

УДК: 574.9 (575.2)

Кененова Ж.К., Калдыбаев Б.К.

ИГУ им. К.Тыныстанова

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММЫ NORMALYSA ДЛЯ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

*В статье представлены результаты радиоэкологических исследований уранового хвостохранилища Каджи-Сай с использованием компьютерной программы Normalysa. Произведено моделирование процессов атмосферного переноса радионуклидов с поверхности хвостохранилища и через грунтовые воды к озеру.*

**Ключевые слова:** радионуклиды, доза облучения, хвостохранилище, моделирование, Normalysa.

*Бул макалада Normalysa компьютердик программасын колдонуу менен Кажы-Сайдагы уран сактоочу жайынын радиоэкологиялык изилдөөлөрүү көрсөтүлгөн. Атмосфералык абадагы радионуклиддердин сактоочу жайдын үстүнкү бөлүгү менен жер астындагы суулар аркылуу көлгө таралуу процесси моделдештирилди.*

**Негизги сөздөр:** радионуклиддер, нурлануу дозасы, сактоочу жай, моделдөө, Normalysa.

*The paper presents the results of radioecological studies of the Kaji-Say uranium tailings using the Normalysa computer program. The processes of atmospheric transport of radionuclides from the surface of the tailing dump through groundwater to the lake have been simulated.*

**Key words:** radionuclides, dose of irradiation, tailing dumps, modeling, Normalysa.

В недалеком прошлом Кыргызстан являлся крупнейшим производителем окиси урана для оборонной промышленности СССР. Окись урана извлекалась из золы бурых уран содержащих углей Каджи-Сайского месторождения. Отходы производства были захоронены, образовав хвостохранилище, с общим объемом 400 тыс. м<sup>3</sup>. Удаленность хвостохранилища от побережья озера Иссык-Куль составляет около 3 км. Поэтому существует потенциальный экологический риск радиоактивного загрязнения окружающей среды [1, 2].

Компьютерные программы и математическое моделирование в настоящее время широко используются в радиоэкологическом мониторинге окружающей среды. Программа **NORMALYSA** - это программное обеспечение, которое используется для обеспечения научных основ радиационной безопасности, разработки стратегий реабилитации территорий подверженных радиоактивному загрязнению [3].

### 1. Моделирование атмосферного переноса радионуклидов с поверхности хвостохранилища

Рассчитана доза облучения населения от вдыхания радона, высвобождаемого из хвостохранилища с урановыми отходами. Мы рассмотрели только экспозицию на открытом воздухе. Воздействие происходит на расстоянии 1000 метров от хвостохранилища в течение 100 лет. Дозы будут рассчитаны для двух групп населения: взрослые и дети.

Задача состоит в том, чтобы рассчитать атмосферный перенос радона из хвостов в район, где происходит облучение, и полученные дозы для взрослых от ингаляции радона.

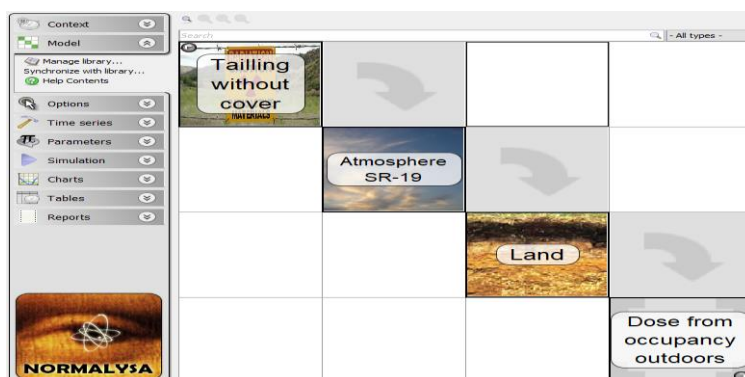


Рис. 1. Модель атмосферного переноса радона с поверхности хвостохранилища  
**Основные результаты моделирования:**

Параметры хвостохранилища. Ввод данных удельной активности радионуклидов грунт хвостохранилища Каджи-Сай (пром. площадка).

Таблица 1. Удельная активность радионуклидов грунт хвостохранилища Каджи-Сай (пром. площадка)

Radionuclides	Value	Unit
Pb-210	12121	Bq/kgDW
Ra-226	10643	Bq/kgDW
Rn-222	0,0198	Bq/(m <sup>2</sup> /s)
Th-230	15513	Bq/kgDW
U-234	154	Bq/kgDW
U-238	3152	Bq/kgDW
Th-228	46	Bq/kgDW
Ra-228	55	Bq/kgDW

Суммарная мощность эффективной дозы от радионуклидов грунта хвостохранилища составляет 182 мкР/час. Среди радионуклидов большей эффективной дозой обладает <sup>226</sup>Ra.

Таблица 2. Концентрация <sup>222</sup>Rn в воздухе

Time (Years)	Radon concentration in air outdoors	
	Tailling without cover	Unit Bq/m <sup>3</sup>
0	Rn-222	6,593259493
1		6,593247786
100		6,587963321

Концентрация <sup>222</sup>Rn в воздухе на поверхности хвостохранилища по истечении времени 100 лет незначительно уменьшается. Для радионуклидов обладающие большим периодом полураспада наблюдается незначительное уменьшение удельной активности (<sup>230</sup>Th, <sup>210</sup>Pb) за период 100 лет.

Параметры рецептора (Land)

Таблица 3. Удельная активность радионуклидов в почве

<b>Index</b>	<b>Measured radionuclide concentration in soil</b> Land *100.0 year Unit Bq/kgDW
Pb-210	146
Ra-226	134
Ra-228	51
Rn-222	0,01986
Th-228	49
Th-230	0
U-234	5
U-238	105

Таблица 4. Удельная активность радионуклидов в атмосферном воздухе

<b>Index</b>	<b>Concentration of radionuclides in air outdoors</b> Land *100.0 year Unit Bq/m <sup>3</sup>
Pb-210	49,6
Ra-226	2,1
Ra-228	0
Rn-222	0,01986
Th-228	1,1
Th-230	0
U-234	0
U-238	2,2

Доза облучения

Таблица 5. Ежегодная эффективная доза от внешнего облучения на открытом воздухе

<b>Index</b>	<b>Annual effective dose from external exposure outdoors</b> Dose from occupancy outdoors *100.0 year Unit Sv/year
Reference person 1	0,00013012

Эффективная доза от внешнего облучения на открытом воздухе составит 0,13012 мЗв/год, что не превышает годовой нормы облучения населения 1 мЗв/год (НРБ-99/2009).

**2. Моделирование переноса радионуклидов с хвостохранилища через грунтовые воды к озеру**

Площадь хвостохранилища около 100 м, а объем отходов – 400 тыс. м<sup>3</sup>. Радиоактивные отходы отделены от подстилающего водоносного горизонта в

аллювиальных отложениях на ненасыщенной почвенной зоне с глубиной 8 м.

Поток подземных вод в водоносном горизонте направляется к озеру, расположенному на расстоянии 3000 м от хвостохранилища. Помимо хвостохранилища, радиоактивное загрязнение присутствует в ненасыщенной зоне и в некоторых частях водоносного горизонта.

Из-за неоднородного начального загрязнения водоносного горизонта вблизи места захоронения используются два модуля Normalysa для моделирования переноса подземных вод в водоносный горизонт; модуль под названием Aquifer\_mixing и Aquifer\_transport. Aquifer\_mixing используется для моделирования части водоносного горизонта, которая расположена непосредственно под хвостохранилищем. Aquifer\_transport используется для имитации зоны загрязненного водоносного горизонта, непосредственно прилегающей к месту захоронения (от 0 до 100 м ниже по течению от места захоронения).

Задача оценить концентрации радионуклидов во времени в грунте хвостохранилища, грунтовых водах и озерной воде. Модифицированный временной интервал  $t = 1000$  лет.



Рис. 2. Модель переноса радионуклидов через грунтовые воды к озеру

**Основные результаты моделирования:**

Параметры хвостохранилища. Суммарная мощность эффективной дозы от радионуклидов грунта хвостохранилища составляет 182 мкР/час. Концентрация  $^{222}\text{Rn}$  в воздухе на поверхности хвостохранилища по истечении времени уменьшается. Для радионуклидов обладающие большим периодом полу распада ( $^{230}\text{Th}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{238}\text{U}$ ) наблюдается незначительное уменьшение удельной активности по истечении времени.

Параметры ненасыщенной зоны. В ненасыщенной зоне по истечении времени наблюдается снижение удельной активности  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Th}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ . Удельная активность  $^{238}\text{U}$ ,  $^{230}\text{Th}$ ,  $^{222}\text{Rn}$  остается на одном уровне.

Таблица 6. Содержание радионуклидов в ненасыщенной зоне

Index	Initial specific activity of soil Unsaturated Zone *1000.0 year Unit Bq/kgDW
Pb-210	114
Ra-226	117
Ra-228	44
Rn-222	0,0198
Th-228	54
Th-230	5

Параметры водосборной зоны. В водосборной зоне по истечении времени наблюдается снижение удельной активности  $^{222}\text{Rn}$ . Удельная активность  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{230}\text{Th}$ ,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{228}\text{Th}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  остается на одном уровне.

Таблица 7. Удельная активность радионуклидов в грунтовых водах

Index	Initial RN concentration in groundwater Aquifer Mixing *1000.0 year Unit Bq/L
Pb-210	0
Ra-226	0,025
Ra-228	0
Rn-222	1,34
Th-228	0
Th-230	0
U-234	0
U-238	10

Параметры водоносного горизонта. В водоносном горизонте по истечении времени наблюдается снижение удельной активности  $^{222}\text{Rn}$ . Удельная активность  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{230}\text{Th}$ ,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{228}\text{Th}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  остается на одном уровне.

Таблица 8. Удельная активность радионуклидов в грунтовых водах

Index	Initial RN concentration in groundwater Aquifer *1000.0year Unit Bq/L
Pb-210	0,01
Ra-226	0,005
Ra-228	0,1
Rn-222	1,34
Th-228	0,1

Th-230	0,1
U-234	0,1
U-238	10

Параметры озера. Содержание  $^{238}\text{U}$  и  $^{222}\text{Rn}$  в озерной воде в пределах нормы, в береговых зонах в донных отложениях повышено содержание  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{230}\text{Th}$ . Для рыбы не установлено повышенных содержаний радионуклидов.

**Литература:**

1. Дженбаев Б.М., Жолболдиев Б.Т., Калдыбаев Б.К. Современное состояние Иссyk-Кульской урановой радиобиогeoхимической провинции. Радиационная биология. Радиоэкология. – Т.53, № 4. – С.432-440 (2013).
2. Жолболдиева Б.Т. Радиоэкологическая оценка загрязнения территории бывшего уранового производства Каджи-Сай (Биосферной территории Иссyk-Куль). Автореферат дисс. на соиск. уч. степ. канд. биол. наук. – Бишкек, 2015. – 24с.
3. Working material. CD-disk. Regional Training Course on Human and Environmental Risk Assessment for Uranium Production Legacy Sites (RER9122/001). IAEA, Vienna, Austria, 2014.

