

Мозаичные мутации наблюдались только в 4 геномах. Их распределение по хромосомам случайно, хотя обращает на себя внимание тот факт, что все инверсии локализованы в геноме №13.

Завершая первый этап биоинформационного анализа, важно отметить, что фенотипически нормальные потомки облученных самцов в скрытом виде имеют множественные мутационные изменения типа делеций, транслокаций, дупликаций или инверсий, которое могут затрагивать в одном геноме сразу несколько кодирующих генов. Как отмечалось выше,  $\gamma$ -излучение в изученной дозе почти в 8 раз повышает частоту де ново мутаций в геноме F1 потомков облученных самцов и составляет 7,9. Это свидетельствует о том, что существующие представления о генетической опасности ионизирующего излучения, основанные на классических работах по анализу частоты мутаций отдельных генов [6], могут быть существенно занижены. Этот предварительный вывод требует дальнейшего исследования, как с редкоионизирующими, так и плотноионизирующими видами излучений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Alexander M.L. Mutation rates at specific autosomal loci in the mature and immature germ cells of *Drosophila melanogaster*. *Genetics* 1954, 39: 409-428.
2. Muller H.J. Advances in radiation mutagenesis through studies on *Drosophila*. In Bugher JC (ed): "Progress in Nuclear Energy Series VI" New York: Pergamon Press, 1959 pp 146-160.
3. I.D. Alexandrov, M.V. Alexandrova, K.P. Afanasyeva The Nature of Radiation-induced Inherited Recessive Gene Mutations in *Drosophila Melanogaster* *Archives of Molecular Biology and Genetics* 2022;1(1):12-19
4. Searle, A.G. Mutation induction in mice *Adv. Radiat. Biol* 1974, 4, 131-207
5. Russel W.L., Kelly E.M. Mutation frequencies in men *Proc. Natl Acad. Sci USQ* 1982 79, 525-544
6. J.V. Neel, Reappraisal of Studies Concerning the Genetic effects of the radiation of humans, mice and *Drosophila*. / Environmental and molecular mutagenesis 1998, 31:4-10
7. A.B. Adewoye, S.J.Lindsay at all The genom-wide effects of ionizing radiation on mutation induction in the mammalian germline / *Nature communication*, 2015, 10.1038
8. R.A. Hoskins, C.D. Smith et all Heterochromatic sequences in a *Drosophila* whole-genome shotgun assembly / *Genome Biology* 2002, 3(12) 0085.1-0085.16
9. Л. Н. Давкова, И. Д. Александров, М. В. Александрова Радиационная биология структурно разных генов *Drosophila melanogaster*. Сообщение 5. ген cinnabar: общая и молекулярная характеристика его радиомутабильности / Радиационная биология. Радиоэкология, 2014, том 54, № 1, с. 1-16
10. A.T. Do, at all Double-Strand Break Repair Assays Determine Pathway Choice and Structure of Gene Conversion Event in *Drosophila melanogaster*. / *Genes. Genomes. Genetics*. V.4 2014 425-431.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ДОЗОВЫХ НАГРУЗОК НА ЩИТОВИДНУЮ ЖЕЛЕЗУ ПРИ АВАРИИ НА БЕЛОРУССКОЙ АЭС

### MODELING OF DOSE LOADS ON THE THYROID GLAND IN THE EVENT OF AN ACCIDENT AT THE BELARUSIAN NUCLEAR POWER PLANT

**A. Е. Коипиш<sup>1,2</sup>, Е. П. Живицкая<sup>1,2</sup>**

**A. E. Koipish<sup>1,2</sup>, E. P. Zhyvitskaya<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь  
kaf\_immunal@iseu.by , alinakopish1111@gmail.com

<sup>1</sup>Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU  
Minsk, Republic of Belarus

Представлены результаты прогнозной оценки дозовых нагрузок на щитовидную железу при аварии на Белорусской АЭС. Для моделирования переноса радионуклидов в атмосфере и прогноза радиоактивных выпадений при тяжелой аварии на БелАЭС были рассмотрены 4 сценария метеоусловий: 2 летних, 2 зимних, с разными категориями устойчивости атмосферы. Установлено, что на территории в радиусе 3 км вокруг БелАЭС при запроектной аварии (сценарии 1-4) суммарная потенциальная доза облучения щитовидной железы будет варьироваться в пределах 4,83E+03-6,81E+03 мЗв. Различия показателей суммарной потенциальной дозы облучения щитовидной железы обусловлены погодными условиями. Наибольшее прогнозируемое значение представлено в зимнем сценарии 3. Результаты показывают необходимость проведения йодной профилактики у населения на расстоянии до 3 км от БелАЭС.

The results of predictive assessment of dose loads on the thyroid gland in the event of an accident at the Belarusian NPP are presented. To simulate the transfer of radionuclides in the atmosphere and the forecast of radioactive fallout at the NPP, 4 scenarios of weather conditions were considered: 2 summer, 2 winter, with different categories of atmospheric stability. It has been established that in the area within a radius of 3 km around the Belarusian NPP in case of an out-of-design accident (scenarios 1-4), the total potential radiation dose of the thyroid gland will vary within 4,83E+03 -6,81E+03 mSv. The differences in the indicators of the total potential radiation dose of the thyroid gland are due to weather conditions. The highest predicted values are presented in winter scenario 3. The results show the need for iodine prophylaxis in the population at a distance of up to 3 km from the Belarusian NPP.

**Ключевые слова:** щитовидная железа, суммарная потенциальная доза, Белорусская АЭС.

**Keywords:** thyroid gland, the total potential dose, Belarusian NPP.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-1-331-334>

Щитовидная железа является потенциальным органом-мишенью для радиационных повреждений. Одним из наиболее распространенных веществ в облаке радиоактивного пара, выделяемого в случае аварии на атомной электростанции, является йод-131 – радиоактивная форма элемента йода, он может вдыхаться людьми, проникать в организм человека или попадать в организм через загрязненные пищевые продукты. Йод-131 представляет особый риск для здоровья из-за его канцерогенного воздействия на щитовидную железу. После взрыва и расплавления ядерного реактора в Чернобыле в 1986 году последующие медицинские исследования показали значительное увеличение заболеваемости раком щитовидной железы в районе вокруг Чернобыля, особенно среди детей, которым на момент взрыва было меньше 10 лет, и подростков так как их щитовидная железа все еще растет и развивается [1].

Как показывает практика, на АЭС возможны нарушения режима нормальной эксплуатации, аварийные ситуации с выбросом радиоактивных веществ, что представляет потенциальный риск для населения и окружающей среды. В связи с этим задача проведения оценки радиационного риска, учитывающей как вероятностный, так и детерминистический подходы, становится все более актуальной [2].

Цель работы - выполнить оценку возможных радиологических последствий тяжелой аварии на БелАЭС и прогнозирование доз облучения щитовидной железы.

Объектом исследования являются данные об активности аварийного выброса радионуклидов при тяжелой аварии на БелАЭС и их влияние на щитовидную железу.

Для оценки возможных последствий тяжелой аварии на БелАЭС для здоровья населения Беларуси в качестве запроектной аварии (ЗА) выбран сценарий тяжелой аварии с тепловыделяющими сборками (ТВС) в бассейн выдержки (БВ), падение гидрозатвора в БВ, падение пенала герметичного с ТВС в БВ, падение секции стеллажей в БВ. Причиной выбора данного сценария стали наиболее высокие прогнозируемые результаты выпадения радиоактивного йода. При оценке доз облучения населения выброс на данном этапе аварии консервативно рассмотрен на высоте 100 м.

Для моделирования переноса радионуклидов в атмосфере и прогноза радиоактивных выпадений при ЗА на БелАЭС были рассмотрены 4 сценария метеоусловий: 2 летних, 2 зимних, с разными категориями устойчивости атмосферы (таблица 1). Дозы облучения населения рассчитаны за первые 24 ч после аварии с целью сравнения полученных значений с действующими национальными и международными критериями реагирования, а также оценки вероятности возникновения у населения Республики Беларусь детерминированных и стохастических эффектов [3].

*Таблица 1 – Сценарии метеоусловий, использованные при прогнозировании последствий тяжелой аварии на БелАЭС*

Характеристики	Сценарий			
	1	2	3	4
Дата	04.06.2021	10.05.2021	15.01.2021	10.02.2021
Направление ветра °	50	143	49	100
Скорость ветра, м/с	1,4	4	1,3	3,6
Категория устойчивости атмосферы	D	F	C	E
Осадки, мм	дождь, 1мм-	-	-	-
Температура воздуха, °C	15	18	-8	-12

Оценка содержания радионуклидов в объектах окружающей среды и доз облучения человека выполнена с помощью программного кода JRODOS. Система JRODOS представляет собой синтез ряда инновационных методов и технологий для проведения оценки и прогнозирования радиационной обстановки, а также выработки защитных мероприятий с целью снижения последствий радиационной аварии. Модули прогнозирования позволяют выполнять прогноз загрязнения атмосферы и водных объектов как в локальном масштабе (до 100 км), так и до нескольких тысяч километров, осуществлять оценку доз облучения с применением контрмер как с ними, так и без них. Заложенные функции и инструменты позволяют адаптировать модели, базы данных и пользовательский интерфейс к национальным условиям и предпочтениям пользователя [4].

Программный код JRODOS позволяет выполнять оценку радиационного воздействия, в том числе на значительных расстояниях от источника как в случае возникновения аварийных ситуаций, так и в рамках проведения командно-штабных учений. Он может применяться также в качестве многофункциональных систем выработки адекватных к частным условиям с учетом ряда количественных и качественных критериев стратегических направлений проведения контрмер для ликвидации/минимизации возможных последствий аварий для использования лицами, принимающими решение.

С целью оценки необходимости проведения йодной профилактики у населения оценены дозы облучения щитовидной железы. Прогнозируемые суммарные потенциальные дозы облучения щитовидной железы за 24 часа после тяжелой аварии на Белорусской АЭС, с учётом метеорологических сценариев представлены на рисунках 1–4.

В качестве первого сценария были выбраны летние условия погоды с выпадением осадков (дождь, 1 мм). Наибольший показатель суммарной потенциальной дозы облучения щитовидной железы наблюдается на расстоянии 3 км от БелАЭС ( $6,81E+03$  мЗв). С увеличением расстояния от БелАЭС отмечается выраженная тенденция к снижению дозовых нагрузок.

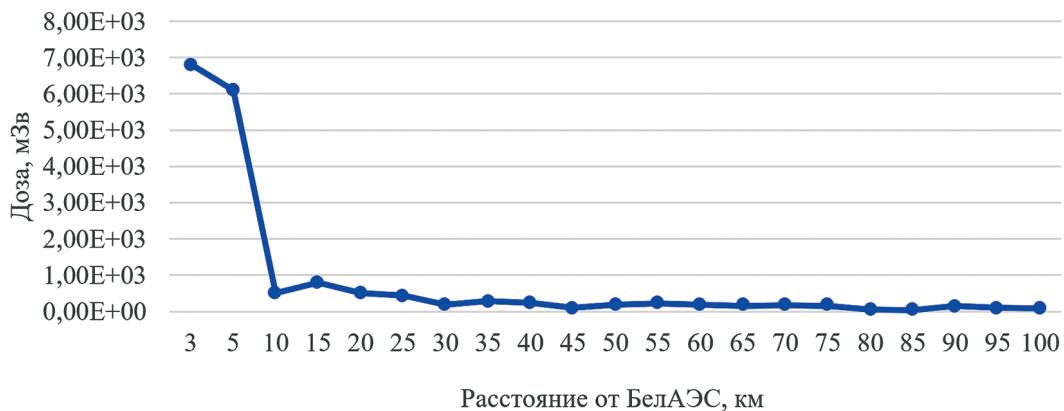


Рисунок 1 – Показатели суммарной потенциальной дозы облучения щитовидной железы при первом сценарии

Второй сценарий предполагает летние условия погоды без осадков. Максимальные прогнозируемые значения суммарных доз облучения щитовидной железы в радиусе 3 км составят до  $7,66E+03$  мЗв, в радиусе 15 км – до  $8,66E+02$  мЗв.

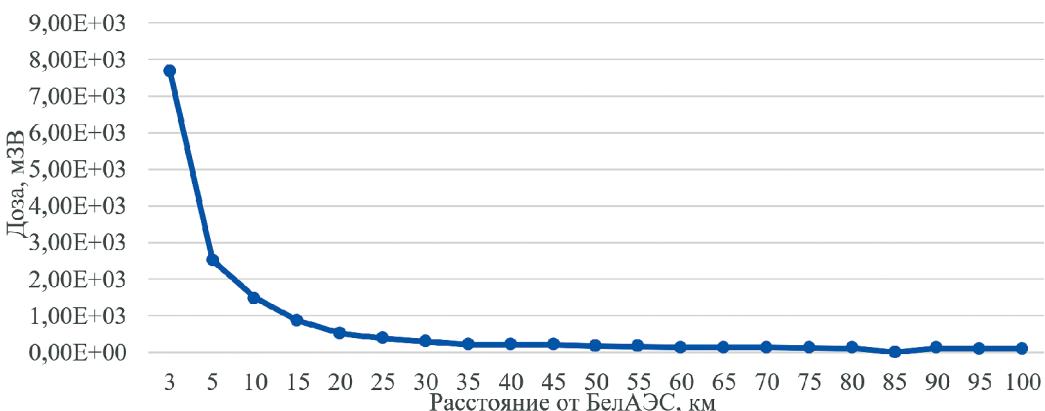


Рисунок 2 – Показатели суммарной потенциальной дозы облучения щитовидной железы при втором сценарии

В третьем сценарии в случае тяжелой аварии на БелАЭС принимаются зимние условия погоды без осадков. Наибольший показатель суммарной потенциальной дозы облучения щитовидной железы наблюдается на расстоянии 5 км от БелАЭС ( $6,46E+03$  мЗв). Выявленна тенденция к снижению данных показателей в зависимости от удаленности от аварии.

При четвертом сценарии (зимний, без осадков) максимальный показатель суммарной потенциальной дозы облучения щитовидной железы отмечен на расстоянии 3 км от БелАЭС ( $4,83 E+03$  мЗв). Как и в предыдущих сценариях, суммарная доза облучения щитовидной железы после ЗА на АЭС снижается в зависимости от удаленности от места предполагаемой аварии.

По результатам проведенной прогнозной оценки радиологических последствий радиационных аварий на АЭС установлено, что на территории в радиусе 3 км вокруг БелАЭс при ЗА (сценарии 1-4) суммарная потенциальная доза облучения щитовидной железы будет варьироваться в пределах  $4,83E+03$  мЗв - $6,81E+03$  мЗв. Различия показателей суммарной потенциальной дозы облучения щитовидной железы обусловлены погодными условиями. Наибольшее прогнозируемое значение представлено в зимнем сценарии 3. Результаты показывают необходимость проведения йодной профилактики у населения на расстоянии до 3 км от БелАЭС.



Рисунок 3 – Показатели суммарной потенциальной дозы облучения щитовидной железы при третьем сценарии

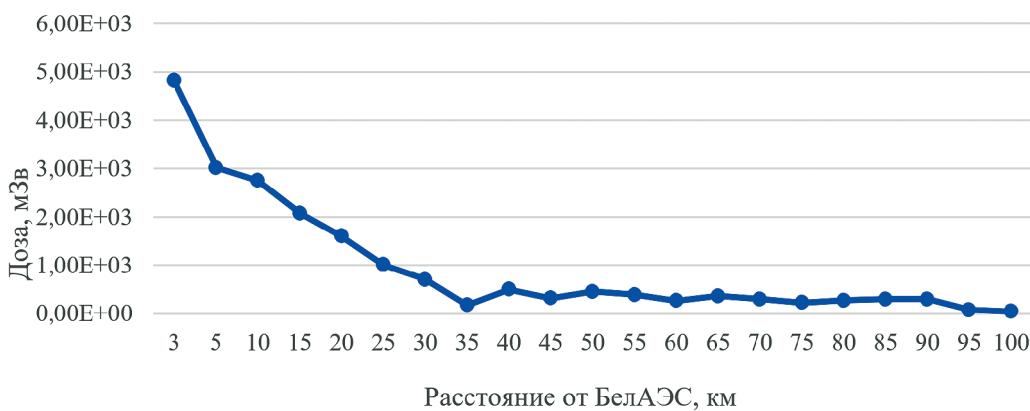


Рисунок 4 – Показатели суммарной потенциальной дозы облучения щитовидной железы при четвёртом сценарии

## ЛИТЕРАТУРА

1. Касаткина Э.П., Шилин Д.Е. Радиационная патология щитовидной железы у детей и подростков. Лекция 1. Эффект малых доз облучения и концепция риска отдаленных последствий Чернобыльской катастрофы. Проблемы Эндокринологии. 1997;43(4):24-29.
2. Зацепин, Е.Н. Основные принципы обеспечения безопасности Белорусской АЭС / Е.Н. Зацепин, С.В. Дробот // Известия НАНБ. Серия физико-технических наук. – № 1, 2015. – С. 118–122.
3. Кляус ВВ, Николаенко ЕВ, Жукова ОМ, Кочергина НС. Прогнозная оценка последствий тяжелой аварии на Белорусской АЭС для здоровья населения. Журнал Белорусского государственного университета. Экология. 2021;3:40–48. <https://doi.org/10.46646/2521-683X/2021-3-40-48>.
4. Крюк ЮЕ, Мостовенко АЛ, Нилова ЕК, Кузьминчук ВА, Войтенко КЮ. Сравнительный анализ программных средств для оценки и прогнозирования показателей радиационной обстановки. Журнал Белорусского государственного университета. Экология. 2021;2:55–60. <https://doi.org/10.46646/2521-683X/2021-2-55-60>.