

<https://doi.org/10.52676/1729-7885-2023-1-55-60>

УДК 504.064:631.4:539.16

ОЦЕНКА ДОЗОВЫХ НАГРУЗОК ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ПОВЕДЕНЧЕСКИХ СЦЕНАРИЕВ НА ТЕРРИТОРИИ «АТОМНОГО ОЗЕРА»

С.Б. Сүбботин¹⁾, А.О. Айдарханов¹⁾, Е.В. Романенко¹⁾, А.В. Топорова¹⁾, В.И. Супрунов¹⁾, М.Р. Актаев^{1,2)}

¹⁾ Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

²⁾ Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

E-mail для контактов: suprunov@nnc.kz

«Атомное озеро» является одним из посещаемых туристами на СИП объектов. В связи с этим актуален расчет дозы облучения, получаемой человеком на «Атомном озере» в условиях повышенного радиационного фона. Выделены поведенческие сценарии, характерные при посещении территории «Атомного озера»: «Турист», «Персонал», «Фермер».

В используемой методике эффективная доза представлена в виде суммы парциальных доз от внешнего гамма-излучения от почвы, ингаляционного поступления радионуклидов, перорального поступления радионуклидов с пищей. При расчетах доз облучения использованы исходные данные, полученные филиалом «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ Республики Казахстан.

По итогам расчетов эффективной дозы установлено, что при выездах персонала и туристов на «Атомное озеро» превышения годовой эффективной дозы не ожидается и основным источником облучения является внешнее облучение от радионуклида ¹³⁷Cs. Постоянное проживание населения на данной территории исключено, поскольку приводит к превышению установленной гигиеническими нормативами годовой эффективной дозы облучения населения.

Ключевые слова: «Атомное озеро», радиоактивное загрязнение, сценарии поведения, турист, персонал, фермер, внешнее облучение, внутреннее облучение, расчеты доз.

ВВЕДЕНИЕ

Семипалатинский испытательный полигон (СИП), закрытый в 1991 году, стал объектом для изучения воздействия радиоактивности на окружающую среду. Вследствие его большой территории (18,5 тыс. км²), вопрос о возможности использования его территории в хозяйственной деятельности при условии обеспечения радиационной безопасности является экономически важным. Исследования СИП показали, что часть земель полигона удовлетворяет требованиям гигиенических нормативов (ГН) [1] и, вследствие этого пригодна для хозяйственного использования [2, 3]. Данное исследование отвечает на вопрос о возможности посещения и пригодности для хозяйственных целей другого участка СИП, а именно, территории вокруг «Атомного озера».

В 1965 году в СССР в рамках Государственной программы № 7 «Ядерные взрывы для народного хозяйства» было проведено экскавационное ядерное испытание с целью оценки возможности создания искусственных водохранилищ в засушливых районах, в результате чего появилось «Атомное озеро» (рисунок 1) [4].

Экскавационным ядерным взрывом создана водная система из двух водных объектов: внешнего водохранилища (озеро перед навалом воронки) и внутреннего водохранилища (кратера). Испытание заряда привело к радиоактивному загрязнению значительной территории (более 10 км²) в северном от озера направлении [5] (рисунок 2).



Рисунок 1. «Атомное озеро», внутреннее водохранилище (кратер). Общий вид с вертолета по азимуту 60°

Оценка радиационного риска пребывания на «Атомном озере» выполнена для трёх поведенческих сценариев.

Сценарий «Турист» используется для туриста, приехавшего один раз в год на один час на экскурсию на «Атомное озеро». Турист – взрослый человек, использующий средство защиты органов дыхания (Лепесток-200), который в течение экскурсии не употребляет пищу или напитки, не курит. Средняя интенсивность дыхания для взрослых при легкой физической нагрузке составляет 0,9 м³/ч [6].

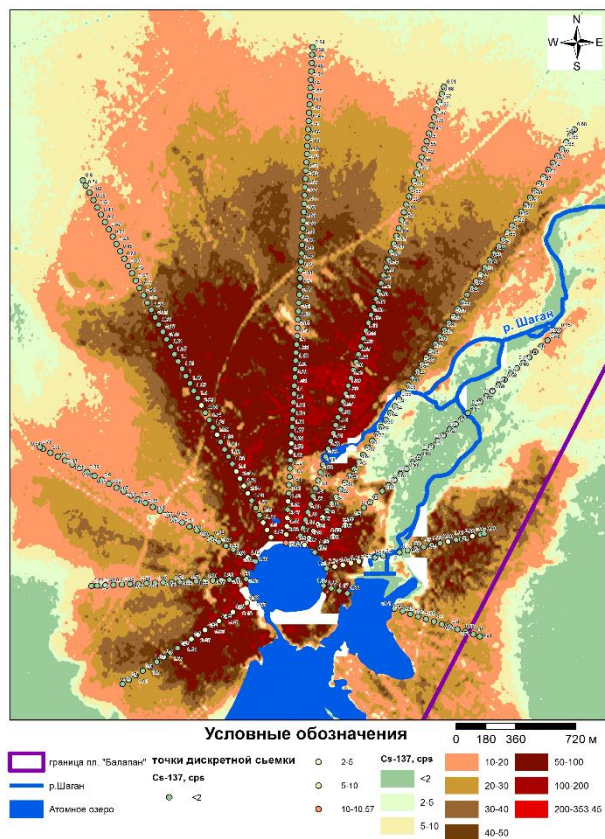


Рисунок 2. Карта обследования уровня радиоактивного загрязнения ^{137}Cs территории, прилегающей к «Атомному озеру»

Сценарий «Персонал» используется для персонала, занятого исследованиями на данной территории. Радиоэкологические исследования территории заключаются в проведении измерений и отборе проб, для проведения которых в большинстве случаев достаточно одной рабочей смены. Длительность рабочей смены – 7,12 часа. Для защиты органов дыхания персонал использует респиратор типа «Лепесток-200», употребляет пищу и воду в передвижном жилом лагере, находящемся за пределами загрязненной территории. При тяжелой работе интенсивность дыхания составляет $2,8 \text{ м}^3/\text{ч}$ [6].

В сценарии «Фермер» предполагается, что взрослый человек живет и ведет хозяйственную деятельность на территории «Атомного озера». Предполагается, что фермер часть времени (8 часов) проводит на открытом воздухе, все остальное время он проводит в доме. Коэффициент экранирования (стены дома) принят равным 0,4. Интенсивность дыхания при нахождении на открытом воздухе принимается равной $1,8 \text{ м}^3/\text{ч}$, в помещении $0,9 \text{ м}^3/\text{ч}$ [6].

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ

В расчете доз облучения предполагается, что вся деятельность осуществляется на территории максимального загрязнения. Учитывая размеры загрязненной области (более 10 км^2), это является возможным [5].

В сценариях рассматривается доза внешнего гамма-облучения; доза внутреннего облучения от ингаляционного поступления радионуклидов; доза внутреннего облучения от перорального поступления радионуклидов с пищей и водой.

Ожидаемая годовая эффективная доза E_{ef} выражена в виде суммы парциальных доз по всем j -ым факторам радиационного воздействия:

$$E_{ef} = E_{\gamma} + E_{inh} + E_{mg},$$

где E_{γ} – доза внешнего облучения гамма-излучением; E_{inh} – доза внутреннего облучения от ингаляционного поступления радионуклидов; E_{mg} – доза внутреннего облучения от перорального поступления радионуклидов с пищей.

Алгоритм расчета заключается в оценке годовой эффективной дозы от каждого возможного пути облучения согласно выбранному сценарию поведения человека на загрязненной территории.

Эффективная доза (в мЗв) от внешнего гамма-излучения (E_{γ}) определяется как:

$$E_{\gamma} = \sum E_{\gamma i},$$

$$E_{\gamma i} = A_{si} \cdot B_{sgi} \cdot T \cdot K_{tc},$$

где $E_{\gamma i}$ – эффективная доза внешнего гамма-излучения для i -го радионуклида, Зв/год; T – время облучения, ч/год; B_{sgi} – коэффициент перехода от единичной поверхностной активности радионуклида в почве к мощности поглощенной дозы гамма-излучения в воздухе на высоте 1 м над поверхностью земли, $\text{МГр} \cdot \text{м}^2/\text{ч} \cdot \text{кБк}$ [7]; K_{tc} – коэффициент перехода от дозы в воздухе на высоте 1 м над подстилающей поверхностью к эффективной дозе для представителей j -ой группы населения мЗв/МГр (принимается равным $0,75 \text{ мЗв}/\text{МГр}$ – для взрослого населения) [7]; A_{si} – площадная активность i -го радионуклида, $\text{кБк}/\text{м}^2$:

$$A_{si} = A_{mi} \cdot \rho \cdot h \cdot 10^{-3},$$

где A_{mi} – удельная активность i -го радионуклида в поверхностном слое почвы, $\text{Бк}/\text{кг}$; ρ – плотность почвенного покрова, $1,3 \cdot 10^3 \text{ кг}/\text{м}^3$; h – глубина поверхностного слоя почвы, 0–5 см.

Ожидаемая годовая эффективная доза от поступления искусственных радионуклидов ингаляционным путем (через органы дыхания) (E_{inh}) определяется по формуле:

$$E_{inh} = \sum E_{inhi},$$

$$E_{inhi} = V \cdot e_{inhi} \cdot A_v \cdot T,$$

где V – интенсивность дыхания представителей j -ой группы населения, $\text{м}^3/\text{ч}$; e_{inhi} – дозовый коэффициент для i -го радионуклида при его поступлении ингаляционным путем, Зв/Бк [7]; T – время облучения, ч/год; A_v – объемная активность i -го радионуклида в воздухе, $\text{Бк}/\text{м}^3$.

При использовании средств индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД) «Лепесток -200» коэффициент эффективности средств защиты органов дыхания позволяет достигнуть эффективности ослабления от 0,5 до 0,125. При проведении расчетной оценки принимаем коэффициент защиты 0,125.

Эффективная доза от поступления радионуклидов с пищей (E_{mg}) определяется по формуле:

$$E_{mg} = \sum E_{mgi}$$

$$E_{mgi} = A_{mi} \cdot q \cdot e_{di},$$

где A_{mi} – удельная активность i -го радионуклида в продуктах питания, Бк/кг; q – годовое потребление продукта питания, кг/год [9]; e_{di} – дозовый коэффициент для j -ой группы населения i -го радионуклида при поступлении его с пищей, Зв/Бк [7].

Периодические наблюдения за радиационным состоянием экосистемы «Атомного озера» начались сразу после проведения испытания в 1965 г. К настоящему моменту по «Атомному озеру» накоплен огромный массив данных по радиационному состоянию объектов окружающей среды [5, 10, 11].

Определено, что в образцах объектов окружающей среды на территории «Атомного озера» содержатся следующие искусственные радионуклиды: ^{90}Sr , ^{137}Cs , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am , ^3H [5]. Для сохранения консервативности в расчетах использованы максимальные значения (таблица 1).

Таблица 1. Максимальные значения активности радионуклидов

Объект	^{137}Cs	^{90}Sr	$^{239+240}\text{Pu}$	^{241}Am	^3H
Почва, (кБк/кг)	14	0,92	17	3	–
Воздух, (Бк/м ³)	$9,5 \cdot 10^{-7}$	0,003	$4,8 \cdot 10^{-4}$	$5,0 \cdot 10^{-7}$	90
Вода, (Бк/л)	0,07	2	0,0003	2	$1,8 \cdot 10^4$
Рыба (мышечная ткань), (Бк/кг)	1,66	4,9	0,25	0,4	30

Значения параметров, используемых при проведении оценки доз облучения от рассматриваемых путей облучения искусственными радионуклидами, приведены в таблице 2.

Таблица 2. Значения коэффициентов для оценки доз облучения

Коэффициент	^{137}Cs	^{90}Sr	$^{239+240}\text{Pu}$	^{241}Am	^3H
B_{sg} , мГр·м ² /ч·кБк	$2,5 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-9}$	$1,3 \cdot 10^{-9}$	$9,7 \cdot 10^{-8}$	–
e_{di} , Зв/Бк	$1,3 \cdot 10^{-8}$	$2,8 \cdot 10^{-8}$	$2,5 \cdot 10^{-7}$	$2,0 \cdot 10^{-7}$	$4,2 \cdot 10^{-11}$
$e_{ингац}$, Зв/Бк	$4,6 \cdot 10^{-9}$	$5,0 \cdot 10^{-8}$	$5,0 \cdot 10^{-5}$	$4,2 \cdot 10^{-5}$	$2,7 \cdot 10^{-10}$
$e_{интнепс}$, Зв/Бк	$4,8 \cdot 10^{-9}$	$1,5 \cdot 10^{-7}$	$4,7 \cdot 10^{-5}$	$3,9 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-11}$

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

С использованием методики расчета доз облучения, приведенной выше, получены дозы облучения для всех сценариев (таблица 3). Ожидаемая эффективная доза по сценарию «Турист» за одно посещение территории «Атомного озера» составит $1,9 \cdot 10^{-3}$ мЗв, по сценарию «Персонал» за рабочую

смену – $1,4 \cdot 10^{-2}$ мЗв. Ожидаемая годовая эффективная доза по сценарию «Фермер» – 11,7 мЗв/год. В соответствии с гигиеническими требованиями [1] проживание населения на исследуемой территории по сценарию «Фермер» исключено, поскольку приводит к превышению допустимой годовой эффективной дозы населения более, чем в 11 раз. В то же время, при выполнении условий сценариев «Турист» и «Персонал» разовое посещение «Атомного озера» по ГН [1] допустимо.

Таблица 3. Расчетные эффективные дозы облучения, мЗв

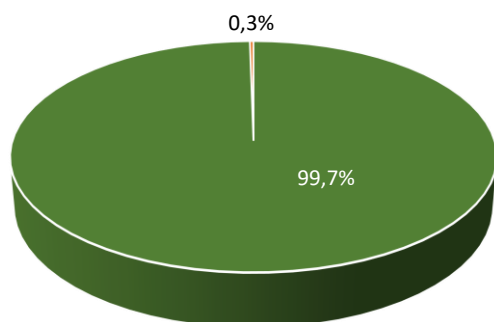
Источник облучения	Турист (разовое посещение)	Персонал (рабочая смена)	Фермер (календарный год)
Внешнее гамма-облучение	$1,9 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$	10,2
Ингаляционное поступление радионуклидов	$5,5 \cdot 10^{-6}$	$6,1 \cdot 10^{-5}$	$5,1 \cdot 10^{-1}$
Пероральное поступление радионуклидов	–	–	1
Суммарная доза	$1,9 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$	11,7

Рассмотрен вклад искусственных радионуклидов в суммарную эффективную дозу облучения (таблица 4). Из результатов расчетов видно, что по всем сценариям наибольший вклад вносит радионуклид ^{137}Cs . Вторым по значимости радионуклидом является ^{241}Am . В течение ближайших шестидесяти лет облучение от радионуклида ^{137}Cs будет осложнять радиационную обстановку больше, чем остальные факторы. На временном участке более ста лет загрязнение радионуклидом ^{241}Am является основным и исключает возможность освоения исследуемой территории.

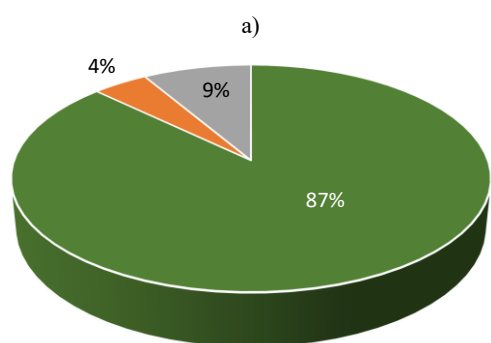
Таблица 4. Вклад искусственных радионуклидов в ожидаемую годовую эффективную дозу облучения, мЗв

Сценарий	Радионуклид				
	^{137}Cs	^{90}Sr	$^{239+240}\text{Pu}$	^{241}Am	^3H
Турист (разовое посещение)	$1,7 \cdot 10^{-3}$	$7,1 \cdot 10^{-7}$	$1,9 \cdot 10^{-5}$	$2,2 \cdot 10^{-4}$	$2,7 \cdot 10^{-6}$
Персонал (рабочая смена)	$1,2 \cdot 10^{-2}$	$6,0 \cdot 10^{-6}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$4,0 \cdot 10^{-6}$
Фермер (календарный год)	9,0	0,1	$3,6 \cdot 10^{-1}$	1,5	$8,1 \cdot 10^{-1}$

Использование респираторов при посещении «Атомного озера» и запреты на курение, потребление еды, использование косметики, применяемые в сценариях «Турист» и «Персонал», оправданы, поскольку они позволяют значительно снизить вклады в получаемую эффективную дозу от ингаляционного поступления радионуклидов и перорального поступления радионуклидов (рисунок 3). Эти меры защиты позволяют снизить эффективную дозу облучения от радионуклидов $^{239+240}\text{Pu}$ и ^3H (рисунок 4).



■ внешнее гамма-излучение
■ ингаляционное поступление радионуклидов



■ внешнее гамма-излучение
■ ингаляционное поступление радионуклидов
■ пероральное поступление радионуклидов

б)

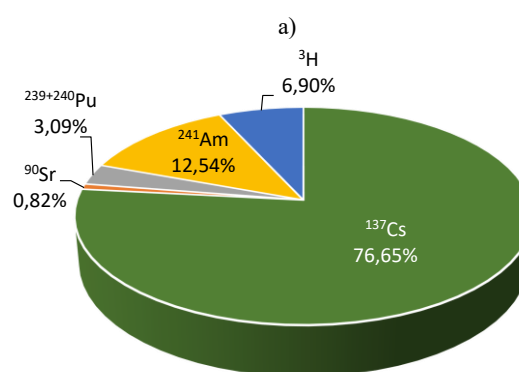
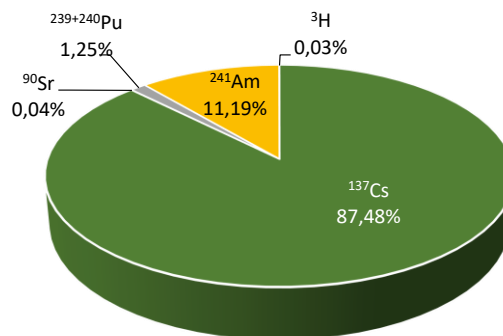
Рисунок 3. Вклады источников облучения в ожидаемую эффективную дозу по сценариям «Турист» и «Персонал» (а), «Фермер» (б)

В то же время, часть земель полигона пригодна для хозяйственного использования. Так, установлено, что для северной части СИП ожидаемая годовая эффективная доза для проживающего населения при условии «наихудшего» сценария не превысит 0,3 мЗв [2], а доза внутреннего облучения от изотопов плутония составит около 0,1 мЗв/год [3].

В отличие от северной части СИП, при проживании на территории вблизи «Атомного озера», имеющей радиоактивное загрязнение, ожидаемая годовая эффективная доза для населения увеличивается примерно в сорок раз, а доза внутреннего облучения от изотопов плутония увеличится более, чем в три раза.

Выводы

Ожидаемая эффективная доза для сценариев «Турист» и «Персонал» не превышает нормативных пределов гигиенических нормативов [1], и составляет $1,9 \cdot 10^{-3}$ мЗв и $1,4 \cdot 10^{-2}$ мЗв соответственно. Посещение «Атомного озера» туристами и персоналом не приводит к сверхнормативному облучению.



б)

Рисунок 4. Вклады радионуклидов в сценарии «Турист» и «Персонал» (а), «Фермер» (б)

Ожидаемая годовая эффективная доза для фермера, живущего около «Атомного озера» и потребляющего рыбу и воду из него, составит 11,7 мЗв/год, что превышает установленный норматив – 1 мЗв/год для населения [1] более чем в одиннадцать раз. Территория вблизи «Атомного озера» не рекомендуется для проживания людей, относящихся к категории населения.

Во всех сценариях основной вклад в эффективную дозу, получаемую при посещении «Атомного озера» вносит жесткое гамма-излучение ^{137}Cs (рисунок 4). Данный радионуклид имеет значительный период полураспада (30,16 лет), в связи с чем изменение радиационной обстановки на территории, прилегающей к «Атомному озеру», в ближайшем будущем не предвидится.

На большой временной дистанции, после распада радионуклида ^{137}Cs , основной вклад начнут вносить трансурановые элементы $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{241}Am , которые обладают более длительным периодом полураспада. Исходя из этого, стоит признать, что территория, прилегающая к «Атомному озеру», непригодна для проживания даже в отдаленном будущем.

Исследования выполнены в рамках проекта МНТЦ К-2160.

ЛИТЕРАТУРА

1. Министр здравоохранения Республики Казахстан. Об утверждении гигиенических нормативов к обеспечению радиационной безопасности: Приказ от 2 августа 2022 года № КР ДСМ-71. – <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V2200029012>.
2. Радиоэкологическое состояние «северной» части Семипалатинского испытательного полигона: монография / под рук. С. Н. Лукашенко. – 2-е изд. // Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана / Ин-т радиационной безопасности и экологии РГП НЯЦ РК. – Павлодар: ТОО «Дом печати», 2010. – Вып. 1. – 294 с.: ил. – Библиогр.: с. 281–290; 115 назв. – 500 экз. – ISBN 978-601-7112-38-7.
3. Брянцева, Н.В. Расчет доз от изотопов плутония по результатам исследования его содержания в моче для населения, проживающего в зоне влияния СИП / Н.В. Брянцева, А.В. Топорова, А.А. Жадыранова, С.Н. Лукашенко // Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана : сб. трудов / Институт радиационной безопасности и экологии РГП НЯЦ РК. – Курчатов, 2010. – Вып. 2. – С. 463–474.
4. Березин, С.А.. Мирные ядерные взрывы на территории Казахстана / С.А. Березин, Д.Г. Гильманов, Ж.Р. Жотабаев [и др.] // Вестник НЯЦ РК. – 2001. – Вып. 7(3). – С. 57–62.
5. Subbotin, S.B. Development of measures for limiting negative impacts of the «Atomic» lake on population and environment / S.B. Subbotin, A.O. Aidarkhanov, V.V. Romanenko [et. al.] // Journal of Environmental Radioactivity. – 2020. – Vol. 223–224. – 6 p. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2020.106389>.
6. ICRP Publication 66. Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection // Annals of the ICRP. – 1994. – 488 p. [Electronic resource] // International Commission on Radiological Protection. URL: <https://www.icrp.org/publication.asp?id=icrp%20publication%2066>.
7. Топорова, А.В. Обзор методических указаний и рекомендаций по оценке годовой эффективной дозы человека при проживании на радиоактивно загрязненной территории / А.В. Топорова, Ю.В. Бакланова, Ю.Г. Стрильчук, А.Н. Шатров // Вестник НЯЦ РК. – 2021. – Вып. 2 (86). – С. 57–69. – Библиогр.: с. 67. <https://doi.org/10.52676/1729-7885-2021-2-57-69>.
8. Топорова, А. В. Оценка граничных параметров радиоактивного загрязнения территорий гарантирующих непревышение допустимых дозовых нагрузок / А.В. Топорова, С.Н. Лукашенко // Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана: филиал Института радиационной безопасности и экологии: Вып. 5: монография. – Курчатов, 2015. – Разд. 6. – С. 293–312.
9. Приказ Министра национальной экономики Республики Казахстан от 9 декабря 2016 года № 503 «Об утверждении научно обоснованных физиологических норм потребления продуктов питания».
10. Айдарханов, А.О. Результаты радиологического обследования территории, прилегающей к «Атомному» озеру / А.О. Айдарханов, С.Н. Лукашенко, М.А. Умаров, Ю.Ю. Яковенко // Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана: сб. тр. / Институт радиационной безопасности и экологии РГП НЯЦ РК. – Курчатов, 2017. – Вып. 6, Т. 1. – С. 125–143.
11. Субботин, С.Б. Исследования миграции трития с подземными водами на бывшем Семипалатинском полигоне / С.Б. Субботин, А.О. Айдарханов, Ю.В. Дубасов // Радиохимия. – 2013. – Т. 55. – № 5. – С. 471–478.

REFERENCES

1. Ministr zdavookhraneniya Respubliki Kazakhstan. Ob utverzhdenii gigienicheskikh normativov k obespecheniyu radiatsionnoy bezopasnosti: Prikaz ot 2 avgusta 2022 goda No. KR DSM-71. – <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V2200029012>.
2. Radioekologicheskoe sostoyanie «severnoy» chasti Semipalatinskogo ispytatel'nogo poligona: monografiya/ pod ruk. S. N. Lukashenko. – 2-e izd. // Aktual'nye voprosy radioekologii Kazakhstana/ In-t radiatsionnoy bezopasnosti i ekologii RGP NYaTs RK. – Pavlodar: TOO “Dom pechati”, 2010. – Issue 1. – 294 p.: il. – Bibliogr.: p. 281–290; 115 nazv. – 500 ekz. – ISBN 978-601-7112-38-7.
3. Bryantseva, N.V. Raschet doz ot izotopov plutoniya po rezul'tatam issledovaniya ego soderzhaniya v moche dlya naseleniya, prozhivayushchego v zone vliyaniya SIP / N.V. Bryantseva, A.V. Toporova, A.A. Zhadyranova, S.N. Lukashenko // Aktual'nye voprosy radioekologii Kazakhstana : sb.trudov / Institut radiatsionnoy bezopasnosti i ekologii RGP NYaTs RK. – Kurchatov, 2010. – Issue 2. – P. 463–474.
4. Berezin, S.A.. Mirnye yadernye vzryvy na territorii Kazakhstana / S.A. Berezin, D.G. Gil'manov, Zh.R. Zhotabaev [i dr.] // Vestnik NYaTs RK. – 2001. – Issue 7(3). – P. 57–62.
5. Subbotin, S.B. Development of measures for limiting negative impacts of the «Atomic» lake on population and environment / S.B. Subbotin, A.O. Aidarkhanov, V.V. Romanenko [et. al.] // Journal of Environmental Radioactivity. – 2020. – Vol. 223–224. – 6 p. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2020.106389>.
6. ICRP Publication 66. Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection // Annals of the ICRP. – 1994. – 488 p. [Electronic resource] // International Commission on Radiological Protection. URL: <https://www.icrp.org/publication.asp?id=icrp%20publication%2066>.
7. Toporova, A.V. Obzor metodicheskikh ukazaniy i rekomendatsiy po otsenke godovoy effektivnoy dozy cheloveka pri prozhivaniy na radioaktivno zagryaznennoy territorii / A.V. Toporova, Yu.V. Baklanova, Yu.G. Stril'chuk, A.N. Shatrov // Vestnik NYaTs RK. – 2021. – Issue 2 (86). – P. 57–69. – Bibliogr.: p. 67. <https://doi.org/10.52676/1729-7885-2021-2-57-69>.
8. Toporova, A. V. Otsenka granichnykh parametrov radioaktivnogo zagryazneniya territoriy garantiruyushchikh neprevyshenie dopustimyykh dozovykh nagruzok / A.V. Toporova, S.N. Lukashenko // Aktual'nye voprosy radioekologii Kazakhstana: filial Institut radiatsionnoy bezopasnosti i ekologii: Issue 5: monografiya. – Kurchatov, 2015. – Section 6. – P. 293–312.
9. Prikaz Ministra natsional'noy ekonomiki Respubliki Kazakhstan ot 9 dekabrya 2016 goda No. 503 “Ob utverzhdenii nauchno obosnovannykh fiziologicheskikh norm potrebleniya produktov pitaniya”.
10. Aydarkhanov, A.O. Rezul'taty radiologicheskogo obsledovaniya territorii, prilgayushchey k «Atomnomu» ozeru / A.O. Aydarkhanov, S.N. Lukashenko, M.A. Umarov, Yu.Yu. Yakovenko // Aktual'nye voprosy radioekologii Kazakhstana: sb. tr. / Institut radiatsionnoy bezopasnosti i ekologii RGP NYaTs RK. – Kurchatov, 2017. – Issue 6, T. 1. – P. 125–143.
11. Subbotin, S.B. Issledovaniya migratsii tritiya s podzemnymi vodami na byvshem Semipalatinskoy poligone / S.B. Subbotin, A.O. Aydarkhanov, Yu.V. Dubasov // Radiokhimiya. – 2013. – T. 55. – No. 5. – P. 471–478.

**«АТОМ КӨЛІНІҢ» АУМАҒЫНДАҒЫ ӘРТҮРЛІ МІНЕЗ-ҚҰЛЫҚ КЕЗЕҢДЕРІ
ҮШІН ДОЗАЛЫҚ ЖҮКТЕМЕЛЕРДІ БАҒАЛАУ**

С.Б. Субботин¹⁾, А.О. Айдарханов¹⁾, Е.В. Романенко¹⁾, А.В. Топорова¹⁾, В.И. Супрунов¹⁾, М.Р. Актаев^{1,2)}

¹⁾ **ҚР ҰЯО РМК «Радиациялық қауіпсіздік және экология институты» филиалы, Курчатов, Қазақстан**

²⁾ **Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан**

«Атом көлі» – ССП туристері баратын нысандардың бірі. Осыған байланысты адамның «Атом көлінде» жоғары радиациялық фон жағдайында алатын сәулелену дозасын есептеу өзекті болып табылады. «Атом көлінің» аумағына барған кезде тән мінез-құлық сценарийлері: «Турист», «Персонал», «Фермер».

Қолданылатын Әдістемде тиімді доза топырақтан сыртқы гамма-сәулеленуден, радионуклидтердің ингаляциялық түсуінен, тамақпен радионуклидтердің ауызша түсуінен ішінара дозалар сомасы түрінде ұсынылады. Есептеулерде Қазақстан Республикасы ҰЯО РМК «Радиациялық қауіпсіздік және экология институты» филиалының зерттеулері барысында алынған деректер пайдаланылды. Әртүрлі жағдайдағы сценарийлерде жылдық тиімді доза топырақтан сыртқы гамма-сәулеленуден, радионуклидтердің ингаляциялық түсуінен, тамақпен радионуклидтердің ауызша түсуінен парциалды дозалар сомасы түрінде ұсынылады.

Сәулелену дозаларын есептеу нәтижелері халықтың осы аумақта тұрақты тұруына тиім салынуын көрсетті, өйткені бұл халықтың жылдық тиімді сәулелену дозасының белгіленген гигиеналық нормативтен (СЭТОРБ ГН) асып кетуіне әкеледі. «А» тобының персоналы мен туристер «Атом көліне» барған кезде жылдық тиімді дозадан асып кету күтілмейді және сәулеленудің негізгі көзі ¹³⁷Cs радионуклидінен сыртқы сәулелену болып табылады. Сонымен қатар, зерттелетін аумақта тұру кезінде радионуклидтерді сумен қабылдау кезінде жылдық тиімді доза халықтың сәулеленуінің белгіленген жылдық тиімді дозасынан асып кетуіне әкеледі.

Түйін сөздер: «Атом көлі», радиоактивті ластану, сценарийлері, турист, қызметкерлер, фермер, сыртқы сәулелену, ішкі сәулелену, дозаны есептеу.

**ASSESSMENT OF DOSE LOADS FOR VARIOUS BEHAVIORAL SCENARIOS
ON THE TERRITORY OF THE “ATOMIC LAKE”**

S.B. Subbotin¹⁾, A.O. Aidarkhanov¹⁾, Ye.V. Romanenko¹⁾, A.V. Toporova¹⁾, V.I. Suprunov¹⁾, M.R. Aktaev^{1,2)}

¹⁾ **RSE NNC RK Branch “Institute of Radiation Safety and Ecology”, Kurchatov, Kazakhstan**

²⁾ **L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan**

“Atomic Lake” is one of the objects visited by tourists at Semipalatinsk test site. In this regard, the calculation of the radiation dose received by a person on “Atomic Lake” in conditions of high radiation is relevant. Behavioral scenarios typical when visiting the territory of “Atomic Lake” are highlighted: “Tourist”, “Staff”, “Farmer”.

In the method used, the effective dose is represented as the sum of partial doses from external gamma radiation from the soil, inhalation intake of radionuclides, oral intake of radionuclides with food. The calculations used data obtained by the branch of RSE National Research Center of the Republic of Kazakhstan “Institute of Radiation Safety and Ecology”. In behavioral scenarios, the annual effective dose is represented as the sum of partial doses from external gamma radiation from the soil, inhalation intake of radionuclides, oral intake of radionuclides from food.

The results of the calculation of radiation doses showed that permanent residence of the population in this territory is excluded, since it leads to exceeding the annual effective radiation dose of the population established by the hygienic standard (GN SETORB). No excess of the annual effective dose is expected when Group A personnel and tourists visit the “Atomic Lake”, and the main source of exposure is external radiation from radionuclide ¹³⁷Cs. At the same time, when living in the study area, the annual effective dose with oral intake of radionuclides with water leads to an excess of the established annual effective radiation dose of the population.

Keywords: “Atomic Lake”, radioactive contamination, behavior scenarios, tourist, staff, farmer, external exposure, internal exposure, dose calculations.