

# ОСОБЕННОСТИ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ В МЕСТАХ ПРОВЕДЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ НА ПЛОЩАДКЕ «САРЫУЗЕНЬ»

## FEATURES OF RADIOACTIVE CONTAMINATION OF SOIL IN THE FIELD OF UNDERGROUND NUCLEAR TEST SITE «SARY UZEN»

**П. Е. Кривицкий, А. О. Айдарханов, Н. В. Ларионова, А. А. Чернов**  
**P. Ye. Krivitskiy, A. O. Aidarkhanov, N. V. Larionova, A. A. Chernov**

Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК  
г. Курчатов, Республика Казахстан  
Krivitskiy@nnc.kz

Branch 'Institute of Radiation Safety and Ecology' NNC RK, Kurchatov, Republic of Kazakhstan  
Krivitskiy@nnc.kz

В статье представлены результаты обследования почвенного покрова приустьевых территорий скважин площадки «Сары-Узень». На площадке, расположенной на территории Семипалатинского испытательного полигона (СИП), проводились подземные ядерные испытания в скважинах. На исследуемой территории выполнено обследование при помощи пешеходной гамма-спектрометрической съемки, а также проведено определение уровней радиоактивного загрязнения почвы. Всего выделено 2 основные группы. К первой группе относятся скважины, на приустьевой территории которых имеется радиоактивное загрязнение почвы (19 скважин). Ко второй группе относятся скважины, на которых радиоактивное загрязнение поверхностного слоя почвы отсутствует (9 скважин). По результатам обследования установлены значения удельной активности  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{239+240}\text{Pu}$ .  $^{137}\text{Cs}$ .

The article presents the results of the survey of the soil cover of the estuarine territories of boreholes at the «Sary-Uzen» site. The site is located on the territory of the Semipalatinsk Test Site (STS) and an underground nuclear test was conducted in the boreholes. In the study area, a survey was conducted using pedestrian gamma-ray spectrometric surveys and assessment of levels of radioactive contamination of the soil. A total of 2 main groups were identified. The first group includes boreholes, on the mouth area of which there is radioactive contamination of the soil (19 boreholes). The second group includes wells in which there is no radioactive contamination of the surface soil layer (9 boreholes). According to the results of the survey, the specific activity values of  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$  were determined.

**Ключевые слова:** Семипалатинский испытательный полигон, «Сары-Узень», подземные ядерные испытания, радиоактивное загрязнение.

**Keywords:** Semipalatinsk test site, «Sary-Uzen», underground nuclear tests, radioactive contamination.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-273-276>

**Введение.** Семипалатинский испытательный полигон (СИП) – самый крупный ядерный полигон СССР. Всего за период функционирования на территории полигона проведено 340 подземных испытаний (площадки «Балапан», «Дегелен», «Сары-Узень»), 30 наземных и 86 воздушных (площадка «Опытное поле») [1]. С 1949 по 1962 гг., в основном, проводились атмосферные и наземные испытания на площадке «Опытное поле», но после вступления в силу международного договора о запрете проведения ядерных испытаний в космосе, воздухе и воде испытания стали проводиться под землей. Одной из площадок, где проводились подземные ядерные испытания является площадка «Сары-Узень», которая находится в западной части СИП.

По историческим данным в период с 1965 по 1980 годы на территории площадки «Сары-Узень» проводились в основном подземные ядерные взрывы в вертикальных выработках. Всего по официальным данным на территории площадки проведено 24 ядерных испытания в 25 скважинах (различие в количестве обусловлено проведением группового испытания в скважинах №№ 109 и 2803), из которых на 7 проведены взрывы камуфлета полного (ВКП), на 17 – взрывы неполного камуфлета (ВНК) и на 1 – взрыв с выбросом грунта (ВВГ) [2].

Первое масштабное радиологическое обследование площадки «Сары-Узень», после закрытия СИП, было проведено в 2005-2006 гг. и заключалось в измерении радиационных параметров на приустьевых площадках (МЭД, плотность потока бета-частиц). В ходе данного обследования были установлены некоторые расхождения с историческими данными. Так, помимо 25 скважин было обнаружено еще 3: X2, X3, X4 [3].

Однако, детальное изучение материалов проведенного обследования показывает, что отдельные выводы вызывают некоторые сомнения. Это дает основание предположить, что результаты, полученные при радиационном

обследовании в 2005 - 2006 гг., не в полной мере показывают радиационную ситуацию, и необходимо детальное изучение радиационной ситуации в местах проведения подземных ядерных испытаний на площадке «Сары-Узень».

Качественное выполнение запланированных работ обеспечивается наличием более современной научно-технической базы, позволяющей идентифицировать и характеризовать небольшие участки радиоактивного загрязнения, которые с большой вероятностью могли быть не зафиксированы ранее.

**Материалы и методы.** Оценка пространственного распределения радионуклидов на приусыевой территории состояла из определения характера площадного распределения и уровней радиоактивного загрязнения почвы. Для определения характера площадного распределения техногенных радионуклидов в поверхностном слое почвы применен метод пешеходной гамма-спектрометрической съемки. Для измерений использовался гамма-спектрометр со сцинтилляционным детектором на основе кристалла бромида лантана ( $\text{LaBr}_3$ ). Детектор располагался на высоте 50 см от поверхности почвы. Расстояние между профилями составляло 10 м. По результатам пешеходной гамма-спектрометрической съемки получен набор гамма-спектров, характеризующих площадное распределение гамма-излучающих радионуклидов на обследуемой территории. Далее проведен обсчет спектров и построены карты поверхностного распределения основных гамма-излучателей.

Для определения уровней радиоактивного загрязнения почвы проводился отбор проб почвы в позициях с максимальными значениями скорости счета гамма-импульсов, с последующим лабораторным анализом. Отбор проб почвы проводился для определения удельной активности осколков деления ядерного топлива ( $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ ) и трансурановых радионуклидов ( $^{241}\text{Am}$  и  $^{239+240}\text{Pu}$ ). Также результаты лабораторных измерений  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  использовались для сопоставления результатов, полученных расчётным методом по результатам пешеходной гамма-спектрометрической съемки. Измерение удельной активности радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{241}\text{Am}$  проводили методом гамма-спектрометрии [4],  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{239+240}\text{Pu}$  – методом радиохимического выделения с последующей бета- и альфа-спектрометрией [5].

**Результаты и обсуждение.** На основании анализа всех результатов обследования за разные периоды времени проведено разделение всех скважин по наличию и отсутствию радиоактивного загрязнения на них (Рис. 1).

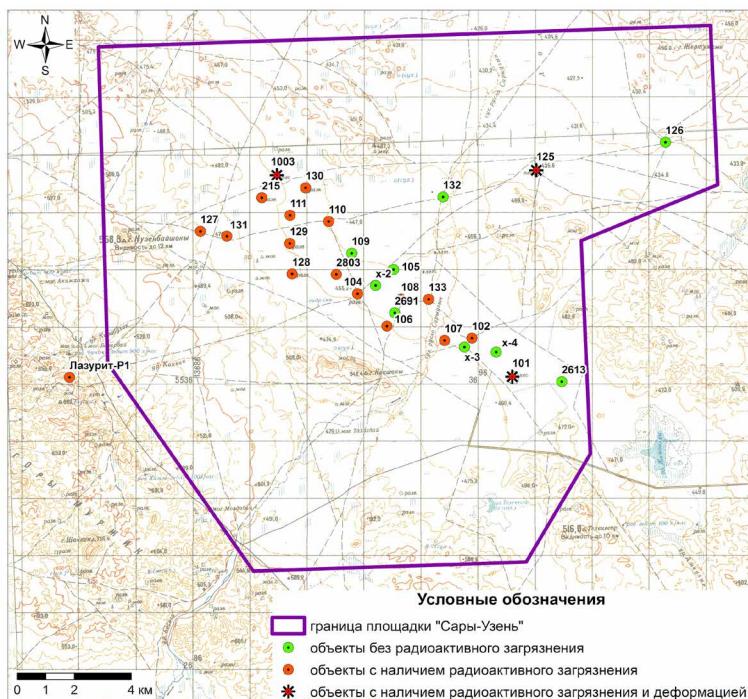


Рис. 1 – Карта-схема площадки «Сары-Узень»

К первой группе можно отнести скважины, на которых имеется радиоактивное загрязнение почвы (19 объектов), включая скважины с деформацией земной поверхности (3 объекта). Ко второй группе относятся все объекты, на которых существенного загрязнения нет (9 объектов).

По полученным данным лабораторных исследований можно отметить, что в настоящее время на приусыевом пространстве скважин площадки «СарыУзень» присутствует участки с повышенным содержанием техногенных радионуклидов в почве, достигающим следующих значений удельной активности:  $^{241}\text{Am}$  – до  $n \cdot 10^5$  Бк/кг,  $^{137}\text{Cs}$  до  $n \cdot 10^4$  Бк/кг,  $^{239+240}\text{Pu}$  – до  $n \cdot 10^6$  Бк/кг,  $^{90}\text{Sr}$  –  $n \cdot 10^4$  Бк/кг.

К скважинам без деформации земной поверхности в основном относятся те, где либо произошел взрыв не- полного камуфлета, либо нештатная радиационная ситуация с выбросом продуктов взрыва через боевую скважину. В случае выноса продуктов взрыва радиоактивное загрязнение характеризуется высоким содержанием продуктов распада и трансуранов. В случае попадания в атмосферу продуктов взрыва в газо- и парообразной фазе

через образовавшуюся в земле трещину загрязнение характеризуется высоким содержанием продуктов распада и относительно невысоким содержанием трансуранов.

Для рассмотрения характера и особенностей радиоактивного загрязнения при выносе продуктов взрыва через боевую скважину взята скважина № 215. Из карты распределения  $^{137}\text{Cs}$  хорошо прослеживается вынос материалов взрыва (Рис. 2).

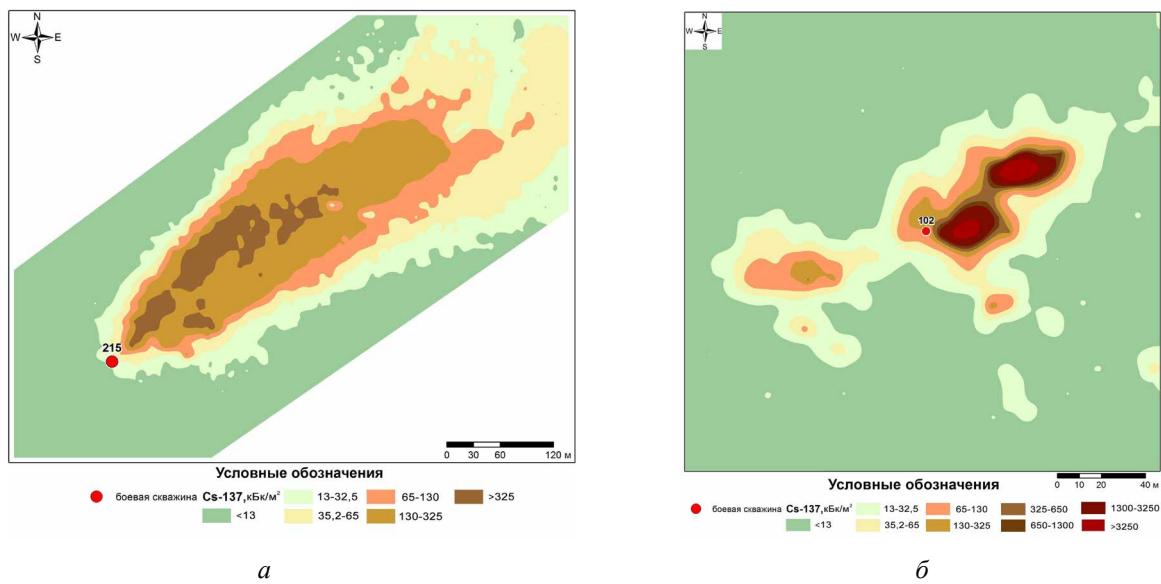


Рис. 2 – Карты площадного распределения  $^{137}\text{Cs}$  на территории скважин: а) № 215; б) № 102

По характеру пространственного распределения можно судить о нештатной радиационной ситуации. Как видно из карт, распространение радиоактивного загрязнения проходило в сторону северо-востока, а очаг максимального загрязнения сконцентрирован в радиусе до 400 м. Наибольший вклад в радиоактивное загрязнение вносят  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{241}\text{Am}$  и  $^{239+240}\text{Pu}$  соответственно. На настоящий момент у устья скважины отсутствует какая-либо деформация земной поверхности, а сама она закрыта бетонной крышкой.

Для рассмотрения характера и особенностей радиоактивного загрязнения при попадании в атмосферу продуктов взрыва в газо- и парообразной фазе через образовавшиеся в земле трещины взята скважина № 102. Пространственное распределение радиоактивного загрязнения образовано как минимум 4 областями выхода продуктов взрыва в газо- и парообразной фазе через образовавшиеся в земле трещины, о чем свидетельствую 4 обособленных области радиоактивного загрязнения. Наибольший вклад в радиоактивное загрязнение вносит  $^{137}\text{Cs}$ , значительно меньше  $^{241}\text{Am}$  и  $^{239+240}\text{Pu}$  соответственно. В настоящее время в районе скважины земная поверхность почвы ровная, послевзрывные изменения отсутствуют.

К скважинам с деформацией земной поверхности в основном относятся те, на которых проводился промышленный ВВГ, целью которого было создание какой-либо инфраструктуры. Примером может послужить подземный ядерный взрыв в скважине № 1003 14 октября 1965 г., основной целью проведения которого было изучение возможности создания канала через навал грунта [4]. Однако в ряде случаев причиной образования воронки может стать нештатная радиационная ситуация при проведении испытания, как это произошло при подземном ядерном испытании в скважине № 101.

Для рассмотрения взята скважина № 101. На текущий момент времени последствия испытания представляют собой воронку диаметром 350–400 м, с высотой навала порядка 10–15 м. Дно воронки заполнено водой. Наибольший вклад в радиоактивное загрязнение вносят  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{241}\text{Am}$  и  $^{239+240}\text{Pu}$  соответственно (Рис. 3).

Как видно из карты площадного распределения,  $^{137}\text{Cs}$  загрязнение представляет собой окружность почти в 1,5 км в диаметре. Основная часть загрязнения сконцентрирована в зоне навала. На карте можно наблюдать след выпадений радиоактивного загрязнения, уходящий в южном направлении.

И последние – скважины без радиоактивного загрязнения. К ним соответственно относятся испытания, вследствие которых весь массив продуктов взрыва остался погребенным под землей, таких скважин 9.

**Заключение.** Основываясь на результатах проведенного обследования определено, что в настоящее время на площадке «Сары-Узень» присутствует радиоактивное загрязнение в почве достигающие следующих значений удельной активности:  $^{241}\text{Am}$  – до  $n \cdot 10^5$  Бк/кг,  $^{137}\text{Cs}$  до  $n \cdot 10^4$  Бк/кг,  $^{239+240}\text{Pu}$  – до  $n \cdot 10^6$  Бк/кг,  $^{90}\text{Sr}$  –  $n \cdot 10^4$  Бк/кг,  $^{152}\text{Eu}$  – до  $n \cdot 10^3$  Бк/кг. Радиоактивное загрязнение подобных уровней вызвано проведением ВНК или ВВГ при проведении подземных ядерных испытаний и в основном сконцентрировано на приусадебных площадках скважин. Однако, наличие радиоактивного загрязнения характерно не для всех объектов. Из 28 имеющихся скважин на 9 радиоактивное загрязнение почвы отсутствует. В свою очередь, оставшиеся 19 имеют характерные особенности радиоактивного загрязнения, в зависимости от специфики проведения испытания.

Скважины без деформации земной поверхности и наличием радиоактивного загрязнением в основном характеризуются локальным загрязнением, зачастую не превышающим 200 м от точки выхода радиоактивности, исключением является радиоактивное загрязнение на скважине № 215, где след от радиоактивных выпадений составляет свыше 500 м. Скважины с деформацией земной поверхности и наличием радиоактивного загрязнением характеризуются большими площадями радиоактивного загрязнения почвы, с протяженными следами радиоактивных выпадений (№ 101, общая протяженность следа составляет порядка 8 км). Объекты без радиоактивного загрязнения соответственно характеризуются его отсутствием.

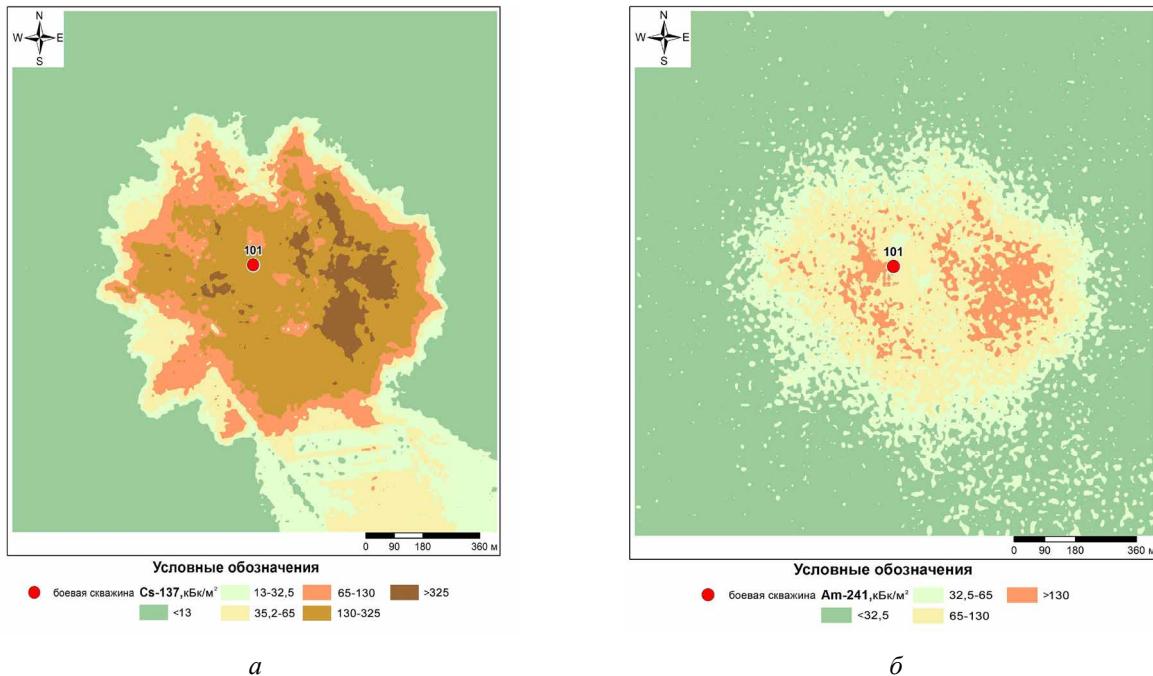


Рис. 3 – Карты площадного распределения на территории скважины № 215: а)  $^{137}\text{Cs}$ ; б)  $^{241}\text{Am}$

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ядерные испытания в СССР. Цели. Общие характеристики. Организация ядерных испытаний. Первые ядерные испытания / состав ред. И. А. Андрюшин, В. В. Богдан, С. А. Зеленцев. - Т.1. – Саров: РФЯЦ – ВНИИЭФ.
2. Catalog of worldwide nuclear testing / editor-in-chief V.N. Mikhailov. - U. 264. - 1999. - 38 с.
3. Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана: сб. тр. Национального ядерного центра Республики Казахстан за 2011-2012 гг. / под рук. Лукашенко С. Н. – Павлодар: Дом печати, 2013. – Т. 1. - Вып. 4. – 396 с. - ISBN 978-601-7112-74-5.
4. МИ 5.06.001.98 РК «Активность радионуклидов в объемных образцах. Методика выполнения измерений на гамма-спектрометре МИ 2143-91» - 18 с.
5. Методика определения изотопов плутония-(239+240), стронция-90, америция-241 в объектах окружающей среды: МИ 06-7-98. – Алматы, 1998.

## ТРИТИЙ В ЯДЕРНОМ ТОПЛИВНОМ ЦИКЛЕ

### TRITIUM IN NUCLEAR FUEL CYCLE

***K. B. Мазаник, A. H. Скибинская, A. I. Киевицкая***  
***K. Mazanik, H. Skibinskaya, H. Kiyavitskaya***

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им А. Д. Сахарова БГУ*

*г. Минск, Республика Беларусь*

*kosmv@list.ru*

*Belarusian State University, ISEI BSU Minsk, Republic of Belarus*

Ядерный топливный цикл (далее ЯТЦ) включает в себя следующие основные этапы: добыча и переработка урановой руды, обогащение, производство топлива, работа атомной электростанции (далее АЭС) (генерация электроэнергии), обращение с отработавшим ядерным топливом (далее ОЯТ) и радиоактивными