

<https://doi.org/10.52676/1729-7885-2025-3-201-210>

УДК 577.4: 577.391: 539.16: 539.12.04

ОЦЕНКА РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ ДЛЯ КОСУЛИ СИБИРСКОЙ (*CAPREOLUS PYGARGUS* PAL., 1771) ОБИТАЮЩЕЙ В ЕСТЕСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ НА ТЕРРИТОРИИ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА

А. В. Паницкий*, С. А. Байгазы, И. А. Александрович

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

* E-mail для контактов: panitskiy@nnc.kz

В статье представлены результаты оценки дозовых нагрузок у природной популяции косули сибирской (*Capreolus pygargus* Pal., 1771), обитающих на территории Семипалатинского испытательного полигона. Рассчитанная ожидаемая мощность дозы для косуль, обитающих на «условно-фоновой» территории СИП не превысит 3,7 мкГр/сут, а для косуль, обитающих на территории радиоактивных выпадений в виде следов на СИП, не превысит 150 мкГр/сут. Основная часть дозы формируется, в основном, за счет внутреннего облучения от ^{90}Sr . Согласно шкалы радиационных эффектов на биоту в зависимости от мощности дозы хронического облучения представителей различных видов животных, рассчитанная доза для «условно-фоновых» территорий СИП соответствует естественному радиационному фону. Ожидаемая доза на территории радиоактивных выпадений в виде следов на СИП, может достигать порог возникновения небольшого увеличения цитогенетических эффектов и стимуляции чувствительных позвоночных видов. Согласно набору выведенных референтных уровней, рассчитанная доза на косуль, обитающих на «условно-фоновых» территориях СИП соответствуют естественному радиационному фону, а при дозах, рассчитанных для косуль, обитающих на территории радиоактивных выпадений в виде следов на СИП имеется крайне низкая вероятность возникновения эффектов. В свою очередь, на территории технических площадок СИП, при самом консервативном сценарии, максимально возможные дозы могут изменяться в пределах $1,6 \cdot 10^4$ – $1,7 \cdot 10^7$ мкГр/сут. Имеются риски возникновения довольно широкого диапазона эффектов, вплоть до возникновения лучевой болезни с летальным исходом (на технических площадках «Опытное поле», «4» и «4А»). По опасности рисков возникновения различных эффектов исследуемые территории можно расположить в следующий убывающий ряд: площадки испытания БРВ («4» и «4А») > пл. «Опытное поле» > пл. «Дегелен» > пл. «Балапан» > пл. «Сары-Узень» > территории радиоактивных выпадений в виде следов на СИП > территории СИП без радиоактивных выпадений в виде следов и испытательных площадок.

Ключевые слова: радиоэкология, радиобиология, косули, дозовые нагрузки, Семипалатинский испытательный полигон.

ВВЕДЕНИЕ

Семипалатинский испытательный полигон (СИП) долгое время являлся местом проведения испытаний ядерного оружия и поражающего действия боевых радиоактивных веществ (БРВ). Испытания проводились на технических площадках, расположенных в разных частях СИП [1]. Наиболее крупными техническими площадками, имеющими значительные участки поверхностного загрязнения техногенными радионуклидами, являются площадки «Опытное поле», «Дегелен», «Балапан», «Сары-Узень» и площадки испытания БРВ – «4» и «4А». Также, радиоактивное загрязнение природной среды отмечается и за пределами технических площадок, на радиоактивных выпадениях в виде следов от ядерных испытаний. После закрытия полигона был сделан большой упор на оценку радиоэкологической ситуации на территории СИП – оценку площадного распределения радионуклидов в почве, оценку особенностей перераспределения радионуклидов между различными компонентами природной среды [2–10]. Были выявлены основные участки с повышенными значениями удельной активности радионуклидов в природной среде и оценена их степень опасности для человека. В период с

2008 по 2021 г. проведено комплексное радиоэкологическое обследование территории СИП, в ходе которого было установлено, что на значительной части территории СИП удельная активность техногенных радионуклидов в почвенном покрове не превышает уровень глобальных выпадений для северного полушария [11]. Такие территории СИП можно назвать «условно-фоновыми». Также проведен большой пласт работ по приведению в безопасное состояние наиболее опасных участков СИП [12]. Однако полная рекультивация таких участков требует больших финансовых и трудовых затрат не может быть решена полностью в кратчайшие сроки. Поэтому необходимо определение приоритетов в проведении таких работ. Исследования, направленные на оценку воздействия последствий испытаний, проведенных на СИП, позволяют оценить наиболее опасные участки полигона и сконцентрировать на них особые усилия. Исследования влияния последствий испытаний, проведенных на СИП, на биологические системы и окружающую среду в целом, находятся в ряду наиболее актуальных проблем и приобретают свое рациональное решение. Ранее на СИП проводилась оценка воздействия ионизирующего излучения на растительные сообщества

[13–17] и на отдельные виды насекомых и позвоночных животных [16, 18, 19] (рептилии или мышевидные грызуны). Особый интерес представляют крупные копытные животные, обитающие на территории СИП. Отдельные виды являются объектами любительской и промысловой охоты, употребляются в пищу человеком и распространены по всей территории полигона. Исследователями ранее проводились оценки содержания радионуклидов в организме копытных животных [10, 20], обитающих на СИП, но оценка возможных дозовых нагрузок, которые они могут получить, обитая на СИП, ранее не проводилась, хотя расчет дозовых нагрузок на биоту довольно широко применяется в мире как метод оценки вероятности возникновения рисков появления различных эффектов [21–24] у представителей биоты. Одним из распространенных видов крупных копытных животных на СИП является косуля сибирская (*Capreolus pygargus* Pal., 1771). Расчет дозовой нагрузки на этот вид может отражать возможную дозовую нагрузку на другие виды копытных животных, обитающих на СИП.

Цель данных исследований – определение возможных рисков для природной популяции косулы сибирской (*Capreolus pygargus* Pal., 1771), обитающих на различных участках территории СИП.

1 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

1.1 Объект исследования

Объект исследования: природные популяции косулы сибирской (*Capreolus pygargus* Pal., 1771) (далее косулы), обитающей на территории СИП. Данный вид животных фиксировался в ходе проведения полевых работ по всей территории СИП, включая испытательные площадки полигона. Косулы круглый год живут на подножном корме. Наибольшее количество косуль отмечается на испытательной площадке «Дегелен».

1.2 Территории исследования

Оценка дозовой нагрузки проводилась на следующих участках СИП:

- «условно-фоновые» территории, расположенные на территории СИП вне территории радиоактивных выпадений в виде следов и испытательных площадок полигона. Удельная активность радионуклидов в верхнем слое почвы на таких участках не превышает фон глобальных выпадений для северного полушария [11];

- границы радиоактивных выпадений в виде следов, образовавшихся после проведения испытаний на пл. «Опытное поле» [11].

- испытательная площадка «Опытное поле», где проводились наземные и воздушные испытания ядерного оружия. Как правило основное загрязнение на этой площадке приурочено к эпицентрам проведения ядерных испытаний или к радиоактивным выпадениям от этих испытаний в виде следов. Границы отдельных радиоактивных «следов» выходили за пределы данной площадки [1, 11].

- испытательная площадка «Дегелен», где проводились подземные испытания ядерного оружия в горизонтальных горных выработках – штольнях. На данной площадке загрязнение компонентов природной среды отмечается в экосистемах водотоков из испытательных штолен [1, 11];

- испытательная площадка «Балапан», где проводились испытания ядерного оружия в вертикальных скважинах. Радиоактивное загрязнение в пределах данной площадки отмечается у оголовков скважин, на которых произошли внештатные ситуации при проведении испытаний, а также в месте проведения экскавационного ядерного взрыва на скважине 1004 («Атомное озеро») [1, 11];

- испытательная площадка «Сары-Узень», где, как и на площадке «Балапан», проводились испытания ядерного оружия в вертикальных скважинах. Радиоактивное загрязнение в пределах данной площадки также отмечается у оголовков скважин, на которых произошли внештатные ситуации при проведении испытаний, либо на образовавшихся при этих внештатных ситуациях воронках [1].

- технические площадки «4» и «4А» на которых испытывали боевые радиоактивные вещества путем диспергирования радиоактивных растворов или бомбометания бомб, начиненных радиоактивными растворами. Здесь основное радиоактивное загрязнение фиксируется на участках проведения испытаний в виде локальных пятен [1, 26].

1.3 Оценка дозовых нагрузок

Оценка дозовых нагрузок на животных проводилась по [22–24]. Использована методика оценки дозовых нагрузок у различных видов животных природной популяции.

Суммарная мощность дозы облучения косуль определялась путем суммирования мощностей дозы внешнего и внутреннего облучения от радионуклидов ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{241}Am (как основных дозобразующих изотопов на СИП [11] по формуле [22]:

$$D_j = \sum_i D_{i,j}^{\text{внутр}} + D_{i,j}^{\text{внеш}} \quad (1)$$

где D_j – суммарная мощность дозы облучения j -го референтного объекта, мГр/сут; $D_{i,j}^{\text{внутр}}$ – мощность дозы внутреннего облучения объекта наземной биоты $D_{i,j}$ от всех рассматриваемых радионуклидов i , мГр/сут; $D_{i,j}^{\text{внеш}}$ – мощность дозы внешнего облучения объекта наземной биоты $D_{i,j}$ от всех рассматриваемых радионуклидов i , мГр/сут.

Дозовая нагрузка на j -референтный вид биоты (D_j), полученная в единицу времени (сутки), измерялась в мГр/сут, и алгоритм ее вычисления, в общем виде, следующий:

$$D_{i,j}^{\text{внеш}} = \sum_i (DCF_{ji}^{\text{soil-pl}} \cdot f_j^{\text{soil-pl}} \cdot \sigma_i) \quad (2)$$

$$D_{i,j}^{\text{внутр}} = \sum_i (CR_{ji}^{\text{soil}} \cdot f_j^{\text{soil-pl}} \cdot C_i^{\text{soil}}) \cdot DC_{ji} \quad (3)$$

где DCF_{ji}^{soil} – коэффициент перехода от удельной активности в почве i -го радионуклида к дозе внешнего облучения j -го вида биоты, (мкГр/сут)/(Бк/кг); C_i^{soil} – удельная активность i -го радионуклида в почве, Бк/кг; $DCF_{ji}^{soil-pl}$ – коэффициент перехода от плотности i -го радионуклида на поверхности почвы (глубина до 5 см) к дозе внешнего облучения j -го вида биоты, (мкГр/сут)/(Бк/м²); $f_j^{soil-pl}$ – доля времени, проводимая j -м видом биоты на поверхности земли, отн. единицы; σ_i – плотность i -го радионуклида на поверхности почвы, Бк/м²; CR_{ji}^{soil} – коэффициент перехода i -го радионуклида из почвы в организм j -го вида биоты, (Бк/кг живого веса организма)/(Бк/кг сух. веса почвы); DC_{ji} – дозовый коэффициент перехода от активности в теле j -го организма к дозе внутреннего облучения от i -го радионуклида, (мкГр/сут)/(Бк/кг живого веса организма).

1.4 Расчет плотности радионуклидов на поверхности почвы

Плотность радионуклидов на поверхности почвы (σ_i) (площадная активность) определялась для слоя почвы 0–5 см по формуле:

$$\sigma_i = (A_{mi,j} \cdot \frac{P}{1000} \cdot (S_{sm} \cdot h) / S_m) \quad (4)$$

где σ_i – площадная активность i -го радионуклида, Бк/м²; $A_{mi,j}$ – удельная активность i -го радионуклида в j -ом слое почвы, Бк/кг; P – плотность почвы, кг/дм³; 1000 – коэффициент перевода значения плотности почвы из кг/дм³ в кг/см³; S_{sm} – площадь, с которой отобрана проба почвы, см² (определялась в процессе отбора и составляла 100 см²); h – высота слоя почвы, см; S_m – площадь отбора проб верхнего слоя почвы, м² (определялась в процессе отбора и составляла 100 см²).

2 РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Прежде всего, для оценки дозовых нагрузок, получаемых представителями биоты, необходимо иметь четкое представление о текущем радиоактивном загрязнении изучаемой местности. Поэтому, одной из основных задач является определение уровней содержания основных техногенных загрязнителей местности – радионуклидов ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ²³⁹⁺²⁴⁰Pu и ²⁴¹Am в компонентах природной среды. Приведенные ниже значения, характеризующие уровни загрязнения природной среды рассматриваемы ми изотопами получены в ходе ранее проведенных исследований на СИП.

2.1 Удельная и площадная активность радионуклидов ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ²³⁹⁺²⁴⁰Pu и ²⁴¹Am в почве

В период с 2008 по 2021 гг. проведено комплексное радиоэкологическое обследование территории СИП. В результате были установлены диапазоны значений удельной активности изотопов ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ²³⁹⁺²⁴⁰Pu и ²⁴¹Am в почве и рассчитаны значения

площадной активности этих радионуклидов. На основании этих исследований были подготовлены Материалы комплексного экологического обследования территории СИП за период 2008–2021 гг. [26] и монография «Комплексное радиоэкологическое обследование Семипалатинского испытательного полигона» [11]. Приведенные ниже значения удельной активности, используемые для оценки поглощенной дозы косулями, взяты из данных источников.

Удельная и площадная активность радионуклида ¹³⁷Cs

Исследованиями [26] установлено, что на большей части территории СИП («условно-фоновые территории») удельная активность изотопа ¹³⁷Cs не превышает значение 200 Бк/кг. Площадная активность этого радионуклида здесь не превышает 7,5·10³ Бк/м² [11]. Однако были выделены участки в виде следов от радиоактивных выпадений, протянувшиеся от пл. «Опытное поле» в юго-восточном и южном направлениях до границы СИП, где зафиксированы повышенные, относительно всей территории, значения удельной активности радионуклида ¹³⁷Cs, изменяющиеся в диапазоне от 200 до 1510 Бк/кг. Диапазон площадной активности изотопа ¹³⁷Cs здесь составил от 7,5·10³ до 1,04·10⁴ Бк/м² [11]. Данные области повышенных значений удельной активности ¹³⁷Cs образованы радиоактивными выпадениями от ядерных испытаний, проведенных на пл. «Опытное поле».

На испытательной площадке «Опытное поле» диапазоны значений удельной активности радионуклида ¹³⁷Cs изменялись в пределах <1–3,4·10⁵ Бк/кг, на испытательной площадке «Дегелен» в пределах <0,1–3,1·10⁶ Бк/кг, на испытательной площадке «Балапан» в пределах <0,1–1,9·10⁶ Бк/кг, на испытательной площадке «Сары-Узень» в пределах <0,1–4,8·10⁵ Бк/кг, на испытательных площадках «4» и «4А» в пределах <0,2–3,8·10⁵ Бк/кг [11].

Удельная и площадная активность радионуклида ⁹⁰Sr

Исследованиями [26] установлено, что на большей части территории СИП удельная активность изотопа ⁹⁰Sr не превышает значение 60 Бк/кг. Площадная активность этого радионуклида в слое почвы 0–30 см здесь не превышает 1,2·10⁴ Бк/м² [11]. На участках в виде следов от радиоактивных выпадений значения удельной активности радионуклида ⁹⁰Sr, изменяется в диапазоне от 60 до 5012 Бк/кг. Диапазон площадной активности изотопа ⁹⁰Sr в слое почвы 0–30 см здесь изменялся в пределах от 1,2·10⁴ до 3,44·10⁴ Бк/м² [11]. На испытательной площадке «Опытное поле» диапазоны значений удельной активности радионуклида ⁹⁰Sr изменялись в пределах <2–4,3·10⁶ Бк/кг, на испытательной площадке «Дегелен» в пределах <0,2–3,7·10⁶ Бк/кг, на испытательной площадке «Балапан» в пределах <2–2,4·10⁵ Бк/кг, на испытательной площадке «Сары-Узень» в пределах <2–2,4·10⁵ Бк/кг, на испытательных площадках «4» и «4А» в пределах <1–5,9·10⁸ Бк/кг [11].

Удельная и площадная активность изотопов $^{239+240}\text{Pu}$

Исследованиями [26] установлено, что на большей части территории СИП «условно-фоновые территории» удельная активность изотопов $^{239+240}\text{Pu}$ не превышает значение 50 Бк/кг. Площадная активность этого радионуклида в слое почвы 0–30 см здесь не превышает $1,2 \cdot 10^4$ Бк/м² [11]. На участках в виде следов от радиоактивных выпадений значения удельной активности изотопов $^{239+240}\text{Pu}$, изменяется в диапазоне от 50 до 12700 Бк/кг. Диапазон площадной активности изотопов $^{239+240}\text{Pu}$ в слое почвы 0–30 см здесь изменялся в пределах от $1,2 \cdot 10^4$ до $7,75 \cdot 10^5$ Бк/м² [11]. На испытательной площадке «Опытное поле» диапазоны значений удельной активности изотопов $^{239+240}\text{Pu}$ изменялись в пределах $<1-1,5 \cdot 10^8$ Бк/кг, на испытательной площадке «Дегелен» в пределах $<1-4,8 \cdot 10^5$ Бк/кг, на испытательной площадке «Балапан» в пределах $<0,1-3,9 \cdot 10^4$ Бк/кг, на испытательной площадке «Сары-Узень» в пределах $<0,1-6,9 \cdot 10^6$ Бк/кг, на испытательных площадках «4» и «4А» в пределах $<1-7,9 \cdot 10^5$ Бк/кг [11].

Удельная и площадная активность радионуклида ^{241}Am

Исследованиями [26] установлено, что на большей части территории СИП «условно-фоновые территории» удельная активность изотопа ^{241}Am не превышает значение 30 Бк/кг. Площадная активность этого радионуклида в слое почвы 0–30 см здесь не превышает $1,0 \cdot 10^3$ Бк/м² [11]. На участках в виде следов от радиоактивных выпадений значения удельной активности радионуклида ^{241}Am , изменяется в диапазоне от 30 до 1195 Бк/кг. Диапазон площадной активности изотопа ^{241}Am в слое почвы 0–30 см здесь изменялся в пределах от $1,0 \cdot 10^3$ до $7,8 \cdot 10^4$ Бк/м² [11]. На испытательной площадке «Опытное поле» диапазоны значений удельной активности радионуклида ^{241}Am изменялись в пределах $<1-7,9 \cdot 10^7$ Бк/кг, на испытательной площадке «Дегелен» в пределах $<0,3-5,4 \cdot 10^6$ Бк/кг, на испытательной площадке «Балапан» в пределах $<0,1-9,4 \cdot 10^4$ Бк/кг, на испытательной площадке «Сары-Узень» в пределах $<0,3-1,6 \cdot 10^5$ Бк/кг, на испытательных площадках «4» и «4А» в пределах $<0,3-3,0 \cdot 10^4$ Бк/кг [11].

2.2 Объемная активность радионуклидов ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{241}Am в воздухе

Исследованиями [11] численных значений объемной активности радионуклидов ^{90}Sr и ^{241}Am на территории радиоактивных выпадений в виде следов и территории СИП вне испытательных площадок не установлено. Их значения не превысили минимальную детектируемую активность, которая при исполь-

зуемом аппаратурно-методическом комплексе составляла $<5,1 \cdot 10^{-5}$ и $<4,6 \cdot 10^{-5}$ Бк/м³ соответственно. На участках радиоактивного загрязнения в виде следов диапазон максимальных значений объемной активности радионуклида ^{137}Cs составил от $1,5 \cdot 10^{-6}$ до $9,0 \cdot 10^{-6}$ Бк/м³, изотопов $^{239+240}\text{Pu}$ – от $5,1 \cdot 10^{-6}$ до $3,3 \cdot 10^{-5}$ Бк/м³. На испытательных площадках ситуация аналогичная, и только лишь на испытательной площадке «Опытное поле» концентрация изотопов $^{239+240}\text{Pu}$ в атмосферном воздухе отмечалась на уровне $1,6 \cdot 10^{-2}$ Бк/м³. Таким образом, объемная активность радионуклидов в атмосферном воздухе на территории СИП либо ниже МДА, либо на его уровне. Поэтому данный параметр окружающей среды можно не учитывать при расчете мощности доз.

2.3 Расчет дозовых нагрузок

Для расчета дозовых нагрузок значения всех необходимых дозовых коэффициентов заимствованы из литературных источников [22, 27]. Входными параметрами также являются время пребывания в среде обитания и уровни концентрации радионуклидов в почве и организме животных.

Значения дозовых коэффициентов для расчета доз внутреннего и внешнего облучения животных представлены в таблице 1 [22]. Используются дозовые коэффициенты, приведенные для косули европейской (*Capreolus capreolus*).

Доля времени (в относительных единицах), проводимая косулями на поверхности земли, принята за 1.

Значения параметра CR для косули сибирской (CR – concentration ratios) взяты как средние геометрические значения CR, приведенные для травоядных млекопитающих в отчете МАГАТЭ [27]. Средние геометрические значения CR (таблица 2) использованы в связи с большим разбросом значений CR, приведенных в этом документе.

В таблице 3 приведены значения удельной активности и площадной активности радионуклидов (плотность радионуклидов на поверхности почвы (σ_i) рассчитанные для слоя почвы 0–5 см на основании данных об удельных активностях радионуклидов в почве, приведенных выше. Расчет произведен для максимальных значений диапазонов удельной активности радионуклидов, зафиксированных на рассматриваемых территориях.

Результаты расчетов мощности дозы внешнего и внутреннего облучения от техногенных радионуклидов ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{241}Am на территории радиоактивных выпадений в виде следов на СИП и на «условно-фоновой» территории СИП представлены в таблице 4.

Таблица 1. Значения коэффициентов для расчета дозовой нагрузки косули сибирской (*Capreolus capreolus*)

DC, (мкГр/сут)/(Бк/кг живого веса организма)				$DCF_{ji}^{soil-pl}$, (мкГр/сут)/(Бк/м ²)			
^{137}Cs	^{90}Sr	$^{239+240}\text{Pu}$	^{241}Am	^{137}Cs	^{90}Sr	$^{239+240}\text{Pu}$	^{241}Am
$6,0 \cdot 10^{-3}$	$1,56 \cdot 10^{-2}$	$7,2 \cdot 10^{-2}$	$7,68 \cdot 10^{-2}$	$2,88 \cdot 10^{-5}$	$2,11 \cdot 10^{-11}$	$1,32 \cdot 10^{-8}$	$1,08 \cdot 10^{-6}$

**ОЦЕНКА РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ ДЛЯ КОСУЛИ СИБИРСКОЙ (*CAPREOLUS PYGARGUS* PAL., 1771)
ОБИТАЮЩЕЙ В ЕСТЕСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ НА ТЕРРИТОРИИ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА**

Таблица 2. Значения CR для расчета дозовой нагрузки косули сибирской

CR, (Бк/кг живого веса организма)/(Бк/кг сух. веса почвы)			
¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	²⁴¹ Am	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu
1,5	1,6	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$9,2 \cdot 10^{-3}$

Таблица 3. Границы диапазонов значений удельной и площадной активности радионуклидов

Оцениваемая территория	Радиологический параметр	Вид изотопа			
		¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	²⁴¹ Am	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu
«условно-фоновые» территории СИП	удельная активность, Бк/кг	200	60	30	50
	площадная активность, Бк/м ²	$1,3 \cdot 10^4$	$3,9 \cdot 10^3$	$1,9 \cdot 10^3$	$3,2 \cdot 10^3$
радиоактивные выпадения в виде следов на СИП	удельная активность, Бк/кг	$1,5 \cdot 10^3$	$5,0 \cdot 10^3$	$1,2 \cdot 10^3$	$1,3 \cdot 10^4$
	площадная активность, Бк/м ²	$8,3 \cdot 10^5$	$3,3 \cdot 10^5$	$7,8 \cdot 10^4$	$8,3 \cdot 10^5$
пл. «Опытное поле»	удельная активность, Бк/кг	$3,4 \cdot 10^5$	$4,3 \cdot 10^6$	$7,9 \cdot 10^7$	$1,5 \cdot 10^8$
	площадная активность, Бк/м ²	$2,2 \cdot 10^7$	$2,8 \cdot 10^8$	$5,1 \cdot 10^9$	$9,8 \cdot 10^{10}$
пл. «Дегелен»	удельная активность, Бк/кг	$3,1 \cdot 10^6$	$3,7 \cdot 10^6$	$5,4 \cdot 10^6$	$4,8 \cdot 10^5$
	площадная активность, Бк/м ²	$2,0 \cdot 10^8$	$2,4 \cdot 10^8$	$3,5 \cdot 10^8$	$3,1 \cdot 10^7$
пл. «Балапан»	удельная активность, Бк/кг	$1,9 \cdot 10^6$	$2,4 \cdot 10^5$	$9,4 \cdot 10^4$	$3,9 \cdot 10^4$
	площадная активность, Бк/м ²	$1,2 \cdot 10^8$	$1,6 \cdot 10^7$	$6,1 \cdot 10^6$	$2,5 \cdot 10^6$
пл. «Сары-Узень»	удельная активность, Бк/кг	$4,8 \cdot 10^5$	$2,4 \cdot 10^5$	$1,6 \cdot 10^5$	$6,9 \cdot 10^6$
	площадная активность, Бк/м ²	$3,1 \cdot 10^7$	$1,6 \cdot 10^7$	$1,0 \cdot 10^7$	$4,5 \cdot 10^8$
пл. испытания БРВ «4» и «4А»	удельная активность, Бк/кг	$3,8 \cdot 10^5$	$5,9 \cdot 10^8$	$3,0 \cdot 10^4$	$7,9 \cdot 10^5$
	площадная активность, Бк/м ²	$2,5 \cdot 10^7$	$3,8 \cdot 10^{10}$	$1,9 \cdot 10^6$	$5,1 \cdot 10^7$

Таблица 4. Результаты расчетов мощности дозы облучения косуль на территории СИП

Испытательная площадка	Мощность дозы облучения, мкГр/сут								суммарная
	внешнего				внутреннего				
	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	²⁴¹ Am	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	²⁴¹ Am	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	
радиоактивные выпадения в виде следов на СИП	2,8	6,9·10 ⁻⁶	8,4·10 ⁻²	1,1·10 ⁻²	13,6	120	1,28	8,41	150
«условно-фоновые» территории СИП	3,7·10 ⁻¹	8,2·10 ⁻⁸	2,1·10 ⁻³	4,3·10 ⁻⁵	1,8	1,44	3,23·10 ⁻²	3,31·10 ⁻²	3,7
пл. «Опытное поле»	6,4·10 ²	5,9·10 ⁻³	5,6·10 ³	1,3·10 ³	3,1·10 ³	1,0·10 ⁵	8,5·10 ⁴	9,9·10 ⁵	1,2·10 ⁶
пл. «Дегелен»	5,8·10 ³	5,1·10 ⁻³	3,8·10 ²	4,1·10 ⁻¹	2,8·10 ⁴	8,9·10 ⁴	5,8·10 ³	3,2·10 ²	1,3·10 ⁵
пл. «Балапан»	3,6·10 ³	3,3·10 ⁻⁴	6,6	3,4·10 ⁻²	1,7·10 ⁴	5,7·10 ³	1,0·10 ²	2,6·10 ¹	2,7·10 ⁴
пл. «Сары-Узень»	9,0·10 ²	3,3·10 ⁻⁴	1,1·10 ¹	5,9	4,3·10 ³	5,8·10 ³	1,7·10 ²	4,6·10 ³	1,6·10 ⁴
пл. испытания БРВ «4» и «4А»	7,1·10 ²	8,1·10 ⁻¹	2,1	6,9·10 ⁻¹	3,4·10 ³	1,4·10 ⁷	3,2·10 ¹	5,2·10 ²	1,4·10 ⁷

Из полученных данных (таблица 4), видно, что ожидаемая доза для косуль на территории радиоактивных выпадений в виде следов на СИП может изменяться в пределах от 3,7 до 150 мкГр/сут. Основная часть дозы формируется, в основном, за счет внутреннего облучения от изотопа ⁹⁰Sr. Ожидаемая доза для косуль на «условно-фоновой» территории СИП не превысит 3,7 мкГр/сут. Необходимо отметить, что полученные данные весьма консервативны, поскольку животные при кормлении постоянно перемещаются по территории СИП. Но результаты отражают, какую дозу животные могут получить если они будут длительное время выпасаться на участках с наибольшим содержанием радионуклидов в компонентах природной среды. На территориях испытательных площадок максимальная ожидаемая доза для косуль может изменяться в пределах от $1,6 \cdot 10^4$ мкГр/сут до $1,4 \cdot 10^7$ мкГр/сут. Максимальные дозы ожидаются на территориях испытания БРВ – испытательных площадках «4» и «4А».

В работах [23, 24] предложены критерии в регламентации радиационного воздействия на биоту. Согласно шкалы радиационных эффектов на биоту в зависимости от мощности дозы хронического облучения представителей различных видов животных [24], рассчитанная доза для «условно-фоновой» территории СИП соответствует естественному радиационному фону (10^{-6} – 10^{-5} Гр/сут). Мощность дозы на территории радиоактивных выпадений в виде следов на СИП достигает порог возникновения небольшого увеличения цитогенетических эффектов и стимуляции чувствительных позвоночных видов (10^{-4} – $5 \cdot 10^{-4}$ Гр/сут). Рассчитанные мощности дозы хронического облучения косуль на территории испытательных площадок «Опытное поле», «4» и «4А» демонстрируют риски возникновения у них таких эффектов как острая лучевая болезнь с летальным исходом в течение нескольких дней (>1 Гр/сут). Соответственно, в диапазоне доз от естественного фона до

максимально полученной дозы на этих участках можно ожидать возникновения и более слабых эффектов, а именно, небольшого увеличения цитогенетических эффектов и стимуляции чувствительных позвоночных видов (10^{-4} – $5 \cdot 10^{-4}$ Гр/сут), появления слабых эффектов на заболеваемость ($5 \cdot 10^{-4}$ – $2 \cdot 10^{-3}$ Гр/сут), появление эффектов на репродуктивные органы позвоночных организмов, снижение выживаемости эмбрионов ($2 \cdot 10^{-3}$ – $5 \cdot 10^{-3}$ Гр/сут), появление эффектов сокращения жизни позвоночных животных ($5 \cdot 10^{-3}$ – $1 \cdot 10^{-2}$ Гр/сут), сокращение жизни позвоночных животных и симптомы хронической лучевой болезни ($1 \cdot 10^{-2}$ – $1 \cdot 10^{-1}$ Гр/сут) и риск появления острой лучевой болезни ($1 \cdot 10^{-1}$ – 1 Гр/сут). Рассчитанные мощности дозы хронического облучения косуль на территории испытательной площадки «Дегелен» показывают риск возникновения острой лучевой болезни ($1 \cdot 10^{-1}$ – 1 Гр/сут) и риск возникновения промежуточных эффектов, перечисленных выше. На территории испытательных площадок «Балапан» и «Сары-Узень» ожидаемая доза может привести к сокращению жизни и появлению симптомов хронической лучевой болезни ($1 \cdot 10^{-2}$ – $1 \cdot 10^{-1}$ Гр/сут). Также не исключены промежуточные эффекты.

Согласно набору выведенных референтных уровней – DCRL («derived consideration reference level»), приведенному в публикации МКРЗ № 108 [23] для оленей (как близкого для косуль вида) рассчитанная доза на косуль для «условно-фоновых» территорий СИП соответствует естественному радиационному фону, а на косуль, обитающих на территории радиоактивных выпадений в виде следов на СИП имеет крайне низкую вероятность возникновения эффектов. На территории испытательных площадок «Опытное поле», «4» и «4А» при хроническом облучении максимально-возможной ожидаемой мощностью дозы имеется риск смертности от гемопозитического синдрома, площадке «Дегелен» – риск сокращения продолжительности жизни по разным причинам, испытательных площадках «Балапан» и «Сары-Узень» – риски роста заболеваемости, сокращения продолжительности жизни и снижение репродуктивности.

В целом, несмотря на консервативный подход к расчету доз полученные значения мощности дозы внешнего облучения на территории радиоактивных выпадений в виде следов на СИП и на «условно-фоновой» территории СИП лежат в области рассчитанных «фоновых» доз для оленей (0,6 мГр/сут) [28]. В совокупности с мощностью дозы внутреннего облучения суммарная мощность дозы не представляет опасности для популяций косуль, обитающих на этих участках. В свою очередь на территории отдельных площадок («Опытное поле», «4» и «4А») существуют риски возникновения довольно серьезных эффектов, вплоть до возникновения лучевой болезни с летальным исходом. Такие участки, с максимальными значениями радиационных параметров достаточно огра-

ниченны по площади, и вероятность длительного нахождения животных на таких участках низкая, но существует, при определенных обстоятельствах. Поэтому данные участки должны быть первоочередны к приведению их в безопасное состояние. В целом, по опасности рисков возникновения различных эффектов исследуемые территории можно расположить в следующий убывающий ряд: площадки испытания БРВ (4 и «4А») > пл. «Опытное поле» > пл. «Дегелен» > пл. «Балапан» > пл. «Сары-Узень» > территории радиоактивных выпадений в виде следов на СИП > территории СИП без радиоактивных выпадений в виде следов и испытательных площадок.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассчитанная мощность дозы для косуль, обитающих на «условно-фоновой» территории СИП не превысит 3,7 мГр/сут, а для косуль, обитающих на территории радиоактивных выпадений в виде следов на СИП не превысит 150 мГр/сут. Основная часть дозы формируется, в основном, за счет внутреннего облучения от изотопа ^{90}Sr . Согласно шкале радиационных эффектов на биоту в зависимости от мощности дозы хронического облучения представителей различных видов животных, рассчитанная доза для «условно-фоновых» территорий СИП соответствует естественному радиационному фону. Доза, рассчитанная для территории радиоактивных выпадений в виде следов на СИП, достигает порога возникновения небольшого увеличения цитогенетических эффектов и стимуляции чувствительных позвоночных видов. Согласно набору выведенных референтных уровней, рассчитанная доза на косуль, обитающих на «условно-фоновых» территориях СИП соответствует естественному радиационному фону, а при дозах, рассчитанных для косуль, обитающих на территории радиоактивных выпадений в виде следов на СИП имеется крайне низкая вероятность возникновения эффектов. В свою очередь, на территории испытательных площадок, при самом консервативном сценарии, максимально возможные дозы могут изменяться в пределах $1,6 \cdot 10^4$ – $1,7 \cdot 10^7$ мГр/сут. Имеются риски возникновения довольно широкого диапазона эффектов, вплоть до возникновения лучевой болезни с летальным исходом (на площадках «Опытное поле», «4» и «4А»). По опасности рисков возникновения различных эффектов исследуемые территории можно расположить в следующий убывающий ряд: площадки испытания БРВ (4 и «4А») > пл. «Опытное поле» > пл. «Дегелен» > пл. «Балапан» > пл. «Сары-Узень» > территории радиоактивных выпадений в виде следов на СИП > территории СИП без радиоактивных выпадений в виде следов и испытательных площадок.

Исследования выполнены в рамках гранта № AP19675376 Министерства образования и науки Республики Казахстан.

ЛИТЕРАТУРА

1. Matuschenko, A.M. Chronological List of Nuclear Tests at the Semipalatinsk Test Site and Their Radiation Effects / A.M. Matuschenko, G.A. Tsyrykov, A.K. Chernyshov and [et al]. // Nuclear Tests. – 1998. – P. 89–97.
2. Larionova, N.V. Transfer of radionuclides to plants of natural ecosystems at the Semipalatinsk Test Site / N.V. Larionova, S.N. Lukashenko, A.M. Kabdyrakova, A.Ye. Kunduzbayeva, A.V. Panitskiy, A.R. Ivanova // Journal of Environmental Radioactivity. – 2018. – Vol. 186. – P. 163–70. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2017.09.006>
3. Ларионова Н. В. Оценка влияния индивидуальных биологических особенностей растений на содержание отдельных химических элементов и радионуклидов / Н. В. Ларионова, Т. Е. Кожаханов, А. Р. Иванова // Вестник НЯЦ РК. – 2020. – Вып. 2 (82). – С. 160–166. <https://doi.org/10.52676/1729-7885-2020-2-160-166>
4. Panitskiy A.V. Nature of radioactive contamination of components of ecosystems of streamflows from tunnels of Degelen massif / Panitskiy A.V., Lukashenko S.N. // Journal of Environmental Radioactivity. – 2015. – P. 32–40. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2015.02.021>
5. Кабдыракова А.М. Распределение искусственных радионуклидов по агрегатным фракциям почв в районе проведения подземных ядерных испытаний в скважинах на площадке «Балапан» / А.М. Кабдыракова, А.Т. Мендубаев // Вестник НЯЦ РК. – 2019. – №4. – С. 131–141. <https://doi.org/10.52676/1729-7885-2019-4-131-141>
6. Kabdyrakova A.M. Distribution of artificial radionuclides in particle-size fractions of soil on fallout plumes of nuclear explosions / A.M. Kabdyrakova, S.N. Lukashenko, A.T. Mendubaev, A.E. Kunduzbayeva, A.V. Panitskiy, N.V. Larionova // Journal of Environmental Radioactivity. – 2018. – Vol. 186. – P. 45–53. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2017.09.022>
7. Panitskiy A.V. ^{137}Cs and ^{90}Sr in lizards of Semipalatinsk test site / A.V. Panitskiy, S.N. Lukashenko, N.Zh. Kadyrova // Journal of Environmental Radioactivity. – 2017. – Vol. 166 Pt. – P. 91–96. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2016.04.034>
8. Panitskiy, A.V. Vertical distribution of radionuclides in soils of Semipalatinsk test site / A.V. Panitskiy, A.E. Kunduzbayeva, S.A. Baygazy // NNC RK Bulletin. – 2022. – Issue3 (91). – P. 31–38. <https://doi.org/10.52676/1729-7885-2022-3-31-38>
9. Panitskiy, A.V. ^{137}Cs in the organisms of mouse-like rodents inhabited the area of nuclear weapon testing / A.V. Panitskiy, N.Zh. Kadyrova, A.B. Bazarbaeva, T.N. Tuleubaeva // NNC RK Bulletin. – 2022. – No. 4 (92). – P. 51–55. <https://doi.org/10.52676/1729-7885-2022-4-51-55>
10. Panitskiy A., Bazarbaeva A., Baigazy S., Alexandrovich I., Larionova N. Radioecological characteristics of Siberian roe deer (*Capreolus pygargus* Pal., 1771) inhabiting locations of nuclear weapon tests // PLoS ONE. – 2024. – Vol. 19(9): e0308518. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0308518>
11. Комплексное радиоэкологическое обследование Семипалатинского испытательного полигона: / Э.Г. Батырбеков, А.О. Айдарханов, В.А. Витюк и др. – Курчатов: Институт радиационной безопасности и экологии РГП НЯЦ РК, 2021. – 340 с.
12. Nazarbayev NA, Shkolnik VS, Batyrbekov et al. Scientific, Technical and Engineering Work to Ensure the Safety of the Former Semipalatinsk Test Site London, 2017 304 p. III 290 ISBN 978-90-827148-1-4
13. Бахтин М.М. О некоторых признаках индикации состояния природной среды Семипалатинского полигона // Вестник НЯЦ РК. – 2002. – Вып. 3. – С. 68.
14. Сейсебаев А.Т. Хирономиды (Diptera, chironomidae) как возможные биоиндикаторы экологического состояния водоемов / Сейсебаев А.Т., Бахтин М.М. // Вестник НЯЦ РК. – 2002. – Вып. 3. – С. 72.
15. Минкенова, К. С. Цитогенетические изменения тонконога (*koeleriagracilis*pers), произрастающего в местах испытания боевых радиоактивных веществ на Семипалатинском испытательном полигоне / К. С. Минкенова, Ж. А. Байгазинов, С. Н. Лукашенко, А. Н. Мамырбаева, К. С. Каримбаева. // Радиоэкология. Радиобиология. – М.: 2017.
16. Кадырова Н.Ж., Жапбасов Р.Ж. Радиобиологические и цитогенетические аспекты последствий хронического воздействия ионизирующих излучений Семипалатинского испытательного полигона на природные популяции растений и животных // Монография, Павлодар, 2019, 312 с.
17. Минкенова К.С. Цитогенетические эффекты у тонконога тонкого с площадки, где проводили испытания боевых радиоактивных веществ на Семипалатинском испытательном полигоне / К.С. Минкенова, Ж.А. Байгазинов, С.А. Гераськин, А.Н. Переволоцкий // Радиационная биология. Радиоэкология. Москва. – 2020. – Т. 60. – № 3. – С. 249–264. <https://doi.org/10.31857/S0869803120030078>
18. Бахтин М.М. Цитогенетическое изучение природных популяций хирономид (*Diptera, Chironomidae*) открытых водоемов бывшего СИП. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук, Радиобиология, Гидробиология, № 6-179, 2002 год, Алматы.
19. Шатров, А.Н. Оценка дозовых нагрузок у природных популяций животных Семипалатинского полигона / А.Н. Шатров, А.В. Топорова, Н.Ж. Кадырова, А.В. Паницкий, Р.Ж. Жапбасов // Астана медициналық журналы. – 2019. – № 2 (100). – С. 656–661.
20. Panitskiy, A. Bioaccumulation of radionuclides in hoofed animals inhabiting the Semipalatinsk Test Site / Andrey Panitskiy, Asem Bazarbaeva, Symbat Baigazy, Yelena Polivkina, Ivan Alexandrovich, Mariya Abisheva // PLOS ONE. – 2023. – 16 p. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0294632>
21. Beresford, N.A., M. Balonov, K. Beaugelin-Seiller, J. Brown, D. Copplestone, J.L. Hingston, J. Horyna, A. Hosseini, B.J. Howard, S. Kamboj, T. Nedveckaite, G. Olyslaegers, T. Sazykina, J. Vives i Batlle, T.L. Yankovich and C. Yu. An international comparison of models and approaches for the estimation of the radiological exposure of non-human biota // Appl. Radiat. Isot. – 2008. – Vol. 66(11). – P. 1745–1749. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2008.04.009>
22. Практические рекомендации по вопросам оценки радиационного воздействия на человека и биоту. Под общей редакцией И.И. Линге и И.И. Крышева. – Москва. – 2015. – 265 с.
23. Environmental protection: the concept and use of Reference Animals and Plants // ICRP Publication 108, Annals of the ICRP. – 2008. – Vol. 38. – P. 4–6.

24. Крышев И.И., Сазыкина Т.Г. Радиационная безопасность окружающей среды: необходимость гармонизации российских и международных нормативно-методических документов с учетом требований федерального законодательства и новых международных основных норм безопасности ОНБ-2011. // Радиация и риск. – 2013. – Т. 22. – №1. – С. 47-61.
 25. Кундузбаева А.Е., Осинцев А.Ю., Лукашенко С.Н., Магашева Р.Ю. Формы нахождения искусственных радионуклидов в почвах испытательной площадки боевых радиоактивных веществ // Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана [Сб. тр. Национального ядерного центра РК за 2011-2012 г.] / под рук. Лукашенко С.Н. – Павлодар: Дом печати, 2013. – Т. 2. – Вып. 4. – С. 167-180. – ISBN 978-601-7112-74-5.
 26. Отчет по Республиканской бюджетной программе 036 «Развитие атомных и энергетических проектов», подпрограмма 101 «Обеспечение радиационной безопасности на территории Республики Казахстан», мероприятие 1 «Обеспечение безопасности бывшего Семипалатинского испытательного полигона» за 2021 год: Отчет (информационный) / Филиал «институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК: рук. Работ Умаров М.А. – Курчатов, – Прил.: А, Б, В. – 5313 с.
 27. Handbook of parameter values for the prediction of radionuclide transfer to wildlife. – Vienna: International Atomic Energy Agency, 2014. p.; 24 cm. – (Technical reports series, ISSN 0074-1914; no. 479) STI/DOC/010/479 ISBN 978-92-0-100714-8
 28. Gomez-Ros, J.M., Prohl, G., Taranenko, V. Estimation of internal and external exposures of terrestrial reference organisms to natural radionuclides in the environment // J. Radiol. Prot. – 2004. – Vol. 24. – A79– A88.
- REFERENCES**
1. Matuschenko, A.M. Chronological List of Nuclear Tests at the Semipalatinsk Test Site and Their Radiation Effects / A.M. Matuschenko, G.A. Tsyrov, A.K. Chernyshov and [et al.]. // Nuclear Tests. – 1998. – P. 89–97.
 2. Larionova, N.V. Transfer of radionuclides to plants of natural ecosystems at the Semipalatinsk Test Site / N.V. Larionova, S.N. Lukashenko, A.M. Kabdyrakova, A.Ye. Kunduzbayeva, A.V. Panitskiy, A.R. Ivanova // Journal of Environmental Radioactivity. – 2018. – Vol. 186. – P. 163–70. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2017.09.006>
 3. Larionova N. V. Otsenka vliyaniya individual'nykh biologicheskikh osobennostey rasteniy na sodержanie ot del'nykh khimicheskikh elementov i radionuklidov / N. V. Larionova, T. E. Kozhakhanov, A. R. Ivanova // Vestnik NYaTs RK. – 2020. – No. 2 (82). – P. 160–166. <https://doi.org/10.52676/1729-7885-2020-2-160-166>
 4. Panitskiy A.V. Nature of radioactive contamination of components of ecosystems of streamflows from tunnels of Degelen massif / Panitskiy A.V., Lukashenko S.N. // Journal of Environmental Radioactivity. – 2015. – P. 32–40. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2015.02.021>
 5. Kabdyrakova A.M. Raspre delenie iskusstvennykh radionuklidov po agregatnym fraktsiyam pochv v rayone provedeniya podzemnykh yadernykh ispytaniy v skvazhinakh na ploshchadke «Balapan» / A.M. Kabdyrakova, A.T. Men'dubaev // Vestnik NYaTs RK. – 2019. – No. 4. – P. 131–141. <https://doi.org/10.52676/1729-7885-2019-4-131-141>
 6. Kabdyrakova A.M. Distribution of artificial radionuclides in particle-size fractions of soil on fallout plumes of nuclear explosions / A.M. Kabdyrakova, S.N. Lukashenko, A.T. Mendubaev, A.E. Kunduzbayeva, A.V. Panitskiy, N.V. Larionova // Journal of Environmental Radioactivity. – 2018. – Vol. 186. – P. 45–53. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2017.09.022>
 7. Panitskiy A.V. 137Cs and 90Sr in lizards of Semipalatinsk test site / A.V. Panitskiy, S.N. Lukashenko, N.Zh. Kadyrova // Journal of Environmental Radioactivity. – 2017. – Vol. 166 P1. – P. 91–96. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2016.04.034>
 8. Panitskiy, A.V. Vertical distribution of radionuclides in soils of Semipalatinsk test site / A.V. Panitskiy, A.E. Kunduzbayeva, S.A. Baygazy // NNC RK Bulletin. – 2022. – No. 3 (91). – P. 31–38. <https://doi.org/10.52676/1729-7885-2022-3-31-38>
 9. Panitskiy, A.V. 137Cs in the organisms of mouse-like rodents inhabited the area of nuclear weapon testing / A.V. Panitskiy, N.Zh. Kadyrova, A.B. Bazarbaeva, T.N. Tuleubaeva // NNC RK Bulletin. – 2022. – No. 4 (92). – P. 51–55. <https://doi.org/10.52676/1729-7885-2022-4-51-55>
 10. Panitskiy A., Bazarbaeva A., Baigazy S., Alexandrovich I., Larionova N. Radioecological characteristics of Siberian roe deer (*Capreolus pygargus* Pal., 1771) inhabiting locations of nuclear weapon tests // PLoS ONE. – 2024. – Vol. 19(9): e0308518. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0308518>
 11. Kompleksnoe radioekologicheskoe obsledovanie Semipalatinskogo ispytatel'nogo poligona: / E.G. Batyrbekov, A.O. Aydarkhanov, V.A. Vityuk i dr. – Kurchatov: Institut radiatsionnoy bezopasnosti i ekologii RGP NYaTs RK, 2021. – 340 p.
 12. Nazarbayev NA, Shkolnik VS, Batyrbekov et al. Scientific, Technical and Engineering Work to Ensure the Safety of the Former Semipalatinsk Test Site London, 2017 304 p. III 290 ISBN 978-90-827148-1-4
 13. Bakhtin M.M. O nekotorykh priznakakh indikatsii sostoyaniya prirodnoy sredy Semipalatinskogo poligona // Vestnik NYaTs RK. – 2002. – No. 3. – P. 68,
 14. Seysebaev A.T. Khironomidy (Diptera, chironomidae) kak vozmozhnye bioindikatory ekologicheskogo sostoyaniya vodoemov / Seysebaev A.T., Bakhtin M.M. // Vestnik NYaTs RK. – 2002. – No. 3. – P. 72.
 15. Minkanova, K. S. Tsitogeneticheskie izmeneniya tonkonoga (koeleriagracilis pers), proizrastayushchego v mestakh ispytaniya boevykh radioaktivnykh veshchestv na Semipalatinskom ispytatel'nom poligone / K. S. Minkanova, Zh. A. Baygazinov, S. N. Lukashenko, A. N. Mamyrbayeva, K. S. Karimbaeva. // Radioekologiya. Radiobiologiya. – Moscow: 2017.
 16. Kadyrova N.Zh., Zhabbasov R.Zh. Radiobiologicheskie i tsitogeneticheskie aspekty posledstviy khronicheskogo vozdeystviya ioniziruyushchikh izlucheniy Semipalatinskogo ispytatel'nogo poligona na prirodnye populyatsii rasteniy i zhivotnykh // Monografiya, Pavlodar, 2019, 312 p.
 17. Minkanova K.S. Tsitogeneticheskie efekty u tonkonoga tonkogo s ploshchadki, gde provodili ispytaniya boevykh radioaktivnykh veshchestv na Semipalatinskom ispytatel'nom poligone / K.S. Minkanova, Zh.A. Baygazinov, S.A. Geras'kin, A.N. Perevolotskiy // Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya. Moskva. – 2020. – T. 60. –

- No. 3. – P. 249–264.
<https://doi.org/10.31857/S0869803120030078>
18. Bakhtin M.M. Tsitogeneticheskoe izucheniye prirodnikh populyatsiy khironomid (Diptera, Chironomidae) otkrytykh vodoemov byvshego SIP. Avtoreferat dissertatsii na soiskaniye uchenoy stepeni kandidata biologicheskikh nauk, Radiobiologiya, Gidrobiologiya, No. b-179, 2002 god, Almaty.
19. Shatrov, A.N. Otsenka dozovykh nagruzok u prirodnikh populyatsiy zhivotnykh Semipalatinskogo poligona / A.N. Shatrov, A.V. Toporova, N.Zh. Kadyrova, A.V. Panitskiy, R.Zh. Zhapbasov // Astana meditsinalyк zhurnaly. – 2019. – No. 2 (100). – P. 656–661.
20. Panitskiy, A. Bioaccumulation of radionuclides in hoofed animals inhabiting the Semipalatinsk Test Site / Andrey Panitskiy, Asem Bazarbaeva, Sybat Baigazy, Yelena Polivkina, Ivan Alexandrovich, Mariya Abisheva // PLOS ONE. – 2023. – 16 p. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0294632>
21. Beresford, N.A., M. Balonov, K. Beaugelin-Seiller, J. Brown, D. Copplestone, J.L. Hingston, J. Horyna, A. Hosseini, B.J. Howard, S. Kamboj, T. Nedveckaite, G. Olyslaegers, T. Sazykina, J. Vives i Batlle, T.L. Yankovich and C. Yu. An international comparison of models and approaches for the estimation of the radiological exposure of non-human biota // Appl. Radiat. Isot. – 2008. – Vol. 66(11). – P. 1745–1749.
<https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2008.04.009>
22. Prakticheskie rekomendatsii po voprosam otsenki radiatsionnogo vozdeystviya na cheloveka i biotu. Pod obshchey redaktsiei I.I. Linge i I.I. Krysheva. – Moscow. – 2015. – 265 p.
23. Environmental protection: the concept and use of Reference Animals and Plants // ICRP Publication 108, Annals of the ICRP. – 2008. – Vol. 38. – P. 4–6.
24. Kryshev I.I., Sazykina T.G. Radiatsionnaya bezopasnost' okruzhayushchey sredy: neobkhodimost' garmonizatsii rossiyskikh i mezhdunarodnykh normativno-metodicheskikh dokumentov s uchedom trebovaniy federal'nogo zakonodatel'stva i novykh mezhdunarodnykh osnovnykh norm bezopasnosti ONB-2011. // Radiatsiya i risk. – 2013. – Vol. 22. – No. 1. – P. 47–61.
25. Kunduzbaeva A.E., Osintsev A.Yu., Lukashenko S.N., Magasheva R.Yu. Formy nakhozheniya iskusstvennykh radionuklidov v pochvakh ispyatel'noy ploshchadki boevykh radioaktivnykh veshchestv // Aktual'nye voprosy radioekologii Kazakhstana [Sb. tr. Natsional'nogo yadernogo tsentra RK za 2011–2012 g.] / pod ruk. Lukashenko S.N. – Pavlodar: Dom pechati, 2013. – Vol. 2. – No. 4. – P. 167–180. ISBN 978-601-7112-74-5
26. Otchet po Respublikanskoy byudzhethoy programme 036 «Razvitie atomnykh i energeticheskikh proektov», podprogramma 101 «Obespechenie radiatsionnoy bezopasnosti na territorii Respubliki Kazakhstan», meropriyatie 1 «Obespechenie bezopasnosti byvshego Semipalatinskogo ispyatel'nogo poligona» za 2021 god: Otchet (informatsionnyy) / Filial «institut radiatsionnoy bezopasnosti i ekologii» RGP NYaTs RK: ruk. Rabot Umarov M.A. – Kurchatov, – Pril.: A, B, V. – 5313 p.
27. Handbook of parameter values for the prediction of radionuclide transfer to wildlife. – Vienna: International Atomic Energy Agency, 2014. p.; 24 cm. – (Technical reports series, ISSN 0074–1914; No. 479) STI/DOC/010/479 ISBN 978–92–0–100714–8
28. Gomez-Ros, J.M., Prohl, G., Taranenko, V. Estimation of internal and external exposures of terrestrial reference organisms to natural radionuclides in the environment // J. Radiol. Prot. – 2004. – Vol 24. – A79–A88.

СЕМЕЙ СЫНАҚ ПОЛИГОНЫНЫҢ АУМАҒЫНДА ТАБИҒИ ЖАҒДАЙДА ӨМІР СҮРЕТІН СІБІР ЕЛІГІ ҮШІН (*CAPREOLUS PYGARGUS* PAL., 1771) РАДИОЭКОЛОГИЯЛЫҚ ҚАТЕРДІ БАҒАЛАУ

А. В. Паницкий*, С. А. Байгазы, И. А. Александрович

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

** Байланыс үшін E-mail: panitskiy@nnc.kz*

Мақалада Сібір еліктерінің табиғи популяциясындағы дозалық жүктемелерді бағалау нәтижелері келтірілген (*Capreolus pygargus* Pal., 1771), Семей сынақ полигонының аумағында тұрады. ССП-ның «шартты-фондық» аумағында мекендейтін еліктер үшін дозаның есептелген күтілетін қуаты тәулігіне 3,7 мкГр-ден аспайды, ал ССП-дағы іздер түріндегі радиоактивті түсулер орын алған аумақта мекендейтін еліктер үшін тәулігіне 150 мкГр-ден аспайды. Дозаның негізгі бөлігі ^{90}Sr изотопынан ішкі сәулелену арқылы қалыптасады. Жануарлардың әртүрлі түрлерінің өкілдерінің созылмалы сәулелену дозасының қуатына байланысты биотадағы радиациялық әсерлер шкаласына сәйкес ССП «шартты-фондық» аумақтары үшін есептелген дозасы табиғи радиациялық фонға сәйкес келеді. ССП-дағы іздер түрінде радиоактивті түсулер орын алған аумақта күтілетін доза цитогенетикалық әсерлердің шамалы ұлғаюының және сезімтал омыртқалылардың түрлерін ынталандырудың пайда болу шегіне жетуі мүмкін. Шығарылған референттік деңгейлер жиынтығына сәйкес, ССП-ның «шартты-фондық» аумақтарында мекендейтін еліктерге есептелген доза табиғи радиациялық фонға сәйкес келеді, ал ССП-да іздер түрінде радиоактивті түсу орын алған аумақта мекендейтін еліктерге есептелген дозаларда әсерлердің пайда болу ықтималдығы өте төмен. Өз кезегінде, ССП техникалық алаңдарының аумағында, ең консервативті сценариймен, мүмкін болатын ең жоғары дозалар тәулігіне $1,6 \cdot 10^4$ – $1,7 \cdot 10^7$ мкГр шегінде өзгеруі мүмкін. Өлімге алып келетін сәуле ауруының пайда болуына дейін әсерлердің кең ауқымының пайда болу («Тәжірибе даласы», «4» және «4А» техникалық алаңдарында) қаупі бар. Түрлі әсерлердің туындау қатерінің қауіптілігі бойынша зерттелетін аумақтарды келесі кему қатарында орналастыруға болады: ӨРЗ («4» және «4А») сынақ алаңдары > «Тәжірибе даласы» алаңы > «Дегелең» алаңы > «Балапан» алаңы > «Сары-Өзен» алаңы > ССП-дағы іздер түріндегі радиоактивті түсу орын алған аумақтар > ССП-дағы іздер мен сынақ алаңдары түріндегі радиоактивті түсулер болмаған аумақтар.

Түйін сөздер: радиэкология, радиобиология, еліктер, дозалық жүктемелер, Семей сынақ полигоны.

ASSESSMENT OF RADIOECOLOGICAL RISKS FOR SIBERIAN ROE DEER (*CAPREOLUS PYGARGUS* PAL., 1771) LIVING IN NATURAL CONDITIONS IN THE SEMIPALATINSK TEST SITE AREA

A. V. Panitskiy*, S. A. Baigazy, I. A. Alexandrovich

Branch "Institute of Radiation Safety and Ecology" RSE NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

** E-mail for contacts: panitskiy@nnc.kz*

The article presents the findings on assessment of dose loads in the natural population of Siberian roe deer (*Capreolus pygargus* Pal., 1771) living in the Semipalatinsk Test Site area. The calculated expected dose rate for roe deer living in the "conditionally background" area of the STS will not exceed 3.7 $\mu\text{Gy/day}$, while for those in areas affected by radioactive fallout plumes, it will not exceed 150 $\mu\text{Gy/day}$. The main contribution to the dose comes from internal exposure to ^{90}Sr . According to radiation effect scales for biota, depending on the dose rate of chronic exposure in various animal species, the calculated dose for the "conditionally background" areas of the STS correspond to natural background radiation. In areas with radioactive fallout plumes at the STS, the expected dose may reach the threshold for minor cytogenetic effects and stimulation in sensitive vertebrate species. According to the set of derived reference levels, the calculated dose for roe deer living in the "conditionally background" areas of the STS correspond to natural background radiation. In contrast, the doses calculated for roe deer living in areas with radioactive fallout plumes at the STS indicate an extremely low probability of any biological effects. At the technical sites of the STS, under the most conservative exposure scenario, the maximum possible dose rates may range from $1.6 \cdot 10^4$ – $1.7 \cdot 10^7$ $\mu\text{Gy/day}$. There are risks of a fairly wide range of effects, up to the occurrence of fatal radiation sickness (at the "Experimental Field", "4" and "4A" technical sites). According to the risk of various effects, the studied areas can be arranged in the following decreasing order: RWA test sites ("4" and "4A") > Experimental Field test locations > Degelen test locations > Balapan test locations > Sary-Uzen test locations > area of radioactive fallout plumes at the STS > areas of the STS without radioactive fallout plumes and test locations.

Keywords: radioecology, radiobiology, roe deer, dose loads, Semipalatinsk Test Site.