

<https://doi.org/10.52676/1729-7885-2024-2-156-165>

УДК 539.16:574.5(574.41)

## ОЦЕНКА ДОЗОВЫХ НАГРУЗОК НА РАСТЕНИЯ ВОДОЕМОВ ТЕРРИТОРИИ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА

А. К. Айдарханова\*, А. В. Топорова, А. С. Мамырбаева, Н. В. Ларионова

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

\*E-mail для контактов: [almira@nnc.kz](mailto:almira@nnc.kz)

В работе представлены результаты расчетов доз облучения растений (водных, воздушно-водных и прибрежных), произрастающих на водоемах техногенного и природного происхождения территории СИП. Максимальная суммарная мощность дозы облучения составила 0,08 мГр/сут для прибрежных растений водоемов техногенного происхождения, образованных в результате нештатных ситуаций при проведении подземных ядерных испытаний. Для диапазона мощностей дозы 0,01–10 мГр/сут для данных видов растений в публикации Международной комиссии по радиологической защите говорится об отсутствии информации по проявлению каких-либо эффектов. На основе полученных данных установлено, что дозы облучения растений, рассчитанные на основе радиэкологического обследования водоемов СИП, значительно ниже порогового уровня «предельной дозы» по разным литературным данным. Полученный результат свидетельствует об отсутствии угроз (опасности) для состояния экосистемы водоемов территории СИП.

**Ключевые слова:** Семипалатинский испытательный полигон, доза, растения, водоемы техногенного и природного происхождения.

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время все большее развитие получают экоцентрические взгляды, согласно которым следует уделять внимание радиационной защите не только человека, но и биоты [1, 2]. Согласно международным нормам безопасности необходимо подтверждать, а не исходить из предположения о том, что окружающая среда защищена от действия ионизирующего излучения [3, 4]. Таким образом, при проведении обследований радиационно-опасных объектов, в том числе атомной электростанций (АЭС), оценка дозовых нагрузок на биоту является важной и неотъемлемой частью системы защиты окружающей среды от влияния радиационного фактора [5].

Сравнительный анализ доз на референтные виды пресноводной биоты, проведенный для водоема-охладителя Чернобыльской АЭС и озер Урускуль и Бердениш, расположенных на Восточно-Уральском радиоактивном следе (ВУРС), показал, что дозы на биоту существенно различаются в остром и хроническом периодах радиоактивного загрязнения. Уровни воздействия на водную биоту в ранний период радиационных аварий были достаточно высокими, чтобы вызвать радиобиологические эффекты на систему воспроизводства рыб (водоем-охладитель Чернобыльской АЭС) и сокращение жизни рыб (оз. Урускуль) [6]. Текущие мощности доз на биоту в данных рассматриваемых водоемах ниже уровня радиационной безопасности 1 мГр/сут [7]. Реконструкция дозовых нагрузок на высшие водные растения озер Далекое и Глубокое, расположенных в Чернобыльской зоне отчуждения, позволила оценить поглощенную дозу для растений в течение вегетационного сезона 1986 г., которая составила в оз. Глубокое для погруженных растений около 10 Гр, для воздушно-водных

и растений с плавающими листьями 70–85 Гр; в оз. Далекое эти величины составляли около 6 и 37–44 Гр, соответственно. В период 2016–2019 гг. в оз. Глубокое усредненная доза облучения воздушно-водных растений составила около 7,5 мГр/год, а в оз. Далекое – 5,6 мГр/год [8]. Для высших водных растений данных водоемов выявлено снижение устойчивости к поражению беспозвоночными (галлообразующими клещами и двукрылыми) и паразитическими грибами (*Clavicipitaceae*), следствием чего является существенное снижение темпов роста, семенной продуктивности и биомассы растений, а также снижение показателей всхожести семян в среднем на 30% [9]. Следует отметить, что по данным радиэкологических исследований не наблюдалось катастрофического радиационного воздействия на водные экосистемы в зонах отчуждения Чернобыльской АЭС и ВУРС на биоценологическом и популяционном уровнях, т.е. эти экосистемы сохранили свою жизнеспособность [10].

Согласно расчетным оценкам, выполненным на основании данных радиационного мониторинга морской воды в районе АЭС «Фукусима» в марте – мае 2011 г., для наиболее радиочувствительных морских организмов (рыбы и моллюсков) дозы облучения не превышали референтного уровня 10 мГр/сут. В открытом море на удалении в 30 км от АЭС дозы облучения морской биоты были существенно ниже по сравнению с прибрежной зоной вблизи сбросных каналов АЭС [11].

В ряду исследованных специальные промышленные водоемы ПО «Маяк» (В-11, В-10, В-4, В-3, В-17 и В-9), служащих для хранения радиоактивных отходов, в наименьшей степени подвержена радиацион-

ному воздействию биота водоема В-11, максимальное воздействие испытывали гидробионты водоема В-9. При этом радиационно-индуцированную гибель животных и растений, которую можно ожидать при дозах более 1 Гр/сут, наблюдается в водоемах В-9 (все гидробионты) и В-17 (бентос). Регистрация снижения продолжительности жизни животных от разных причин при дозах 0,01–1 Гр/сутки наблюдается для бентоса (моллюски) начиная с водоема В-10, для рыб (плотва) начиная с водоема В-3. Во всех исследованных водоемах мощность дозы облучения гидробионтов выше значений, при которых ожидается нарушение репродукции животных и растений (более 1–100 мГр/сутки) [12, 13].

При оценке деятельности предприятий ядерно-топливного цикла (ЯТЦ) получены дозы облучения для гидробионтов р. Енисей в период деятельности Красноярского горно-химического комбината и для гидробионтов р. Ромашка и протоки р. Томь, куда сбрасываются отходы Сибирского химического комбината. Полученные данные значительно ниже дозы радиационного облучения для водной биоты – 10 мГр/сут [14, 15].

При проектировании новых АЭС важно учитывать влияние штатных и аварийных (максимальные проектные аварии) выбросов и сбросов радионуклидов на окружающую среду, в том числе на биоту. Проведенные исследования позволяют констатировать, что радиационное воздействие на референтные виды биоты при штатных и аварийных выбросах АЭС будет значительно ниже рекомендованных пределов (1 Гр), а это позволяет сделать заключение об отсутствии вреда для биологических объектов. Поэтому не следует ожидать снижения репродуктивности, увеличения заболеваемости и смертности представителей природных экосистем [16–18].

В результате ядерных испытаний на Семипалатинском испытательном полигоне (СИП) поверхностные воды, также как и другие объекты окружающей среды, в той или иной степени подверглись радиоактивному загрязнению. Поверхностные водоемы территории СИП представленные 2 типами объектов – это водоемы техногенного и природного происхождения. Водоемы техногенного происхождения расположены на территории испытательных площадок «Опытное поле», «Балапан», «Телькем» и «Сары-Узень» и представлены воронками, образованными в результате проведения ядерных испытаний, заполненными водой. Водоемы природного происхождения – это различные по площади природные озера, расположенные по всей территории полигона [19]. Компоненты экосистемы водоемов имеют различные уровни радионуклидного загрязнения в зависимости от происхождения водоемов и места их расположения [20].

Ранее проводилась оценка дозовых нагрузок на луговые растения территории СИП [21]. А при исследовании «Атомного озера» оценивалась дозовая на-

грузка на человека при различных поведенческих сценариях [22].

Таким образом, оценка дозовых нагрузок на растения, произрастающие на водоемах СИП, ранее не проводилась, что и является целью работы, результаты которой представлены в данной статье.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### Объекты исследования

Исследования проводились на водоемах техногенного и природного происхождения территории СИП. Водоемы техногенного происхождения в зависимости от вида проводимых испытаний разделены на 3 типа:

– I тип – водоемы, образованные в результате проведения наземных ядерных и неядерных испытаний – воронки площадки «Опытное поле». Так как уровни радиоактивного загрязнения компонентов окружающей среды в местах проведения наземных испытаний существенно отличаются в зависимости от типа проводимых испытаний, водоемы техногенного происхождения типа I разделены на 2 подтипа: типа IA – водоемы, образованные в результате проведения ядерных испытаний; типа IB – водоемы, образованные в результате проведения гидроядерных испытаний;

– II тип – воронки, образованные в результате проведения экскавационных взрывов – «Атомное» озеро на площадке «Балапан», воронки «Телькем-1» и «Телькем-2» на площадке «Телькем» и скважина 1003 на площадке «Сары-Узень»;

– III тип – воронки, образованные в результате проседания грунта из-за нештатных ситуаций при проведении подземных испытаний – скважина «Глубокая» на площадке «Балапан» и скважины 101, 125 и 104 на площадке «Сары-Узень».

Весомую долю водоемов природного происхождения на территории СИП составляют природные озера. Озера расположены по всей территории полигона, и в зависимости от места их расположения (и, как следствие, от уровней радиоактивного загрязнения) разделены на 3 типа:

– I тип – озера, расположенные на территории испытательных площадок и в непосредственной близости к ним, т.е. в зоне их влияния;

– II тип – озера, расположенные на следах радиоактивных выпадений;

– III тип – озера, расположенные на условно «фоновых» территориях.

Объектами исследования являлись растения, произрастающие на водоемах СИП, и принадлежащие к 3 экологическим группам в зависимости от места их произрастания (согласно классификации Папченко-ва В.Г. [23]):

– водные растения – это укореняющиеся гидрофиты, погруженные в толщу воды – рдест пронзеннолистный (*Potamogeton perfoliatus*), рдест гребенчатый (*Potamogeton pectinatus*), валлиснерия обыкновенная

венная (*Vallisneria vulgaris*). Водные растения произрастают только в водоемах техногенного происхождения, в природных озерах не встречаются;

– воздушно-водные растения – это гелофиты, произрастающие в воде, преимущественно у берегов до глубины 1,0–1,2 метра, но значительная часть вегетативных органов которых выступает над ее поверхностью – тростник южный (*Phragmites australis*), рогоз узколистый (*Typha angustifolia*), камыш озерный (*Schoenoplectus lacustris*), клубнекамыш морской (*Bolboschoenus maritimus*). Прибрежно-водные растения произрастают как на водоемах техногенного, так и природного происхождения;

– прибрежные растения – это гигрофиты (околоводные растения), произрастающие обычно на средних уровнях береговой зоны затопления – гребенщик ветвистый (*Tamarix ramosissima*) и солерос европейский (*Salicornia europaea*). Гребенщик ветвистый произрастает как на водоемах техногенного, так и природного происхождения. Солерос европейский встречается преимущественно только на природных озерах с высоким уровнем минерализации воды.

**Методика оценки радиационного воздействия на растительность**

Оценка мощности дозы облучения растений водоемов СИП проводилась согласно методике [24] для групп растений *k* – водные, воздушно-водные и прибрежные, от рассматриваемых радионуклидов *i* – <sup>137</sup>Cs, <sup>90</sup>Sr и <sup>239+240</sup>Pu. Мощность дозы облучения *i*-м радионуклидом *k*-го объекта  $D_{i,k}$  складывается из мощности дозы внутреннего облучения от радионуклида, инкорпорированного в тканях растений ( $D_{i,k}^{внутр}$ ), и мощности дозы внешнего облучения, обусловленного содержанием радионуклида в абиотических компонентах водоемов ( $D_{i,k}^{внеш}$ ):

$$D_{i,k} = D_{i,k}^{внутр} + D_{i,k}^{внеш} \tag{1}$$

Мощность дозы внутреннего облучения ( $D_{i,k}^{внутр}$ , мкГр/сут) *k*-го объекта от инкорпорированного *i*-го радионуклида рассчитывалась по формуле:

$$D_{i,k}^{внутр} = DCF_{i,k}^{внутр} \cdot A_{i,k}^{раст} \cdot t, \tag{2}$$

где  $DCF_{i,k}^{внутр}$  – фактор дозовой конверсии для внутреннего облучения *k*-го объекта от *i*-го радионуклида, (мкГр/ч)/(Бк/кг);  $A_{i,k}^{раст}$  – удельная активность *i*-го радионуклида *k*-го объекта растений, Бк/кг; *t* – переводной коэффициент, равный 24 (в данном случае), (мкГр/сут)/(мкГр/ч).

Биологическая эффективность радионуклидов учитывалась с помощью взвешивающих коэффициентов, рекомендованных ERICA: 10 – для α-излучающего радионуклида (<sup>239+240</sup>Pu), 1 – для β, γ-излучения энергией ≥10 кэВ (<sup>137</sup>Cs, <sup>90</sup>Sr) [18, 25].

Мощность дозы внешнего облучения ( $D_{i,k}^{внеш}$ ) для водных и воздушно-водных растений формируется за счет радионуклидов, находящихся в донных отложениях, для прибрежных растений – в почве, на которой произрастает данная группа растений. Мощность дозы внешнего облучения *k*-го объекта от *i*-го радионуклида, содержащегося в донных отложениях, оценивалась при консервативном приближении полубесконечной геометрии источника по формуле:

$$D_{i,k}^{внеш,дон} = 0,5 \cdot DCF_{i,k}^{внеш} \cdot A_{i,k}^{дон} \cdot \acute{a}_{k,дон} \cdot t, \tag{3}$$

где  $DCF_{i,k}^{внеш}$  – фактор дозовой конверсии для внешнего облучения *k*-го объекта от *i*-го радионуклида, (мкГр/ч)/(Бк/кг);  $A_{i,k}^{дон}$  – удельная активность *i*-го радионуклида в донных отложениях, Бк/кг;  $\acute{a}_{k,дон}$  – доля времени, которую *k*-й объект проводит вблизи дна, безразмерный; *t* – переводной коэффициент, равный 24 (в данном случае), (мкГр/сут)/(мкГр/ч).

Мощность дозы внешнего облучения для водных растений от радионуклидов, содержащихся в воде, считалась равно 0, так как согласно [24] для водных растений  $\acute{a}_{k,вод} = 0$  (доля времени, которую *k*-й объект пребывает в толще воды).

Мощность дозы внешнего облучения для прибрежных растений от *i*-го радионуклида, содержащегося в почве, оценивалась по формуле:

$$D_{i,k}^{внеш,почв} = DCF_{i,k}^{внеш} \cdot A_{i,k}^{почв} \cdot t, \tag{4}$$

где  $DCF_{i,k}^{внеш}$  – фактор дозовой конверсии для внешнего облучения *k*-го объекта от *i*-го радионуклида, (мкГр/ч)/(Бк/кг);  $A_{i,k}^{почв}$  – удельная активность *i*-го радионуклида в почве, Бк/кг; *t* – переводной коэффициент, равный 24 (в данном случае), (мкГр/сут)/(мкГр/ч).

Значения факторов дозовой конверсии для внутреннего и внешнего облучения, установленные в [24], представлены в таблице 1. Для воздушно-водных и прибрежных растений факторы дозовой конверсии были выбраны для объекта «травянистые растения», для водных растений – для объекта «водные растения».

Таблица 1. Значения факторов дозовой конверсии внутреннего и внешнего облучения растений

Радионуклид	Фактор дозовой конверсии, (мкГр/ч)/(Бк/кг)			
	для воздушно-водных и прибрежных растений		для водных растений	
	внутреннего облучения	внешнего облучения	внутреннего облучения	внешнего облучения
<sup>137</sup> Cs	1,4·10 <sup>-4</sup>	1,1·10 <sup>-4</sup>	9,2·10 <sup>-5</sup>	3,7·10 <sup>-4</sup>
<sup>90</sup> Sr	5,1·10 <sup>-4</sup>	1,3·10 <sup>-10</sup>	2,8·10 <sup>-4</sup>	3,7·10 <sup>-4</sup>
<sup>239+240</sup> Pu	3·10 <sup>-3</sup>	1,3·10 <sup>-7</sup>	3·10 <sup>-3</sup>	9,2·10 <sup>-7</sup>

**РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ**

Для расчета мощности доз облучения использовались ранее полученные данные по содержанию техногенных радионуклидов <sup>137</sup>Cs, <sup>90</sup>Sr и <sup>239+240</sup>Pu в компонентах окружающей среды водоемов техногенного происхождения [26] и природных озер [27]. Мощность дозы облучения растений рассчитывались на основе результатов средних значений содержания ра-

дионуклидов (среднее геометрическое GM удельной активности для данной группы растений и типа водоема) в растениях, донных отложениях и почве, которые представлены в таблице 2.

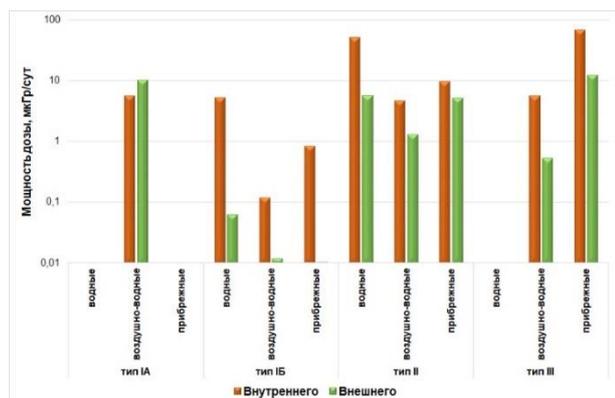
В таблице 3 представлены результаты расчета мощности дозы внутреннего и внешнего облучения от радионуклидов <sup>137</sup>Cs, <sup>90</sup>Sr и <sup>239+240</sup>Pu в растениях.

Таблица 2. Удельная активность (GM) радионуклидов в компонентах экосистемы водоемов

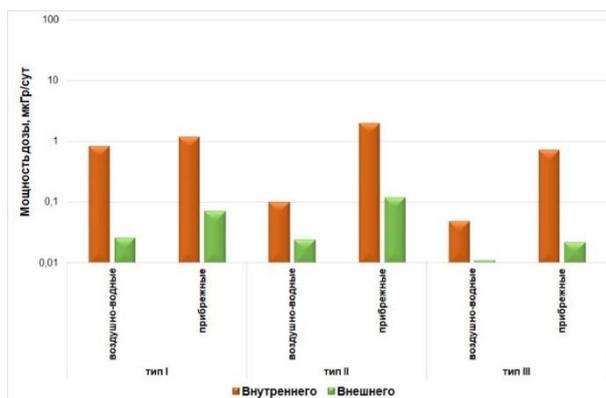
Вид	Тип водоема	Группа растений	Удельная активность (GM), Бк/кг					
			<sup>137</sup> Cs		<sup>90</sup> Sr		<sup>239+240</sup> Pu	
			растение	донные отложения / почва	растение	донные отложения / почва	растение	донные отложения / почва
техногенные	IA	воздушно-водные	19	7800	410	660	0,64	22600
		водные	<по	9	60	5,1	6,6	75
	IB	воздушно-водные	<по	9	2,9	5,1	0,12	75
		прибрежные	<по	3,8	2,8	1,5	1,1	39
	II	водные	52	970	130	310	69	4390
		воздушно-водные	2,2	970	130	310	4,2	4390
		прибрежные	11	1980	700	440	1,4	6400
	III	воздушно-водные	3,1	410	430	220	0,37	560
прибрежные		50	4700	5400	1800	2,2	3200	
природные	I	воздушно-водные	1	20	25	17	0,74	17
		прибрежные	6,2	27	41	15	0,94	53
	II	воздушно-водные	<по	18	8,3	5,7	<по	14
		прибрежные	45	45	38	48	1,9	295
	III	воздушно-водные	<по	8,3	4	3,6	<по	8,4
		прибрежные	<по	8,3	6,7	3,6	0,9	8,4

Таблица 3. Мощности дозы внутреннего и внешнего облучения растений

Вид	Тип водоема	Группа растений	Мощность дозы мкГр/сут								
			от <sup>137</sup> Cs			от <sup>90</sup> Sr			от <sup>239+240</sup> Pu		
			внутреннего	внешнего	суммарная	внутреннего	внешнего	суммарная	внутреннего	внешнего	суммарная
техногенные	IA	воздушно-водные	0,064	10,3	10,4	5,02	1,03·10 <sup>-6</sup>	5,02	0,46	0,035	0,50
		водные	0	0,04	0,04	0,4	0,023	0,42	4,8	8,3·10 <sup>-4</sup>	4,8
	IB	воздушно-водные	0	0,012	0,012	0,035	8,0·10 <sup>-9</sup>	0,035	0,086	1,2·10 <sup>-4</sup>	0,086
		прибрежные	0	0,01	0,01	0,034	4,7·10 <sup>-9</sup>	0,034	0,79	1,2·10 <sup>-4</sup>	0,79
	II	водные	0,11	4,3	4,4	0,87	1,4	2,3	49,7	0,048	49,7
		воздушно-водные	0,0074	1,3	1,3	1,6	4,8·10 <sup>-7</sup>	1,6	3,0	6,8·10 <sup>-3</sup>	3,0
		прибрежные	0,037	5,2	5,3	8,6	1,4·10 <sup>-6</sup>	8,6	1,0	2,0·10 <sup>-2</sup>	1,0
	III	воздушно-водные	0,01	0,54	0,55	5,3	3,4·10 <sup>-7</sup>	5,3	0,27	8,7·10 <sup>-4</sup>	0,27
прибрежные		0,17	12,4	12,6	66	5,6·10 <sup>-6</sup>	66	1,6	1,0·10 <sup>-2</sup>	1,6	
природные	I	воздушно-водные	0,0034	0,026	0,03	0,31	2,7·10 <sup>-8</sup>	0,31	0,53	2,7·10 <sup>-5</sup>	0,53
		прибрежные	0,021	0,071	0,092	0,5	4,7·10 <sup>-8</sup>	0,5	0,68	1,7·10 <sup>-4</sup>	0,68
	II	воздушно-водные	0	0,024	0,024	0,10	8,9·10 <sup>-9</sup>	0,10	0	2,2·10 <sup>-5</sup>	2,2·10 <sup>-5</sup>
		прибрежные	0,15	0,12	0,27	0,47	1,5·10 <sup>-7</sup>	0,47	1,4	9,2·10 <sup>-4</sup>	1,4
	III	воздушно-водные	0	0,011	0,011	0,049	5,6·10 <sup>-9</sup>	0,049	0	1,3·10 <sup>-5</sup>	1,3·10 <sup>-5</sup>
		прибрежные	0	0,022	0,022	0,082	1,1·10 <sup>-8</sup>	0,082	0,65	2,6·10 <sup>-5</sup>	0,65



а)



б)

Рисунок 1. Сравнительный анализ мощности доз внутреннего и внешнего облучения разных видов растений: а) для водоемов техногенного происхождения; б) для природных озер

При формировании мощности дозы внешнего облучения растений доминирует радионуклид  $^{137}\text{Cs}$ , внутреннего облучения – преимущественно радионуклид  $^{239+240}\text{Pu}$ .

Сравнительный анализ мощности доз внутреннего и внешнего облучения для разных видов растений водоемов СИП представлен на рисунке 1.

Закономерным является результат, что полученная мощность дозы для растений, произрастающих на природных озерах и водоемах техногенного происхождения типа IB (образованные в результате гидроядерных испытаний), на 1–2 порядка ниже, чем для растений, произрастающих на водоемах техногенного происхождения с высокими уровнями радиоактивного загрязнения. Максимальные значения мощности дозы как внутреннего, так и внешнего облучения получены для прибрежных растений, произрастающих на водоемах техногенного происхождения, образованных в результате нештатных ситуаций при проведении подземных ядерных испытаний (тип III). В целом, мощность дозы внутреннего облучения выше, чем внешнего, для всех растений, произрастающих на водоемах всех типов, за исключением водоемов, образованных в результате проведения наземных ядерных испытаний (тип IA). Возможно, это связано с максимально высокими значениями радионуклидов ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$ ) в донных отложениях.

В таблице 4 представлены суммарные мощности дозы на рассматриваемые виды растений водоемов СИП.

Максимальная суммарная мощность дозы облучения составила  $80,3 \text{ мкГр/сут} = 0,0803 \text{ мГр/сут}$  для прибрежных растений, произрастающих на водоемах техногенного происхождения, образованных в результате нештатных ситуаций при проведении подземных ядерных испытаний (тип III). Для диапазона мощностей дозы  $0,01\text{--}10 \text{ мГр/сут}$  для референтного вида «дикая трава», публикация Международной комиссии по радиологической защите (МКРЗ) [28] говорит об отсутствии информации по проявлению каких-либо эффектов.

Таблица 4. Суммарная мощность дозы облучения растений

Вид	Тип водоема	Группа растений	Суммарная мощность дозы внутреннего и внешнего облучения, мкГр/сут
техногенные	IA	воздушно-водные	15,9
		водные	5,2
	IB	воздушно-водные	0,13
		прибрежные	0,84
	II	водные	56,4
		воздушно-водные	5,9
III	воздушно-водные	6,1	
	прибрежные	80,3	
природные	I	воздушно-водные	0,87
		прибрежные	1,3
	II	воздушно-водные	0,13
		прибрежные	2,1
	III	воздушно-водные	0,059
		прибрежные	0,75

Один из первых критериев в регламентации радиационного воздействия на биоту был предложен в работе Крышева И.И. [29], где в качестве безопасного (порогового) уровня радиационного воздействия на биоту предлагалось использовать значения мощности дозы в диапазоне  $1\text{--}10 \text{ мГр/сут}$ .

В рамках европейского проекта PROTECT нижняя граница облучения биоты (животные, растения, беспозвоночные) была определена на уровне  $10 \text{ мкГр/ч}$  или  $0,24 \text{ мГр/сут}$  [30]. Эта скрининговая величина предназначена для первичной оценки безопасности биоты: ситуации, когда мощности дозы на референтных представителях биоты не превышают скринингового уровня, являются заведомо безопасными и не требуют дальнейшего рассмотрения.

Исходя из полученных результатов и вышеизложенного можно сказать, что при максимальных значениях мощности дозы на исследуемых участках,

значения находятся в пределах нижнего порогового уровня «предельной дозы» по разным литературным данным. Так как вычисленные мощности доз для референтных видов ниже принятых международных критериев, то полученный результат свидетельствует об отсутствии угроз (опасности) для состояния экосистемы.

В рамках консервативного подхода оценка радиационного воздействия проводилась с использованием максимальных величин содержания радионуклидов в компонентах экосистемы водоемов СИП. В таблице 5 представлены результаты расчета мощности дозы внутреннего и внешнего облучения, а также суммарные мощности дозы на рассматриваемые виды растений водоемов СИП при консервативном подходе.

При консервативном подходе максимальная суммарная мощность дозы облучения составила 11640 мкГр/сут  $\approx$  12 мГр/сут для водных растений водоемов, образованных в результате экскавационных взрывов (тип II). Для диапазона мощностей дозы 10–100 мГр/сут для референтного вида «бурые водоросли», публикация МКРЗ [28] говорит о потенциальном влиянии на скорость роста и репродукцию.

В работе [29] в качестве порогового значения хронического облучения, ниже которого отсутствуют значимые детерминированные эффекты на биоту, принимается значение мощности дозы  $D_0 = 1$  мГр/сут для всех организмов биоты. С учетом возможной неопределенности в оценках дозы рекомендуется использовать коэффициент запаса 10 при предварительной (скрининговой) оценке радиационно-экологического воздействия, т.е. значение  $D_{мин} = 0,1$  мГр/сут для минимального порогового

уровня облучения референтных объектов природной среды. При значениях мощности дозы облучения референтных организмов меньших  $D_{мин}$  не требуется проведение каких-либо природоохранных мероприятий для обеспечения радиационной безопасности объектов биоты. При превышении порогового уровня облучения организмов биоты рекомендуется проведение природоохранных мероприятий, направленных на сохранение благоприятной окружающей среды. Тем не менее, мощности дозы, превышающие пороговые уровни ( $>0,1$  мГр/сут), получены только для растений, произрастающих на водоемах техногенного происхождения, которые расположены на испытательных площадках, и на которые ограничен доступ для людей.

Для оценки радиационной безопасности представителей наземных и водных экосистем необходимо сравнить рассчитанную мощность дозы облучения с пороговыми уровнями облучения биоты. МКРЗ [28] предлагает следующий диапазон мощностей дозы постоянного облучения, в пределах которого начинает проявляться вредное воздействие ионизирующего излучения на биоту, мГр/сут: 0,1–1 млекопитающие, наземные позвоночные животные и сосна обыкновенная, 1–10 наземные растения (кроме сосны обыкновенной), рыбы и амфибии, 10–100 беспозвоночные животные и водоросли. Из приведенных данных следует, что мощность дозы облучения растений, рассчитанная на основе радиоэкологического обследования водоемов СИП ниже пороговых уровней (а при консервативном подходе – не превышает пороговые уровни). Поэтому не следует ожидать снижения репродуктивности, увеличения заболеваемости и смертности растений водных экосистем.

Таблица 5. Мощность дозы внутреннего и внешнего облучения и суммарная мощность дозы растений при консервативном подходе

Вид	Тип водоема	Группа растений	Мощность дозы внутреннего облучения, мкГр/сут	Мощность дозы внешнего облучения, мкГр/сут	Суммарная мощность дозы, мкГр/сут
техногенные	IA	воздушно-водные	63,8	202,7	266,4
		водные	22,5	0,7	23,2
	IB	воздушно-водные	0,93	0,11	1,04
		прибрежные	0,83	0,015	0,84
	II	водные	11560	80	11640
		воздушно-водные	113	7,2	120
		прибрежные	106	18,5	124,5
	III	воздушно-водные	50	11,1	61,1
прибрежные		91,3	31,7	123	
природные	I	воздушно-водные	6,5	6,6	13,1
		прибрежные	37,5	7,4	44,9
	II	воздушно-водные	0,1	0,12	0,22
		прибрежные	4,0	0,37	4,4
	III	воздушно-водные	0,049	0,046	0,095
		прибрежные	0,73	0,093	0,82

**Выводы**

В работе представлены результаты расчетов мощности доз облучения растений (водных, воздушно-водных и прибрежных), произрастающих на водоемах техногенного и природного происхождения территории СИП.

Максимальная суммарная мощность дозы облучения составила 0,0803 мГр/сут для прибрежных растений водоемов техногенного происхождения, образованных в результате нештатных ситуаций при проведении подземных ядерных испытаний. Для диапазона мощностей дозы 0,01–0,1 мГр/сут для референтных видов публикация МКРЗ [28] говорит об отсутствии информации по проявлению каких-либо эффектов.

На основе полученных данных установлено, что мощности доз облучения растений, рассчитанные на основе радиоэкологического обследования водоемов СИП, значительно ниже порогового уровня «предельной дозы» по разным литературным данным. Полученный результат свидетельствует об отсутствии угроз (опасности) для состояния экосистемы водоемов территории СИП.

*Данная работа выполнена в рамках программно-целевого финансирования Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан BR21882086 «Разработка устойчивого управления земельными ресурсами и водными объектами на территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона».*

**ЛИТЕРАТУРА**

- Алексахин Р.М., Фесенко С.В. Радиационная защита окружающей среды: антропоцентрический и экоцентрический принципы // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2004. – Т. 44, – № 1. – С. 93–103.
- Спиридонов С.И., Нуштаева В.Э. Неопределённости в оценке радиационного воздействия на биоту в районах расположения объектов использования атомной энергии // Радиация и риск. – 2021. – Т. 30. – № 3. – С. 112–123. <https://doi.org/10.21870/0131-3878-2021-30-3-112-123>
- Radiation protection and safety of radiation sources: International Basic Safety Standards. IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 3. Vienna, IAEA, 2014. – 436 p.
- ICRP, 2014. Protection of the environment under different exposure situation. ICRP Publication 124. Ann. ICRP. – 2014. – Vol. 43. – No. 1. – P. 1–58.
- Карпенко Е.И., Спиридонов С.И. Расчет дозовых нагрузок на биоту в районе расположения уранодобывающего предприятия на основе комплекса дозиметрических моделей // Вестник Российской Академии естественных наук. Экология. – 2012. – № 4. – С. 52–59.
- Kryshch A.I., Sazykina T.G. Comparative analysis of doses to aquatic biota in water bodies impacted by radioactive contamination // Journal of Environmental Radioactivity. – 2012. – Vol. 108. – P. 9–14. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2011.07.013>
- Kryshch I.I., Sazykina T.G., Beresford N.A. Effects on wildlife // Chernobyl – Catastrophe and Consequences / Eds. J.T. Smith and N.A. Beresford. Chichester: Springer Praxis Publishing Ltd. – 2005. – P. 267–287.
- Гудков Д.И. Формирование дозовых нагрузок и эффекты хронического радиационного воздействия у водной биоты в Чернобыльской зоне отчуждения / Д.И. Гудков, А.Е. Каглян, Н.Л. Шевцова, Н.А. Поморцева, С.И. Киреев, К.Д. Ганжа, А.А. Явнюк, В.В. Беляев, Е.В. Дзюбенко, В.В. Павловский // Сахаровские чтения 2020 года: экологические проблемы XXI века: материалы 20-й международной научной конференции, 21–22 мая 2020 г., г. Минск, Республика Беларусь; под ред. д-ра ф.-м. н., проф. С. А. Маскевича, к. т. н., доцента М. Г. Герменчук. – Минск: ИВЦ Минфина. – 2020. – Ч. 1. – С. 338–341.
- Шевцова Н.Л., Гудков Д.И. Цитогенетические нарушения у тростника обыкновенного *Phragmites australis* в водоемах Чернобыльской зоны отчуждения // Гидробиологический журнал. – 2012. – Т. 48. – № 6. – С. 99–113.
- Сазыкина Т.Г., Крышев А.И., Крышев И.И. Моделирование радиоэкологических процессов в окружающей среде. – М.: ООО «Маска». – 2022. – С. 199–229.
- Крышев И.И., Крышев А.И. Сравнительная оценка дозы облучения гидробионтов от радиационных аварий на АЭС «Фукусима» и Чернобыльской АЭС // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2011. – № 3. – С. 84–91.
- Тряпицына Г.А., Андреев С.С., Осипов Д.И., Иванов И.А., Александрова О.Н., Костюченко А.В., Пряхин Е.А., Аклеев А.В. Оценка радиационного воздействия на гидробионтов некоторых специальных промышленных водоемов ПО «Маяк» // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2012. – Т. 52. – № 2. – С. 207–214
- Пряхин Е.А. Применение пакета ERICA Assessment Tool для расчета мощности дозы для биоты специальных промышленных водоемов ПО «Маяк» / Пряхин Е.А., Атаманюк Н.И., Осипов Д.И., Тряпицына Г.А., Андреев С.С., Шапошникова И.А., Стяжкина Е.В., Обвинцева Н.А., Алдибекова А.Е., Могильникова Н.И., Тюхай М.В., Перетыкин А.А., Гераськин С.А., Аклеев А.В. // Радиоэкологические последствия радиационных аварий: к 35-ой годовщине аварии на ЧАЭС: Материалы Междунар. науч.-практ. конф. ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии», 22-23 апреля 2021 г., Обнинск, Россия, 2021. – С. 303–305.
- Ракитский В.Н., Бондарева Л.Г., Федорова Н.Е. Расчет дозы облучения для некоторых компонентов пищевой цепочки пресноводной экосистемы реки Енисей в период деятельности предприятия ядерно-топливного цикла – Горно-химического комбината, г. Красноярск // Радиационная гигиена. – 2018. – Т. 11. – № 3. – С. 22–29. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2018-11-3-22-29>
- Лунёва К.В. Современные дозовые нагрузки на население и речную биоту в районе расположения Сибирского химического комбината (2000–2010 гг.) / К.В. Лунёва, А.И. Крышев, А.Ю. Пахомов, И.А. Пахомова // Радиация и риск. – 2012. – Т. 21. – № 4. – С. 24–30.
- Нилова Е.К. Оценка радиационного воздействия на биоту при эксплуатации Белорусской атомной электростанции: автореф. дис. ... канд. биол. наук / Нилова Екатерина Константиновна; Международный государ-

- ственный экологический университет имени А.Д. Сахарова. – Минск, 2012. – 25 с.
17. Переволоцкая Т.В., Переволоцкий А.Н., Спиридонов С.И. Кластерный анализ для оценки радиационного воздействия штатных выбросов АЭС на биоту // *Радиация и риск.* – 2018. – Т. 27. – № 1. – С. 43–52. <https://doi.org/10.21870/0131-3878-2018-27-1-43-52>
  18. Нуштаева В.Э. Оценка дозы облучения представительных организмов биоты в районе размещения АЭС с ВВЭР-1200 / В.Э. Нуштаева, С.И. Спиридонов, Р.А. Микаилова, Е.И. Карпенко, С.Н. Нуштаев // *Атомная энергия.* – 2020. – Т. 128. – Вып. 4. – С. 232–238.
  19. Aidarkhanova A.K. Radionuclide transport in the “sediments – water – plants” system of the water bodies at the Semipalatinsk test site / A.K. Aidarkhanova, S.N. Lukashenko, N.V. Larionova, V.V. Polevik // *Journal of Environmental Radioactivity.* – 2018. – Vol. 184–185. – P. 122–126. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2018.01.014>
  20. Айдарханова А.К. Современные уровни загрязнения и характер распределения радионуклидов в системе “вода-донные отложения” водных объектов территории Семипалатинского испытательного полигона и прилегающих территорий / А.К. Айдарханова, С.Н. Лукашенко // *Радиационная биология. Радиоэкология.* – Москва, 2017. – Том 57. – № 3. – С. 286–296. <https://doi.org/10.7868/S0869803117030067>
  21. Spiridonov S.I. Regulatory radiation risks for the population and natural objects within the Semipalatinsk test site / S.I. Spiridonov, V.L. Tetenkin, M.K. Mukusheva, I.E. Epifanova // *Radioprotection.* – 2009. – Vol. 44. – No. 5. – P. 251–257. <https://doi.org/10.1051/radiopro/20095049>
  22. Субботин С.Б. Оценка дозовых нагрузок для различных поведенческих сценариев на территории «Атомного озера» / С.Б. Субботин, А.О. Айдарханов, Е.В. Романенко, А.В. Топорова, В.И. Супрунов, М.П. Актаяев // *Вестник НЯЦ РК.* – 2023. – No. 1. – С. 55–60. <https://doi.org/10.52676/1729-7885-2023-1-55-60>
  23. Папченков В.Г. О классификации макрофитов водоемов и водной растительности // *Экология.* – 1985. – № 6. – С. 8–13.
  24. Методические рекомендации Р52.18.820-2015. Оценка радиационно-экологического воздействия на объекты природной среды по данным мониторинга радиационной обстановки. – Обнинск, 2015. – 60 с.
  25. ICRP. Dose Coefficients for Non-human Biota Environmentally Exposed to Radiation. ICRP Publication 136. *Annals of the ICRP.* – 2017. – Vol. 46. – P. 51–126.
  26. Айдарханова А.К. Перераспределение радионуклидов в водных объектах техногенного происхождения Семипалатинского испытательного полигона / Айдарханова А.К., Ларионова Н.В., Дашук А.Л. // *Вестник НЯЦ РК.* – 2019. – № 3 (79). – С. 147–155.
  27. Aidarkhanova A. The character of radionuclide contamination of natural lakes at the territory of the Semipalatinsk test site / A. Aidarkhanova, N. Larionova, Zh. Tleukanova, A. Mamyrbayeva, R. Ermakova, Yu. Svetacheva, M. Aktayev, A. Panitskiy // *Journal of Environmental Radioactivity.* – 2022. – Vol. 255. – P. 107041. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2022.107041>
  28. ICRP. Environmental Protection: the Concept and Use of Reference Animals and Plants. ICRP Publication 108. *Annals of the ICRP.* – 2008. – Vol. 38. – 242 p.
  29. 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. – Том 22. – № 1. – С. 47–61
  30. Andersson P., Beaugelin-Seiller K., Beresford N.A. et al. Numerical benchmarks for protecting biota from radiation in the environment: proposed levels, underlying reasoning and recommendations. PROTECT Deliverable 5. EC contract number: 036425 (F16R). – 2008. – 112 p.

## REFERENCES

1. Aleksakhin R.M., Fesenko S.V. Radiatsionnaya zashchita okruzhayushchey sredy: antropotsentricheskii i ekotsentricheskii printsipy // *Radiats. biologiya. Radioekologiya.* – 2004. – Vol. 44, –No. 1. – P. 93–103.
2. Spiridonov S.I., Nushtaeva V.E. Neopredelennosti v otsenke radiatsionnogo vozdeystviya na biotu v rayonakh raspolozheniya ob'ektov ispol'zovaniya atomnoy energii // *Radiatsiya i risk.* – 2021. – Tom 30. – No. 3. – P. 112–123. <https://doi.org/10.21870/0131-3878-2021-30-3-112-123>
3. Radiation protection and safety of radiation sources: International Basic Safety Standards. IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 3. Vienna, IAEA, 2014. – 436 p.
4. ICRP, 2014. Protection of the environment under different exposure situation. ICRP Publication 124. *Ann. ICRP.* – 2014. – Vol. 43. – No. 1. – P. 1–58.
5. Karpenko E.I., Spiridonov S.I. Raschet dozovykh nagruzok na biotu v rayone raspolozheniya uranodobyvayushchego predpriyatiya na osnove kompleksa dozimetricheskikh modeley // *Vestnik Rossiyskoy Akademii estestvennykh nauk. Ekologiya.* – 2012. – No. 4. – P. 52–59.
6. Kryshev A.I., Sazykina T.G. Comparative analysis of doses to aquatic biota in water bodies impacted by radioactive contamination // *Journal of Environmental Radioactivity.* – 2012. – Vol. 108. – P. 9–14. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2011.07.013>
7. Kryshev I.I., Sazykina T.G., Beresford N.A. Effects on wildlife // *Chernobyl – Catastrophe and Consequences* / Eds. J.T. Smith and N.A. Beresford. Chichester: Springer Praxis Publishing Ltd. – 2005. – P. 267–287.
8. Gudkov D.I. Formirovanie dozovykh nagruzok i efekty khronicheskogo radiatsionnogo vozdeystviya u vodnoy bioty v Chernobyl'skoy zone otchuzhdeniya / D.I. Gudkov, A.E. Kaglyan, N.L. Shevtsova, N.A. Pomortseva, S.I. Kireev, K.D. Ganzha, A.A. Yavnyuk, V.V. Belyaev, E.V. Dzyubenko, V.V. Pavlovskiy // *Sakharovskie chteniya 2020 goda: ekologicheskie problemy XXI veka: materialy 20-y mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii, 21–22 maya 2020 g., g. Minsk, Respublika Belarus*; pod red. d-ra f.-m. n., prof. S. A. Maskevicha, k. t. n., dotsenta M. G. Geremenchuk. – Minsk: IVTs Minfina. – 2020. – Part 1. – P. 338–341.
9. Shevtsova N.L., Gudkov D.I. Tsitogeneticheskie narusheniya u trostnika obyknovennogo Phragmites australis v vo-dnemakh Chernobyl'skoy zony otchuzhdeniya // *Gidrobiologicheskii zhurnal.* – 2012. – Vol. 48. – No. 6. – P. 99–113.
10. Sazykina T.G., Kryshev A.I., Kryshev I.I. Modelirovanie radioekologicheskikh protsessov v okruzhayushchey srede. – Moscow: OOO “Maska”. – 2022. – P. 199–229.
11. Kryshev I.I., Kryshev A.I. Sravnitel'naya otsenka dozy obluheniya gidrobiontov ot radiatsionnykh avariy na AES

- “Fukusima” i Chernobyl'skoy AES // *Izvestiya vuzov. Yadernaya energetika*. – 2011. – No. 3. – P. 84–91.
12. Tryapitsyna G.A., Andreev S.S., Osipov D.I., Ivanov I.A., Aleksandrova O.N., Kostyuchenko A.V., Pryakhin E.A., Akleev A.V. Otsenka radiatsionnogo vozdeystviya na gidrobiontov nekotorykh spetsial'nykh promyshlennykh vodoemov PO “Mayak” // *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya*. – 2012. – Vol. 52. – No. 2. – P. 207–214
  13. Pryakhin E.A. Primenenie paketa ERICA Assessment Tool dlya rascheta moshchnosti dozy dlya bioty spetsial'nykh promyshlennykh vodoemov PO “Mayak” / Pryakhin E.A., Atamanyuk N.I., Osipov D.I., Tryapitsyna G.A., Andreev S.S., Shaposhnikova I.A., Styazhkina E.V., Obvintseva N.A., Aldibekova A.E., Mogil'nikova N.I., Tyukhay M.V., Peretykin A.A., Geras'kin S.A., Akleev A.V. // *Radioekologicheskie posledstviya radiatsionnykh avari: k 35-oy godovshchine avarii na ChAES: Materialy Mezhdunar. nauch.-praktich. konf. FGBNU “Vserossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut radiologii i agroekologii”*, 22-23 aprelya 2021 g., Obninsk, Rossiya, 2021. – P. 303–305.
  14. Rakitskiy V.N., Bondareva L.G., Fedorova N.E. Raschet dozy oblucheniya dlya nekotorykh komponentov pishchevoy tsepechki presnovodnoy ekosistemy reki Enisey v period deyatelnosti predpriyatiya yaderno-toplivnogo tsikla – Gorno-khimicheskogo kombinata, g. Krasnoyarsk // *Radiatsionnaya gigiena*. – 2018. – Vol. 11. – No. 3. – P. 22–29. <https://doi.org/10.21514/1998-426Kh-2018-11-3-22-29>
  15. Luneva K.V. Sovremennye dozovye nagruzki na naselenie i rechnuyu biotu v rayone raspolozheniya Sibirskogo khimicheskogo kombinata (2000–2010 gg.) / K.V. Luneva, A.I. Kryshev, A.Yu. Pakhomov, I.A. Pakhomova // *Radiatsiya i risk*. – 2012. – Vol. 21. – No. 4. – P. 24–30.
  16. Nilova E.K. Otsenka radiatsionnogo vozdeystviya na biotu pri ekspluatatsii Belorusskoy atomnoy elektrostantsii: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk / Nilova Ekaterina Konstantinovna; Mezhdunarodnyy gosudarstvennyy ekologicheskiy universitet imeni A.D. Sakharova. – Minsk, 2012. – 25 p.
  17. Perevolotskaya T.V., Perevolotskiy A.N., Spiridonov S.I. Klasternyy analiz dlya otsenki radiatsionnogo vozdeystviya shtatnykh vybrosov AES na biotu / *Radiatsiya i risk*. – 2018. – Tom 27. – No. 1. – P. 43–52. <https://doi.org/10.21870/0131-3878-2018-27-1-43-52>
  18. Nushtaeva V.E. Otsenka dozy oblucheniya predstavitel'nykh organizmov bioty v rayone razmeshcheniya AES s VVER-1200 / V.E. Nushtaeva, S.I. Spiridonov, R.A. Mikailova, E.I. Karpenko, S.N. Nushtaev // *Atomnaya energiya*. – 2020. – T. 128. – Issue 4. – P. 232–238.
  19. Aidarkhanova A.K. Radionuclide transport in the “sediments – water – plants” system of the water bodies at the Semipalatinsk test site / A.K. Aidarkhanova, S.N. Lukashenko, N.V. Larionova, V.V. Polevik // *Journal of Environmental Radioactivity*. – 2018. – Vol. 184–185. – P. 122–126. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2018.01.014>
  20. Aidarkhanova A.K. Sovremennye urovni zagryazneniya i kharakter raspredeleniya radionuklidov v sisteme “vodadonnnye otlozheniya” vodnykh ob'ektov territorii Semipalatinskogo ispytatel'nogo poligona i privileyushchikh territoriy / A.K. Aidarkhanova, S.N. Lukashenko // *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya*. – Moscow, 2017. – Vol. 57. – No. 3. – P. 286–296. <https://doi.org/10.7868/S0869803117030067>
  21. Spiridonov S.I. Regulatory radiation risks for the population and natural objects within the Semipalatinsk test site / S.I. Spiridonov, V.L. Tetenkin, M.K. Mukusheva, I.E. Epifanova // *Radioprotection*. – 2009. – Vol. 44. – No. 5. – P. 251–257. <https://doi.org/10.1051/radiopro/20095049>
  22. Subbotin S.B. Otsenka dozovykh nagruzok dlya razlichnykh povedencheskikh stsensariy na territorii «Atomnogo ozera» / S.B. Subbotin, A.O. Aidarkhanov, E.V. Romanenko, A.V. Toporova, V.I. Suprunov, M.R. Aktaev // *Vestnik NYaTs RK*. – 2023. – No. 1. – P. 55–60. <https://doi.org/10.52676/1729-7885-2023-1-55-60>
  23. Papchenkov V.G. O klassifikatsii makrofitov vodoemov I vodnoy rastitel'nosti // *Ekologiya*. – 1985. – No. 6. – P. 8–13.
  24. Metodicheskie rekomendatsii R52.18.820-2015. Otsenka radiatsionno-ekologicheskogo vozdeystviya na ob'ekty prirodnoy sredy po dannym monitoringa radiatsionnoy obstanovki. – Obninsk, 2015. – 60 p.
  25. ICRP. Dose Coefficients for Non-human Biota Environmentally Exposed to Radiation. ICRP Publication 136. *Annals of the ICRP*. – 2017. – Vol. 46. – P. 51–126.
  26. Aidarkhanova A.K. Pereraspredelenie radionuklidov v vodnykh ob'ektakh tekhnogennogo proiskhozhdeniya Semipalatinskogo ispytatel'nogo poligona / Aidarkhanova A.K., Larionova N.V., Dashuk A.L. // *Vestnik NYaTs RK*. – 2019. – No. 3 (79). – P. 147–155.
  27. Aidarkhanova A. The character of radionuclide contamination of natural lakes at the territory of the Semipalatinsk test site / A. Aidarkhanova, N. Larionova, Zh. Tleukanova, A. Mamyrbayeva, R. Ermakova, Yu. Svetacheva, M. Aktaev, A. Panitskiy // *Journal of Environmental Radioactivity*. – 2022. – Vol. 255. – P. 107041. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2022.107041>
  28. ICRP. Environmental Protection: the Concept and Use of Reference Animals and Plants. ICRP Publication 108. *Annals of the ICRP*. – 2008. – Vol. 38. – 242 p.
  29. Kryshev I.I., Sazykina T.G. Radiatsionnaya bezopasnost' okruzhayushchey sredy: neobkhodimost' garmonizatsii rossiyskikh i mezhdunarodnykh normativno-metodicheskikh dokumentov s uchetoм trebovaniy federal'nogo zakonodatel'stva i novykh mezhdunarodnykh osnovnykh norm bezopasnosti ONB-2011. *Radiatsiya i risk*. – 2013. – Vol. 22. – No. 1. – P. 47–61
  30. Andersson P., Beaugelin-Seiller K., Beresford N.A. et al. Numerical benchmarks for protecting biota from radiation in the environment: proposed levels, underlying reasoning and recommendations. PROTECT Deliverable 5. EC contract number: 036425 (FI6R). – 2008. – 112 p.

## СЕМЕЙ СЫНАҚ ПОЛИГОНЫ АУМАҒЫНДАҒЫ СУ АЙДЫНДАРЫНДАҒЫ ӨСІМДІКТЕРДІҢ ДОЗАЛЫҚ ЖҮКТЕМЕЛЕРІН БАҒАЛАУ

**А. К. Айдарханова\*, А. В. Топорова, А. С. Мамырбаева, Н. В. Ларионова**

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

*\*Байланыс үшін E-mail: almira@nnc.kz*

Жұмыста Семей сынақ полигоны (ССП) аумағының техногендік және табиғи шығу тегі су айдындарында өсетін өсімдіктердің (су, ауа-су және жағалау) сәулелену дозаларын есептеу нәтижелері келтірілген. Сәулелену дозасының максималды жиынтық қуаты жерасты ядролық сынақтарын жүргізу кезінде штаттан тыс жағдайлардың нәтижесінде пайда болған техногендік су айдындарының жағалаудағы өсімдіктері үшін тәулігіне 0,08 мГр құрады. Осы өсімдік түрлері үшін тәулігіне 0,01–10 мГр доза қуаттылығының диапазоны үшін радиологиялық қорғау жөніндегі халықаралық комиссияның басылымында қандай да бір әсердің көрінісі бойынша ақпараттың жоқтығы туралы айтылады. Алынған мәліметтер негізінде ССП су айдындарын радиоэкологиялық зерттеу негізінде есептелген өсімдіктердің сәулелену дозалары әртүрлі әдеби деректер бойынша «шекті дозаның» шекті деңгейінен едәуір төмен екендігі анықталды. Алынған нәтиже ССП аумағындағы су айдындарының экожүйесінің жай-күйіне қауіптің (қатердің) жоқтығын көрсетеді.

***Түйінді сөздер:*** Семей сынақ полигоны, дозасы, өсімдіктері, техногендік шыққан су айдындары, табиғи көлдер.

## ASSESSMENT OF DOSE LOADS OF WATER BODIES PLANTS AT THE SEMIPALATINSK TEST SITE TERRITORY

**A. K. Aidarkhanova\*, A. V. Toporova, A. S. Mamyrbayeva, N. V. Larionova**

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

*\*E-mail for contacts: almira@nnc.kz*

The paper presents results calculated for radiation exposure of plants (aquatic, aero-aquatic and coastal) growing at man-made and naturally occurring water bodies at the Semipalatinsk Test Site (STS). The peak overall exposure dose rate was 0.08 mGy/day for coastal plants of man-made water bodies that resulted from off-normal situations during underground nuclear tests. A publication by the International Commission on Radiological Protection says that there is no information on the manifestation of any effects for the dose rate range of 0.01 to 10 mGy/day for these plant species. Based upon findings, exposure doses to plants calculated from the radioecological survey of STS water bodies were found to be well below the threshold level of the ‘dose limit’ from different reported data. The output indicates that nothing threatens (endangers) the ecosystem health of STS water bodies.

***Keywords:*** Semipalatinsk Test Site, dose, plants, reservoirs of man-made origin, natural lakes.