

УДК 577.4: 614.876:539.166

## ПЛОЩАДНОЕ РАДИАЦИОННОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ МЕСТ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ БОЕВЫХ РАДИОАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ НА ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКЕ «4» СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА

Скрипников М.В., Айдарханов А.О., Умаров М.А., Мустафина Е.В., Кривицкий П.Е.

Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

В статье представлены результаты радиоэкологического обследования испытательной площадки «4», расположенной на территории Семипалатинского испытательного полигона, где ранее проводились испытания боевых радиоактивных веществ. На исследуемой территории выполнена пешеходная гамма-спектрометрическая съемка, дискретная гамма-спектрометрическая съемка, лабораторное определение качественного и количественного радионуклидного состава почвы. Обнаружено 9 новых участков радиоактивного загрязнения.

**Ключевые слова:** Семипалатинский испытательный полигон (СИП), боевые радиоактивные вещества (БРВ),  $^{90}\text{Sr}$ , пешеходная гамма-спектрометрическая съемка (ПГСС), дискретная гамма-спектрометрическая съемка (ДГСС) радиоактивное загрязнение.

### ВВЕДЕНИЕ

На территории Семипалатинского испытательного полигона (СИП) кроме основных участков загрязнения, существует другой значимый источник радиоактивного загрязнения, который появился в результате проведения испытаний боевых радиоактивных веществ (БРВ) [1]. Испытания представляли собой рассеяние БРВ путем подрыва отдельных снарядов, бомбардировки участков минометными снарядами, сброса бомб с бомбардировщиков или распыления БРВ с самолетов. БРВ представляли собой жидкие или порошкообразные рецептуры, изготовленные либо из отходов радиохимического производства, либо путем облучения, специально подобранных веществ, нейтронами работающего атомного реактора. Их удельная активность колебалась от десятых долей до нескольких кюри на литр.

В настоящее время известны координаты испытательных площадок «4» и «4а», где проводились испытания БРВ. В статье рассмотрена площадка «4». В результате ранее проведенных обследований испытательной площадки «4» обнаружены отдельные фрагменты металлических изделий, используемых при испытаниях БРВ, а также определены участки локального радиоактивного загрязнения, характеризующиеся высокими значениями основных долгоживущих техногенных радионуклидов:  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$  [2]. Проводимые обследования включали в себя гамма-съемку и измерение плотности потока  $\alpha$ - и  $\beta$ - частиц с поверхности почвенного покрова. Радиологическое обследование проводилось в масштабе 1:20 000, фиксированные радиометрические измерения проводились по регулярной равномерной сети 200×200 м.

Ранее проведенное обследование площадки «4», позволило обнаружить 5 участков локального радиоактивного загрязнения (рисунок 1) [3].

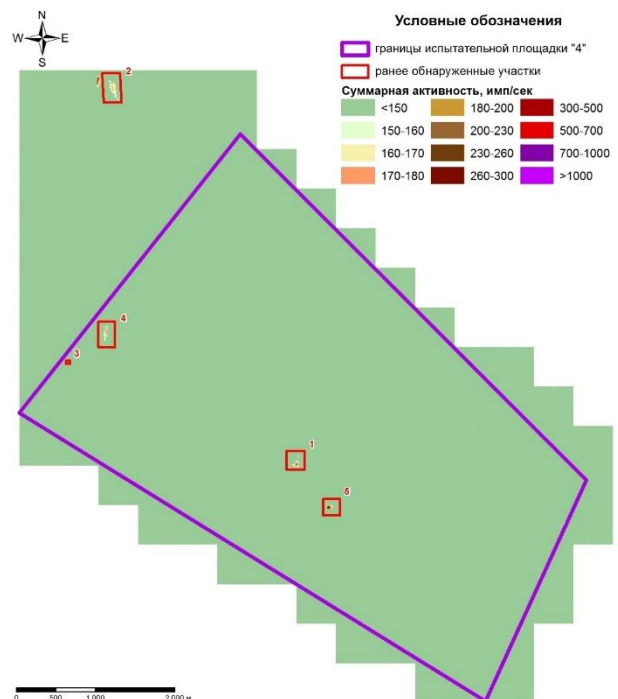


Рисунок 1. Ранее обнаруженные участки радиоактивного загрязнения на территории площадки «4»

Данные участки радиоактивного загрязнения расположены как на территории площадки «4», так и за ее пределами. Исследование этих участков показало, что преобладающим элементом, который вносит основной вклад в радиоактивное загрязнение является  $^{90}\text{Sr}$ , его уровни варьируют от десятков до миллионов Бк/кг. Принимая в учет, что данное обследование проводилось по сети 200×200 метров существовала вероятность того, что не все участки радиоактивного загрязнения были обнаружены, т.е. примененная сеть обследования не являлась эффективной для поиска такого типа загрязнения. Доказательством обоснованности данного предположения послужил тот факт, что после обследования, в один из рекогносци-

ровочных выездов, был обнаружен дополнительный участок. Таким образом, для поиска всех возможных участков радиоактивного загрязнения – от точечных до масштабных, было решено провести обследование всей территории испытательной площадки «4», с использованием метода пешеходной гамма-спектрометрической съемки (ПГСС), по сгущенной сети 20×20 м.

#### МЕТОДИКА ОБСЛЕДОВАНИЯ

##### Пешеходная гамма-спектрометрическая съемка

Метод ПГСС основан на непрерывном наборе гамма-спектров во время движения оператора по заданному маршруту на обследуемой местности с определенной скоростью движения (рисунок 2).



Рисунок 2. Схема движения оператора по сети обследования 20×20 метров

Измерение проводят при помощи комплекса оборудования, основой которого является сцинтилляционный гамма-спектрометр и портативный компьютер, оборудованный GPS модулем. Обработка результатов измерений, управление процессами регистрации и накопления спектров гамма-излучения обеспечиваются соответствующим программным обеспечением. Сцинтилляционный гамма-спектрометр, располагается на высоте 50 см от измеряемой поверхности, через каждые 10 с происходит автоматическая запись гамма-спектра с сохранением его на портативный компьютер. Каждый гамма-спектр имеет координатную привязку и характеризует конкретный участок местности. Далее, производится обработка спектров и по результатам обработки строятся карты радиоактивного загрязнения местности.

Поскольку гамма-спектрометром невозможно на прямую определить наличие бета-излучающих радионуклидов, к которым относится  $^{90}\text{Sr}$ , преобладающих на испытательной площадке, идентификация участков радиоактивного загрязнения проводилась по суммарной активности гамма-импульсов по всему спектру, куда в свою очередь входит тормозное гамма-излучение, возникающее при взаимодействии бета-частицы с окружающей средой.

##### Дискретная гамма-спектрометрическая съемка

В ходе проведенной ПГСС на одном из обнаруженных участков радиоактивного загрязнения проводилась дополнительная дискретная гамма-спектрометрическая съемка (ДГСС). На данном объекте загрязнение характеризуется множественным количеством несвязанных узлокальных пятен, в связи с

чем для определения четких контуров проводилась съемка по сети 2×2 м.

ДГСС основана на методе ПГСС, но в отличие от нее измерения проводятся не в процессе движения, а в строго фиксированных точках с сантиметровой точностью, что обеспечивается высокоточным навигационным оборудованием – GNSS «Epoch - 50». Помимо этого, отличаются параметры обследования: детектор размещен на 10 см от поверхности, увеличен набор спектра до 30 с, что позволяет повысить чувствительность измерения, а также сгущена сеть до размера 2×2 м, что в свою очередь позволяет увеличить детализацию загрязнения.

##### Определение уровней радиоактивного загрязнения

Для количественной оценки радиоактивного загрязнения почвы, применялся метод отбора проб почвы с последующими лабораторными анализами.

По результатам проведенной ПГСС в точках с максимальной суммарной активностью гамма-импульсов производился послынный отбор проб почвы. Всего было заложено 12 почвенных разрезов, глубиной 50 см каждый. Отбор проб почвы проводился на всю глубину разреза с шагом 10 см, площадь отбора 100 см<sup>2</sup>. Всего отобрано 60 проб почвы. В месте отбора проб выполнялось измерение мощности эквивалентной дозы (МЭД) на высоте 100 см и 3–4 см над поверхностью почвы [4]. Для определения значений МЭД и плотности потока бета - частиц, использовался дозиметр МКС-АТ1117М или дозиметр МКС-АТ6130.

Определение гамма-излучающих радионуклидов в почве проводилось с использованием гамма-спектрометров производства фирмы «ORTEC», в состав которых входили: полупроводниковый детектор серии GEM и цифровой анализатор спектров digiDART. Измерения проводились в соответствии с методикой выполнения измерений на гамма-спектрометре № 5.06.001.98 РК. [5]. В качестве измерительных контейнеров использовались пластиковые емкости в форме прямого цилиндра диаметром 94 мм, высота образца варьировала в зависимости от массы. Масса навесок составляла от 500 до 1000 г. Время экспозиции составляло не менее 30 мин.

Определение  $^{90}\text{Sr}$  проводилось на бета-спектрометре «Прогресс – БГ». Проба высушивалась в сушильном шкафу при температуре 110–120 °С и просеивалась через сито с размером ячейки 2×2 мм. Далее измельчалась в течение 20 мин. Измерения проводились в соответствии с методикой выполнения измерений на бета-спектрометре № КЗ 07.00.00303-2004 [6]. В качестве измерительных контейнеров использовались металлические кюветы (подложки) диаметром 70 мм, высота образца варьировала в зависимости от массы. Масса навесок составляла от 5 до 15 г. Время экспозиции составляло не менее 20 мин.

Определение содержания  $^{239+240}\text{Pu}$  проводилось посредством его радиохимического выделения с последующим  $\alpha$ -спектрометрическим анализом. Прокаленная навеска почвы, после внесения трассера, разлагалась концентрированными растворами кислот ( $\text{HF}$ ,  $\text{HNO}_3$ ). Для концентрирования, очистки и выделения изотопов плутония использовали сильноосновный анионит АВ 17×8. Спектрометрический источник плутония использовали путем электролитического осаждения изотопов плутония на стальную пластину при силе тока 1,4 А в течение 1 часа. Измерения проводились в соответствии с методикой выполнения измерений на альфа-спектрометре № 43151.4Б207/01.00294-2010 [7].

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

#### Пешеходная гамма-спектрометрическая съемка

Всего методом ПГСС проведено обследование общей площадью – 37 км<sup>2</sup>. По полученным данным построена карта площадного распределения радиоактивного загрязнения территории по общей активности гамма-импульсов в секунду (рисунок 3). По результатам ПГСС выявлено 9 новых объектов, сконцентрированных в основном в центральной части испытательной площадки.

В общей сложности вместе с ранее выявленными объектами на территории испытательной площадки идентифицировано 14 участков радиоактивного загрязнения. Как видно на карте (рисунок 3) значения суммарной активности и размеры обнаруженных участков радиоактивного загрязнения значительно отличаются друг от друга.

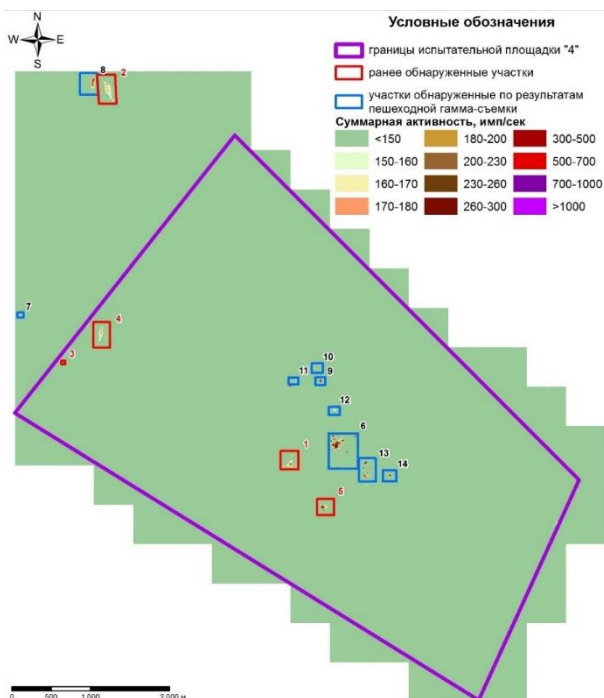
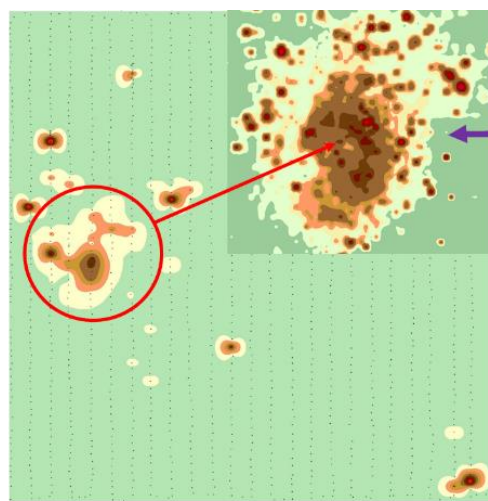


Рисунок 3. Карта участков радиоактивного загрязнения территории площадки «4»

Объекты представляют собой небольшие по площади участки – от 0,001 до 0,1 км<sup>2</sup>. Суммарная площадь объектов ~ 0,37 км<sup>2</sup>. Суммарная активность варьируется в диапазоне от <math><150</math> до 1420 имп./сек. На исследуемой территории преобладает характер локальной концентрации радиоактивного загрязнения.

#### Дискретная гамма-спектрометрическая съемка

Всего методом дискретной гамма-спектрометрической съемки (ДГСС) проведено обследование общей площадью 0,024 км<sup>2</sup>. По полученным данным построена карта площадного распределения радиоактивного загрязнения территории по общей активности гамма-импульсов в секунду (рисунок 4).



Пешеходная гамма-съемка (шаг сетки 20х20м)

Дискретная гамма-съемка (шаг сетки 2х2м)

Рисунок 4. Сравнение результатов пешеходной и дискретной гамма-спектрометрических съемок

На основании результатов ПГСС, площадь радиоактивно загрязненного участка составила ~9 200 м<sup>2</sup>, а на основании результатов ДГСС, площадь уменьшилась на 20% и составила ~7 400 м<sup>2</sup>, что более детально охарактеризовало имеющийся участок радиоактивного загрязнения, а также позволило выявить узколокальные пятна в ряде случаев меньше 5 м<sup>2</sup>.

#### Определение уровней радиоактивного загрязнения

По результатам оценки радиационной ситуации на территории площадки «4» зарегистрированы значения интегральных радиационных параметров: МЭД от <math><0,1</math> до 1 мкЗв/ч, плотность потока бета-частиц от <math><10</math> част/(см<sup>2</sup>·мин) до более чем 2·мин), что в 10 раз превышает фоновые значения по МЭД и в 1000 раз превышает фоновые значения по плотности потока бета-частиц для территорий Республики Казахстан. В результате проведенных лабораторных анализов установлено, что

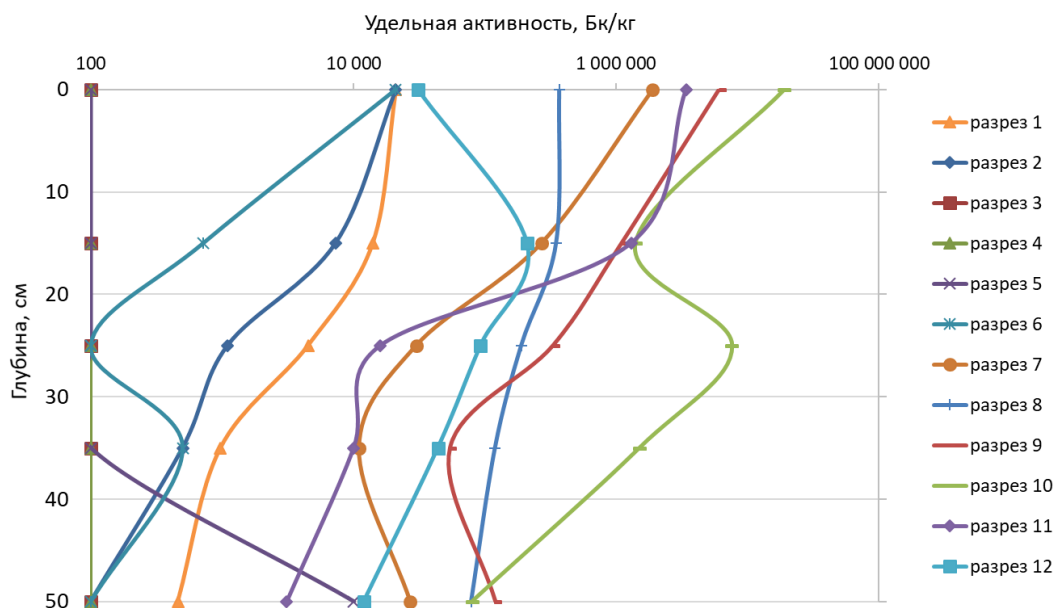


Рисунок 5. Распределение удельной активности  $^{90}\text{Sr}$  по глубине

удельная активность радионуклидов в почве варьирует:  $^{137}\text{Cs}$  от  $<0,3$  до  $1,5 \cdot 10^3$  Бк/кг,  $^{241}\text{Am}$  от  $<0,3$  до  $1,2 \cdot 10^3$  Бк/кг,  $^{239+240}\text{Pu}$  от 7 до  $3,9 \cdot 10^3$  Бк/кг,  $^{90}\text{Sr}$  от  $<10^2$  до  $1,9 \cdot 10^7$  Бк/кг.

Для изучения распределения радиоактивного загрязнения по глубине к рассмотрению взят  $^{90}\text{Sr}$ , поскольку на основании лабораторных анализов проб приповерхностного слоя почвы установлено, что основным источником радиоактивного загрязнения территории площадки «4» является радионуклид  $^{90}\text{Sr}$ . По результатам построен график распределения  $^{90}\text{Sr}$  по глубине в местах испытания БРВ (рисунок 5).

В основном (разрез 1, 2, 3, 4, 8, 12) активность  $^{90}\text{Sr}$  с углублением снижается, что является классическим распределением, хотя в ряде случаев (разрез 6, 7, 9, 11) имеются отклонения, что может быть связано с различной структурой почв, просачиванием через трещиноватости и скоплением в определенной области. Также присутствуют участки, на которых распределение  $^{90}\text{Sr}$  по глубине имеет аномальный характер (разрез 5, 10), то есть на глубине концентрация  $^{90}\text{Sr}$  значительно выше, чем на поверхности. Предположительно это может быть связано с попытками засыпания части радиоактивного материала после проведения экспериментов.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное обследование показало, что на территории площадки «4» существуют узколокальные участки радиоактивного загрязнения, которые ранее не были выявлены. По результатам ПГСС идентифицировано 9 новых объектов с повышенным содержанием техногенных радионуклидов. Объекты предста-

вляют собой небольшие по площади участки от 0,001 до 0,1 км<sup>2</sup>. Суммарная площадь всех объектов, с учетом ранее выявленных, составляет  $\sim 0,37$  км<sup>2</sup>.

На площадке присутствуют участки, на которых значения интегральных радиационных параметров – МЭД и плотность потока бета-частиц, достигают 1 мЗв/ч, и более чем  $1,0 \cdot 10^5$  част/(см<sup>2</sup>·мин) соответственно. Эти параметры значительно превышают фоновые значения для территории Республики Казахстан. Установлено, что значения удельной активности  $^{90}\text{Sr}$  на несколько порядков превышают значения по остальным техногенным радионуклидам. В большинстве случаев  $^{90}\text{Sr}$  имеет классическое распределение по глубине и с углублением его концентрация снижается, хотя в ряде случаев имеются отклонения, что может быть связано с различной структурой почв и поскольку рецептура БРВ находилась в жидком виде, возможно часть радиоактивного материала после проведения экспериментов просачивалась в трещиноватости в почве и могла скапливаться в полостях.

В целом испытания БРВ вызвали радиоактивное загрязнение, которое до сих пор представляет реальную опасность облучения для местного населения, проживающего поблизости и осуществляющего сельскохозяйственную деятельность. Радиоактивное загрязнение, вызванное испытаниями БРВ и сформировавшееся в результате миграционных процессов, является потенциальным источником вторичного радиоактивного загрязнения окружающей среды, как в пределах площадок, так и на прилегающих территориях, что говорит о необходимости проведения реабилитационных мероприятий.



#### ЛИТЕРАТУРА

1. Логачев В. А. Радиоэкологические последствия испытаний БРВ на Семипалатинском полигоне / под рук. Н. Я. Левченко // Бюллетень по атомной энергии. Центральный научно-исследовательский институт управления, экономики и информации. – 2002. – № 12. – 94 с.
2. Осинцев А. Ю., Митяев А. В., Стрильчук Ю. Г. Неинтрузивное обследование площадок проведения испытаний боевых радиоактивных веществ на СИП // Семипалатинский испытательный полигон. Радиационное наследие и проблемы нераспространения: матер. II междунар. научно-практ. конф., 6–8 сентября 2005 г. – Курчатов: ИРБЭ НЯЦ РК, 2005. – Т. 1. – С. 280–286.
3. Исследование полигона изучение вариантов в по оценке и ремедиации возможных площадок для размещения хранилища отработанного ядерного топлива на Семипалатинском испытательном полигоне в Казахстане: итоговый технический отчет, по проекту о выполнении работ в период с 01 февраля 2006 г. по 31 июля 2007 г.: Проект МНТЦ К-1323р. / Институт радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК (ИРБЭ НЯЦ РК); рук. проекта Стрильчук Ю. Г. – Курчатов: ИРБЭ НЯЦ РК, 2007. – 68 с.
4. Методические указания по обследованию радиационной обстановки и радиоэкологической агрооценке сельскохозяйственных угодий на территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона и прилегающих к нему регионов. Пособие рассмотрено и одобрено на расширенном заседании методического семинара ИРБЭ НЯЦ РК (протокол № 17 от 2.04.98 года) и утверждена с рекомендацией к изданию решением научно-технического Совета ИРБЭ НЯЦ РК.
5. Активность радионуклидов в объемных образцах. Методика измерений на гамма-спектрометрах с использованием программного обеспечения «SpectraLine». – Введ. 2004-08-26. – Рег. № KZ.07.00.00303-2004 – М.: РГП «Казахский институт метрологии», 2004.
6. Методика измерения активности радионуклидов с использованием сцинтилляционного бета-спектрометра с программным обеспечением «Прогресс» – Введ. 2014-02-08. – KZ.07.00.01239-2010. – Алматы: ИЯФ НЯЦ РК, 2014.
7. Методика определения содержания искусственных радионуклидов плутония – (239+240), стронция-90 в объектах окружающей среды (почвах, грунтах, донных отложениях и растениях). – Введ. 2010-12-01. – Рег. № 43151.4Б207/01. 00294-2010. – М.: НПО ВНИИФТРИ, 2010.

### СЕМЕЙ СЫНАҚ ПОЛИГОНЫ «4» СЫНАҚ АЛАҢЫНДА ӘСКЕРИ РАДИОАКТИВТІ ЗАТТЕКТЕРДІ СЫНАУ ӨТКІЗІЛГЕН ЖЕРЛЕРДІ АЛАҢДЫҚ РАДИАЦИЯЛЫҚ ЗЕРТТЕУІ

М.В. Скрипников, А.О. Айдарханов, М.А. Умаров, Е.В. Мустафина, П.Е. Кривицкий

*ҚР ҰЯО РМК «Радиациялық қауіпсіздік және экология институты» филиалы, Курчатов, Қазақстан*

Бұл мақалада, бұдан бұрын әскери радиоактивті заттектерді сынау жүргізілген жерлерде, Семей сынақ полигоны аумағында орналасқан «4» сынақ алаңындағы радиоэкологиялық зерттеу нәтижелері келтірілді. Зерттеліп жатқан аумақта жаяу гамма-спектрометриялық түсіру, дискретті гамма-спектрометриялық түсіру, топырақтың радионуклидтік құрамының сапалық және мөлшерлік құрамын зертханалық анықтау жұмыстары орындалды. Радиоактивті ластанған 9 жаңа телім анықталды.

**Кілт сөздер:** Семей сынақ полигоны (ССП), әскери радиоактивті заттектер (ӘРЗ), <sup>90</sup>Sr, жаяу гамма-спектрометриялық түсіру (ЖГСТ), дискретті гамма-спектрометриялық түсіру (ДГСТ) радиоактивті ластану.

### AREAL RADIOLOGICAL SURVEY OF THE VENUES OF WARFARE RADIOACTIVE AGENTS TESTS AT THE SITE «4» OF SEMIPALATINSK TEST SITE

M.V. Skripnikov, A.O. Aidarkhanov, M.A. Umarov, Ye.V. Mustafina, P.E. Krivitskiy

*Branch «Institute of Radiation Safety and Ecology» RSE NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan*

The paper provides results of radioecological survey of the site «4» at the territory of Semipalatinsk Test Site, where warfare radioactive agents were tested. Pedestrian gamma-survey and discrete gamma-spectrometric survey was carried out at the territory researched, and also quantitative and qualitative radionuclide composition of soil was determined. 9 new radioactively contaminated areas were discovered.

**Keywords:** Semipalatinsk Test Site (STS), warfare radioactive agents (WRA), <sup>90</sup>Sr, pedestrian gamma-survey (PGSS), discrete gamma-spectrometric survey (DGSS), radioactive contamination.