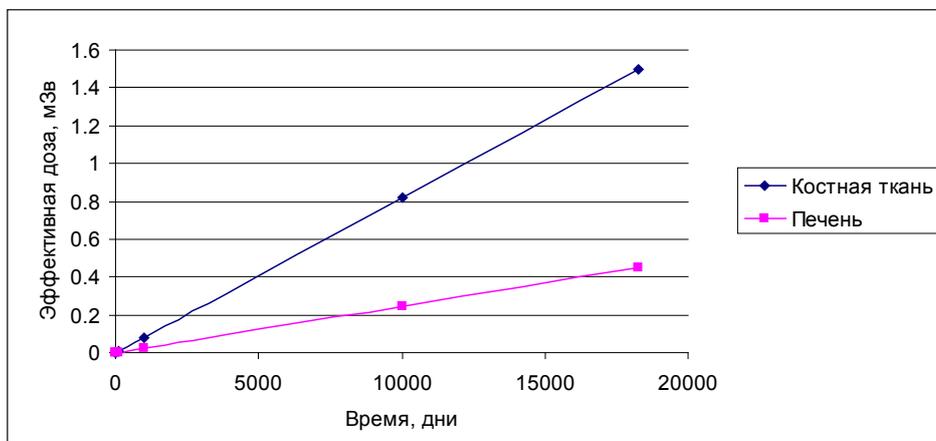


Рисунок 4 – Эффективная доза облучения органов-депонирования человека от  $^{239,240}\text{Pu}$  в течение жизни

На рисунке 4 представлена суммарная эффективная доза, полученная основными органами-депонирования от влияния  $^{239,240}\text{Pu}$ . На представленном рисунке видно, что доза облучения основных органов человеческого организма увеличивается со временем воздействия  $^{239,240}\text{Pu}$ . Особенно этот радионуклид оказывает негативное влияние на костную ткань.

Как видно из рисунка 4, человек, проживающий на загрязненной территории, может получить максимальную дозу облучения, равную  $2,85 \text{ м}^3/\text{год}$ .

Согласно НРБ-99 (Стандарты радиационной безопасности, 1999), дозовая нагрузка для населения не должна превышать  $1 \text{ м}^3$  в в год, т.е.  $50 \text{ м}^3$  в за 50 лет. Приведенные данные свидетельствуют о том, что человек может получить дозу, превышающую нормативную почти в 3

раза. Это значение соответствует эффективной дозе облучения только от  $^{239,240}\text{Pu}$ . Соответственно, если суммировать влияние остальных техногенных и природных радионуклидов на жителей зимовки Сарапан Семипалатинского полигона, возможные дозы облучения будут превышать нормативные значения в десятки раз.

### Выводы

1. В нескольких исследованных точках пробоотбора наблюдается небольшое превышение содержания изотопов плутония относительно предельно допустимого значения.

2. Годовая эффективная доза облучения людей от почвы, загрязненной плутонием-239,240, вычисленная методом математического моделирования с учетом его метаболизма, составляет  $2,85 \text{ м}^3/\text{год}$ .

### Литература

- 1 Алексахин Р.М. Ядерная энергетика и биосфера. – М.: Энергоиздат, 1982. – С. 215.
- 2 Архипов Н.П. Поведение естественных радиоактивных нуклидов техногенного происхождения в почвах / Н.П. Архипов, Л.М. Тюменцева, Л.Т. Февралева // Экология. – 1982. – №1. – С. 31-38.
- 3 Белоголова Г.А. Экогеохимия окружающей среды в зоне подземного ядерного взрыва / Г.А. Белоголова, Р.Х. Зарипов // Материалы Международной конференции «Радиоактивность при ядерных взрывах и авариях». – М., 2000. – С. 158.
- 4 Гидрогеология горного массива Дегелен // Отчет ИГИ НЯЦ РК по контракту DNA-001-95-179. – Курчатов, 1996. С. 5-7.
- 5 Махонько К.П. Ветровой подъем радиоактивной пыли с подстилающей поверхности // Институт экспериментальной метеорологии, НПО «Тайфун». – Атомная энергия, 1992. Т. 72, вып.5. – С. 49-58
- 6 Михайлов В.Н. Ядерные испытания СССР. Технология ядерных испытаний СССР. Воздействие на окружающую среду. Меры по обеспечению безопасности. Ядерные полигоны и площадки // Издание Begell-Atom, 1998. Т. 2. – С. 302.
- 7 ICRP, 1995a. Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides: Part 3: Ingestion dose coefficients. ICRP Publication 69. Ann. ICRP 25 (1).
- 8 INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, Safety Series No. 115, IAEA, Vienna (1996).
- 9 Lehto J. Chemistry and analysis of radionuclides: laboratory techniques and methodology / J.Lehto, X.Hou. – Weinheim: Wiley-VCH, 2011. – xix, 406 p.: ill. – Ind.: p.397-406.
- 10 Павлоцкая Ф.И. Распределение плутония по компонентам природных органических веществ и их роль в его миграции в почвах / Ф.И. Павлоцкая, Т.А. Горяченкова // Радиохимия, 1987. Т. 29, № 1. – С. 99-106.
- 11 Priest, N.D., Kuyanov, Y., Pohl, P., Burkitbayev M., Mitchell, P.I., Leon Vintro, L., Strilchuk, Yu.G. and Lukashenko, S.N. (2008). 'Strontium-90 contamination within the Semipalatinsk nuclear test site: results of NATO SEMIRAD projects – contamination levels and projected doses to local populations'. In: Radiological Risks in Central Asia (Proc. NATO Advanced Research Workshop, Almaty, Kazakhstan, 20-22 June 2006), NATO Science for Peace and Security Series, Environmental Security, B.Salbu and L. Skipperud (Ed) (ISBN 978-1-4020-8315-0), Chapter 9, pp. 87-106.
- 12 Сахаров, В.К. Радиоэкология / В.К. Сахаров. – М.: МИФИ, 2010. – 320 с.
- 13 Сборник радиохимических и радиометрических методик / под ред. Н.Г. Гусева, У.Л. Маргулиса, А.Н. Марья, Н.В. Тарасенко, Ю.М. Югукенберга. – М.: Медгиз, 1959. – С. 146-159
- 14 «Стандарты радиационной безопасности». НРБ-99
- 15 Ядерные испытания СССР. Семипалатинский полигон: обеспечения общей и радиационной безопасности ядерных испытаний. / кол. авторов под рук. В.А. Логачева. – М.: Вторая типография ФУ «Медбиоэкстрем» при Минздраве России, 1997. – С. 97-104.

## References

- 1 Aleksakhin P. M. (1982) Nuclear energy and the biosphere. M.: Energoizdat, -C.215.
- 2 Arkhipov N. P. The behaviour of natural radioactive nuclides of anthropogenic origin in soils / N. P. Arkhipov, L. M. Tyumentseva, L. T. Fevralev//Ecology, 1982. -№1.~ P. 31-38.
- 3 Belogolova G. A. (2000) Ecogeochemical environment in the area of underground nuclear explosion / G. A. Whitehead, R. H. Zaripov // Materials of International conference «Radioactivity under nuclear explosions and accidents». Moscow, – P. 158.
- 4 Gusev G., Margulis W. L., Marea A. N., Tarasenko N. V., Yutukkenbergs Y. M., Medgiz M. (1959a.) A collection of radiochemical and radiometric techniques, – P. 146-159
- 5 Hydrogeology of the massif Degelen (1996) // Report IGI NNC contract DNA-001-95-179, Kurchatov, P. 5-7.
- 6 ICRP, 1995a. Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides: Part 3: Ingestion dose coefficients. ICRP Publication 69. Ann. ICRP 25 (1).
- 7 INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources (1996), Safety Series No. 115, IAEA, Vienna.
- 8 Lehto J. (2011) Chemistry and analysis of radionuclides: laboratory techniques and methodology / J.Lehto, X.Hou. – Weinheim: Wiley-VCH, – xix, 406 p.: ill. – Ind.: p.397-406.
- 9 Makhon'ko, K. P. (1992) Wind lift radioactive dust from the underlying surface // Institute of experimental meteorology, Spa «Typhoon». – Nuclear energy, V. 72, p.5. – p 49-58
- 10 Mikhailov V. N. (1998) USSR nuclear tests. The technology of nuclear tests, USSR. The impact on the environment. Measures to ensure security. Nuclear test sites and platforms // Publishing Begell-Atom, V. 2. – P. 302.
- 11 Pavlotskaya F. I. (1987) Distribution of plutonium in components of the natural organic substances and their role in migration in soils / F. I. Pavlotskaya, T. A. Goryachenkova // radiochemistry, V. 29, № 1. – P. 99-106.
- 12 Priest, N.D., Kuyanova, Y., Pohl, P., Burkitbayev M., Mitchell, P.I., Leon Vintro, L., Strilchuk, Yu.G. and Lukashenko, S.N. (2008). 'Strontium-90 contamination within the Semipalatinsk nuclear test site: results of NATO SEMIRAD projects – contamination levels and projected doses to local populations'. In: Radiological Risks in Central Asia (Proc. NATO Advanced Research Workshop, Almaty, Kazakhstan, 20-22 June 2006), NATO Science for Peace and Security Series, Environmental Security, B.Salbu and L. Skipperud (Ed) (ISBN 978-1-4020-8315-0), Chapter 9, pp. 87-106.
- 13 Sakharov, V. K. (2010) Radioecology / V. K. Sakharov.: MIFI, –P. 320
- 14 «Standards of radiation safety». NRB-99
- 15 USSR nuclear tests. Semipalatinsk test site: providing General and radiation safety of nuclear tests. / Cole. authors. V. A. Logacheva. M.( 1997 a): Second printing FU medbioekstrem at Ministry of health of Russia, – P. 97-104.