

УДК 631.95

**ОЦЕНКА ХРОНИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕЙ  
РАДИАЦИИ НА ОРГАНИЗМ ОВЕЦ**

**Епимахов В.Г.**

*к.б.н., старший научный сотрудник,*

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение*

*«Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии» (ФГБНУ ВНИИРАЭ)*

*Обнинск, Россия*

**Аннотация**

Разработана модель оценки воздействия внешнего хронического ионизирующего излучения на организм овец. Дано описание и представлена её верификация. Для оценки факторов, модифицирующих влияние радиационного фактора на течение и исход лучевой болезни овец, проведены исследования на модели. Выполнен статистический анализ результатов численных экспериментов по показателям «снижение продуктивности» и «гибель животных». Представлены результаты исследований.

**Ключевые слова:** овцы, радиационное воздействие, зависимость «доза-эффект», моделирование, количественные закономерности, живая масса, рацион кормления

**ASSESSMENT OF IMPACT OF IONIZIRUYUSHCHETSY OF  
RADIATION ON THE ORGANISM OF SHEEP**

**Epimakhov V.G.**

*candidate of biological Sciences, senior researcher,*

*Russian Institute of Radiology and Agroecology,*

*Obninsk, Russia*

## **Annotation**

The model of assessment of impact of external chronic ionizing radiation on an organism of sheep is developed. The description of model is given and verification of model is presented. For assessment of the factors modifying influence of a radiation factor on a current and an outcome of a sharp radial illness of animals researches on model were conducted. The statistical analysis of results of numerical experiments on indexes "decrease in productivity" and "death of animals" was made. Results of researches are presented.

**Keywords:** sheep, radiation exposure, the dependence «dose-response», modeling, quantitative patterns, live weight, feeding ration

**Введение.** В современных условиях все компоненты агроэкосистем подвергаются интенсивному воздействию комплекса техногенных факторов. Возрастающие биологическая, физическая и химическая нагрузки ведут к прогрессирующему ухудшению плодородия почв, значительным потерям урожая, продуктивности животных, снижениям качества продукции сельского хозяйства. Обеспечение экологически безопасного развития сельскохозяйственного сектора становится одной из приоритетных задач, стоящих перед Российской Федерацией.

Из множества техногенных факторов, способных оказывать негативные воздействия на агропромышленное производство, особое внимание уделяется изучению влияния ионизирующих излучений (ИИ) на организм сельскохозяйственных животных.

**Цель исследования** заключается в разработке имитационной модели оценки влияния ионизирующей радиации на организм овец, определение закономерностей формирования общей реакции организма животных при изменении факторов, модифицирующих радиационное воздействие.

Актуальность поставленной задачи подтверждается аналитическим обзором научно-технической литературы и обусловлена ограниченной

информацией, касающейся подходов, критериев оценки воздействия радиационного фактора.

**Материалы и методы исследований.** Для достижения поставленной в работе цели с позиций биоэнергетического подхода, положения которого отражают представления о роли поддержания и нарушения энергетического баланса организма с окружающей средой, разработана имитационная модель оценки хронического воздействия ионизирующей радиации на организм овец.

Основное внимание при выполнении работы уделено адекватности создаваемой модели хроническому воздействию ИИ с учётом информативности, достоверности критериев и методов оценки негативных процессов, протекающих в облученном организме. Для описания общей реакции организма на хроническое воздействие ИИ использована и усовершенствована биолого-математическая модель острого лучевого поражения овец [1].

Модель является стохастической. Характер формирования радиобиологических эффектов объясняется не только как результат вероятностного распределения поглощенной энергии, но и индивидуальной радиочувствительностью животных. В качестве комплексного показателя, отражающего нарушение гомеостаза в результате воздействия ионизирующей радиации, рассматривается основной обмен [2].

Для количественного учета определения потребляемых питательных веществ корма выбрана система оценки кормов по обменной энергии (ОЭ) [3].

На рисунке 1 представлена верификация модели по результатам экспериментальных данных, полученных на овцах при  $\gamma$ -облучении животных  $^{60}\text{Co}$  при мощностях доз 6,6 Гр/ч, 2,61 Гр/ч, 0,03 Гр/ч, 0,036 Гр/ч и 0,02 Гр/ч [4]. Опыты проводились на овцах пород колумбия и рамбуйе со средней живой массой 43 кг в количестве 520 голов. Оценка соответствия экспериментальных данных и результатов, полученных на модели, по критерию Тейла составила 0,162 [5].

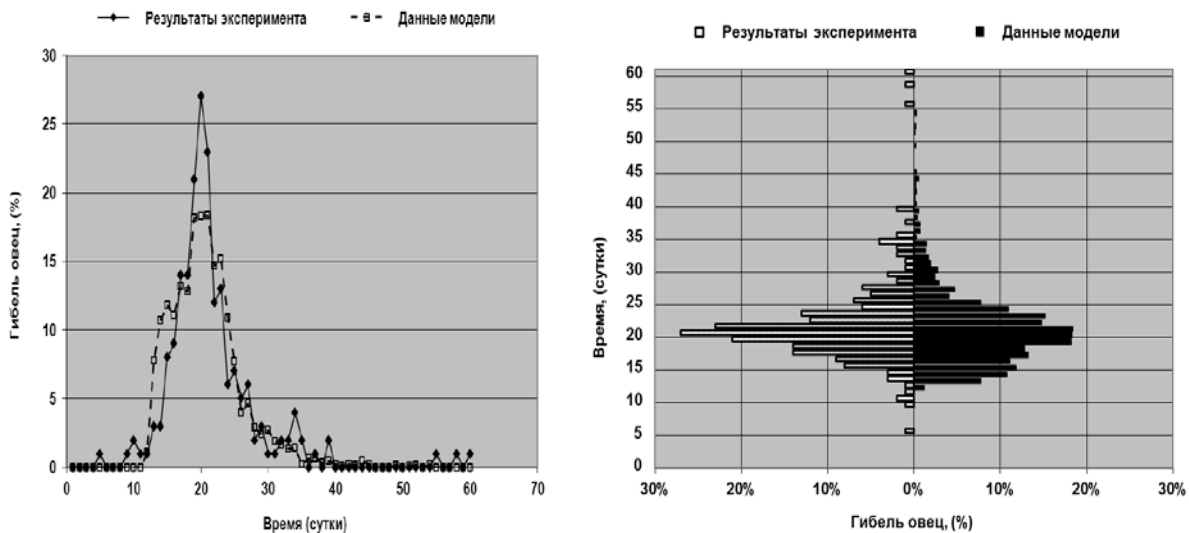


Рис. 1 - Верификация модели оценки воздействия ИИ на организм овец по экспериментальным данным [4]

Дополнительно выполнена верификация модели по результатам исследований влияния хронического облучения овец на выживаемость животных [6]. Исследования проводились лабораторией радиационной обороны ВМС США (NRDL) и Стэнфордским научно-исследовательским институтом (SRI). Животных подвергали облучению источником  $^{60}\text{Co}$  мощностью дозы 0,02 Гр/ч и 0,038 Гр/ч в течение 23 часов в сутки. Численность поголовья овец в каждом эксперименте составляла 24 головы. Продолжительность облучения – до полной гибели.

На модели были воспроизведены данные эксперименты. Для статистической оценки данных, полученных при проведении численных опытов, каждый эксперимент имел десятикратную повторность. Численность животных в каждом опыте составляла 100 голов. На рисунке 2 представлены результаты моделирования.

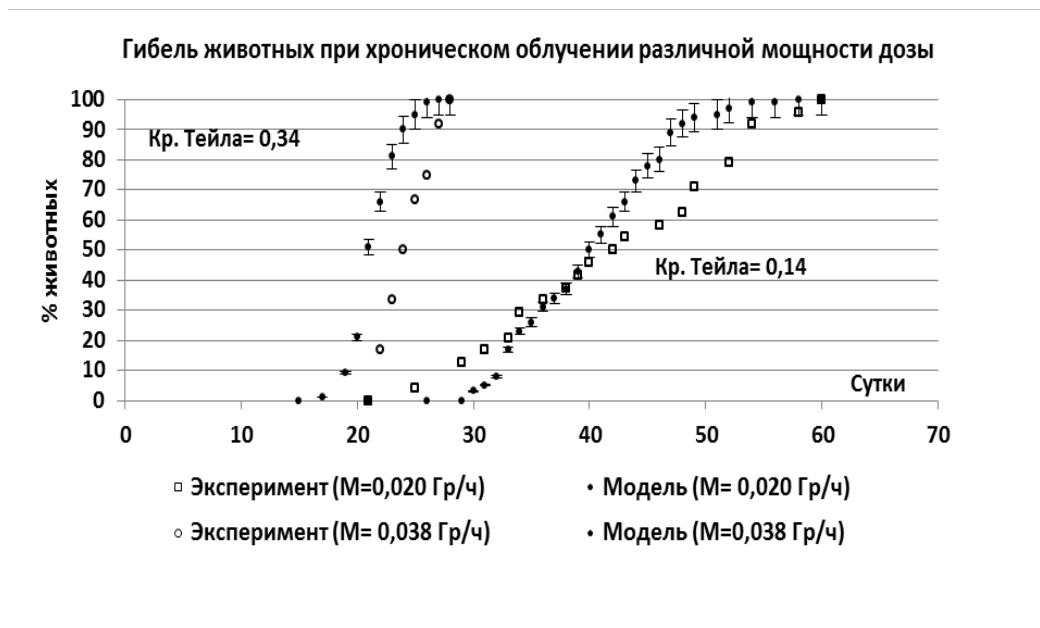


Рис. 2 - Верификация модели по результатам исследований [6]

Значения критерия Тейла 0,14 и 0,34 для мощностей доз, соответственно, 0,02 Гр/ч и 0,038 Гр/ч показывают достаточно хорошую согласованность экспериментальных данных [6] и численных опытов, выполненных на модели.

Также рассмотрен «феномен» пониженной чувствительности молодых ягнят к летальному облучению [7]. В публикации приведено, что  $LD_{50/30}$  для новорожденных подсосных ягнят составляет  $\approx 9$  Гр, т.е. значительно превосходит таковую для взрослых животных. Выдвигаются различные гипотезы такой высокой радиорезистентности ягнят к летальному облучению: влияние возраста на радиочувствительность клеток; присутствие патогенов в микрофлоре; иммуноспособностью новорожденных животных и др.

На модели были воспроизведены данные опыты и в результате получены, примерно, те же значения  $LD_{50/30}$ , что и в публикации по данному эффекту (рисунок 3).

Результаты моделирования, помимо верификации (значение критерия Тейла равно 0,075), позволили дать обоснование данному «феномену», который состоит в том, что молоко овец является высококалорийным ( $\approx 6$  Мкал на 1 кг сухого вещества). Его энергия позволяет компенсировать затраты растущего организма на восстановление нарушенного в результате облучения

энергетического баланса с окружающей средой. Причем, чем выше молочность маток, тем выше радиорезистентность ягнят.

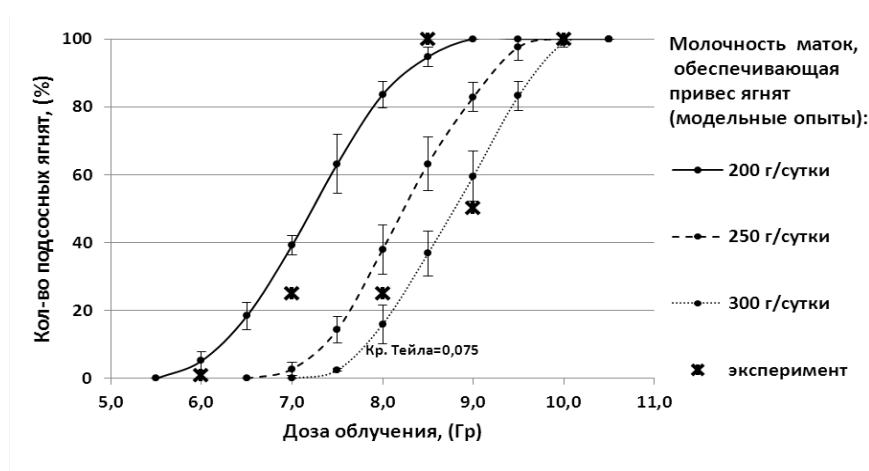


Рис. 3 - Верификация модели по экспериментальным данным пониженной радиочувствительности подсосных ягнят [7]

Верификация модели позволяет использовать её в качестве инструмента научно-обоснованного определения результата хронического воздействия ионизирующей радиации и достижения поставленной задачи - решение количественной оценки течения и исхода лучевой болезни овец, установления вклада факторов, модифицирующих общую реакцию организма животных при хроническом радиационном воздействии в формирование зависимостей «доза-эффект».

**Результаты и обсуждение.** Исследования степени проявления изучаемого эффекта, определяемой как зависимость «доза-эффект» или функция эффективности в радиобиологии отводят место как основополагающей проблемы. В течение многих лет она находится в центре внимания, прежде всего, с позиций понимания и формулирования теоретических основ её формирования.

Особое значение функции эффективности придается по причине использования её для решения экспертных вопросов, касающихся проблем

нормирования радиационного воздействия с целью определения безопасных уровней. Решение данной проблемы может быть достигнуто путём всестороннего обобщения и анализа имеющихся накопленных экспериментальных данных и проведения дополнительных исследований, в том числе с использованием имитационных моделей. Преимущество имитационного моделирования, как показывает мировой опыт, заключается в том, что для оценки последствий воздействия на изучаемую систему или объект изучения, всегда можно получить ответ на поставленный вопрос, в то время как в реальной системе это осуществить не всегда возможно [8, 9].

Поскольку зависимости «доза-эффект» содержат информацию о проявлениях отклика организма овец к уровню радиационного фактора и служат отражением механизмов нарушения их функционирования и восстановления, разработанная имитационная модель была использована оценки хронического воздействия ионизирующей радиации на организм животных.

При проведении численных экспериментов на модели рассматривались следующие факторы: мощность и продолжительность воздействия ИИ, тип рациона кормления и возрастная группа животных. Путем варьирования факторов проводилось установление закономерностей формирования зависимостей «доза-эффект» по показателям «снижение продуктивности» (снижение живой массы на 10% по отношению к контролю) и «гибель животных».

#### *а) Влияние типа рациона.*

Описание эксперимента и результаты. Овцы среднего возраста 2-х лет средней живой массой 48 кг подвергались хроническому облучению мощностью дозы 0,015 Гр/ч. Предварительно животные были разделены на 3-и группы, по 100 голов в каждой. Рацион для первой группы состоял из грубых кормов (концентрация ОЭ составляет 2, 2 Мкал на 1 кг сухого вещества корма).

Животные второй группы потребляли рацион, который включал 50% грубых и 50 % концентрированных кормов (концентрация ОЭ - 2, 6 Мкал/кг сухого вещества). Рацион для третьей группы состоял полностью из концентрированных корма (концентрация ОЭ - 3,0 Мкал/кг сухого вещества).

На рисунке 4 показаны результаты моделирования. Анализ полученных данных показывает, что тип рациона отражается на снижении привесов животных, так и их гибели. При скормливание облученным животным концентрированных кормов темпы снижения продуктивности и гибели овец выше, чем при скормливание грубых кормов.

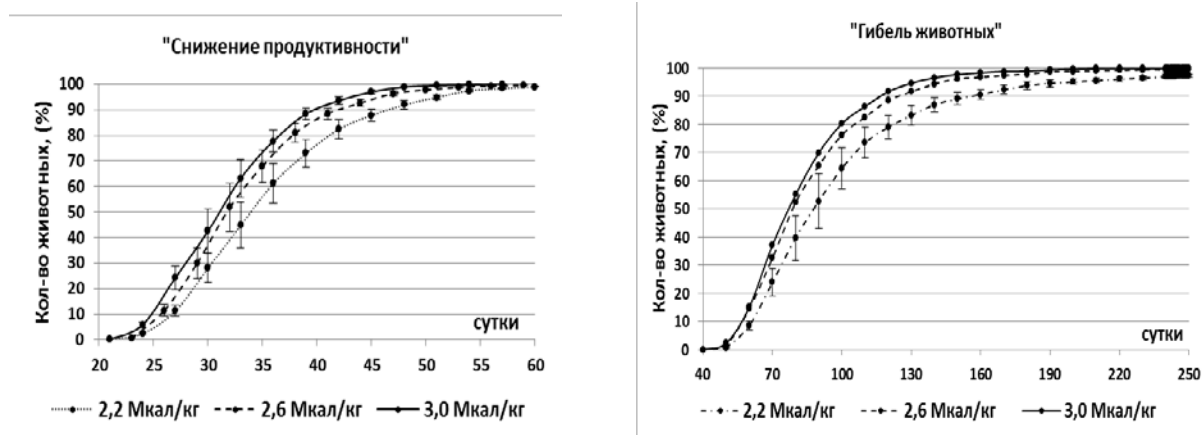


Рис. 4 - Результаты моделирования оценки влияния типа рациона на течение и исход лучевой болезни овец по показателям «снижение продуктивности» и «гибель животных»

#### б) Возрастная группа

Описание эксперимента и результаты. Животные представлены 3-мя группами. Возраст овец первой группы взят равным примерно один год, животные второй и третьей группы имели средний возраст, соответственно, 1,5 года и 2 года. Средняя живая масса животных составляла 33 кг, 40 кг и 48 кг, соответственно. Овец подвергали хроническому облучению мощностью дозы 0,015 Гр/ч. В течение эксперимента животным скормливали рацион с концентрацией ОЭ 2, 6 Мкал/кг сухого вещества. Количество овец в каждой группе составляло 100 голов.



На рисунке 5 представлены результаты экспериментов, выполненных на модели.

Установлено, что при одном и том же рационе кормления снижение продуктивности у растущих овец происходит активнее, чем у взрослых животных. По показателю «Гибель животных» анализ полученных результатов показывает, что с возрастом гибель животных при хроническом облучении растет: если для 2-х летних овец на 220 суток гибель составила 100%, то для годовалых овец она составила только 32%.

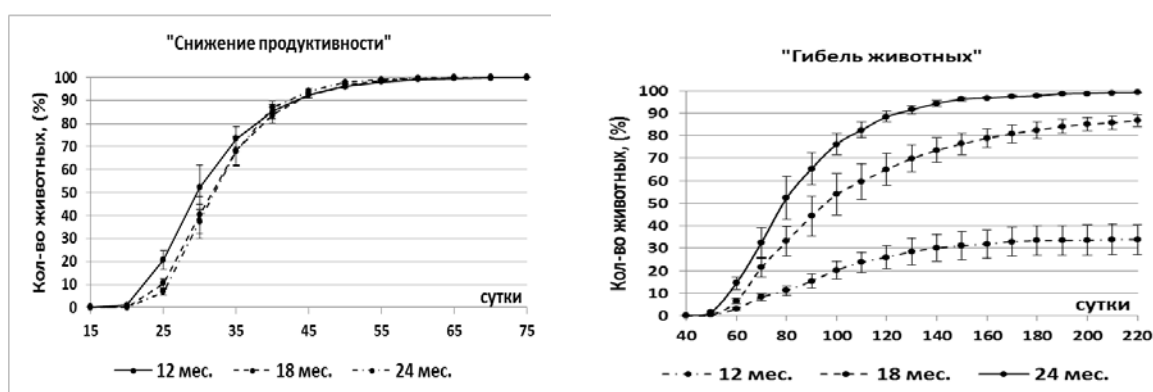


Рис. 5 - Результаты моделирования установления влияния возрастной группы животных на изменение показателей «снижение продуктивности» и «гибель животных».

в) *Мощность дозы.*

Описание эксперимента и результаты. На рисунке 6 представлены результаты моделирования формирования зависимостей изменения показателей «снижение продуктивности» и «гибель животных» в зависимости от мощности дозы. Графики отражают картину течения и исхода хронического облучения овец возраста 2-х лет со средней живой массой 48 кг. Количество обменной энергии в рационе соответствует 2.6 Мкал/кг сухого вещества.

По показателю «снижение продуктивности» рассмотрены следующие уровни мощности доз: 0,015 Гр/ч, 0,020 Гр/ч и 0,025 Гр/ч. На рисунке 6 показано снижение данного показателя с уменьшением мощности дозы.

По показателю «гибель животных» взяты мощности доз: 0,012 Гр/ч, 0,014 Гр/ч, 0,016 Гр/ч и 0,018 Гр/ч.

С ростом мощности дозы хронического облучения меняется отклик пораженного организма на данное воздействие, увеличивается выраженность изучаемого эффекта и, соответственно, растёт количество животных, у которых развивается оцениваемый эффект (рисунок 6).

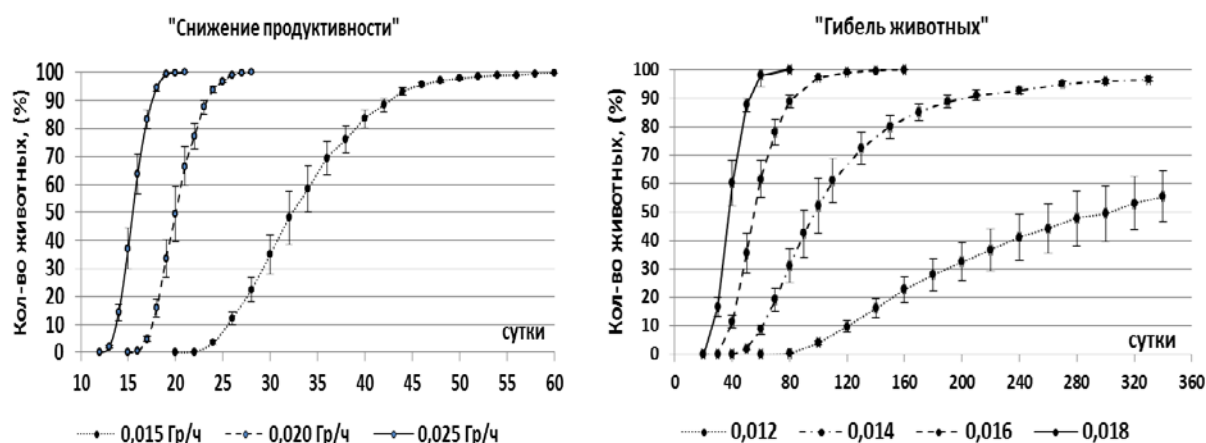


Рис. 6 - Влияния мощности дозы хронического облучения на течение и исход лучевой болезни овец по показателям «снижение продуктивности» и «гибель животных».

### г) Длительность облучения.

Описание эксперимента и результаты. Овцы представлены 4-мя группами по 100 голов в каждой. Средний возраст животных - 2-года и средняя живая масса ~ 48 кг. Овец подвергались хроническому облучению в течение 60, 90, 180 и 360 суток. Для статистической обработки результатов экспериментов каждый из них имел 10-ти кратную повторность.

Мощность дозы облучения составляла 0,010 Гр/ч. Концентрация ОЭ в рационе кормления животных составляла 2,6 Мкал/кг сухого вещества.

На рисунке 7 представлены результаты опытов, выполненных на модели.

Если при хроническом облучении в течение 60 суток снижение живой массы на 10 % по отношению к контролю отмечено в среднем у 12% животных, то при облучении в течение 90 суток наблюдается в среднем у 30% овец. Соответственно, при облучении в течение 180 и 360 суток данный показатель составил 74% и 94% .

Гибель овец в зависимости от длительности хронического облучения на 200–ые сутки в среднем составила, соответственно, 18%, 68% и 98%.

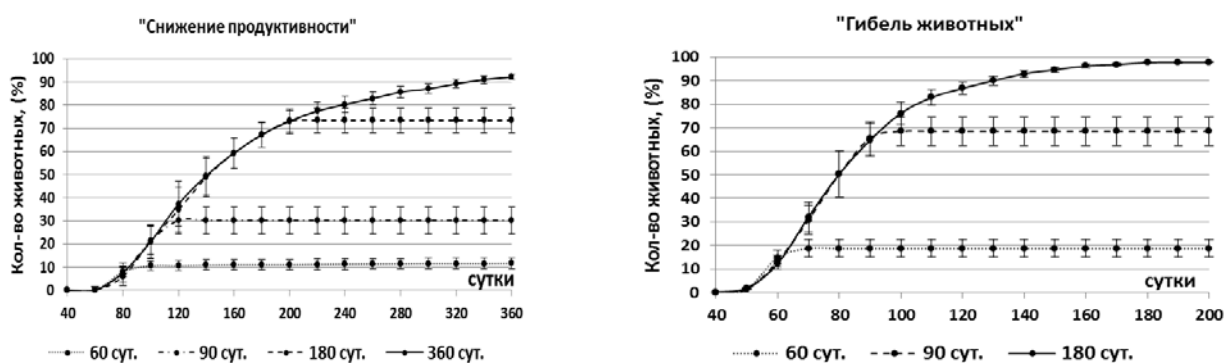


Рис. 7 Графическое представление зависимости изменения показателей «снижение продуктивности» и «гибель животных» от длительности облучения овец.

**Заключение.** Цель настоящей работы заключалась в разработке подхода к оценке воздействия радиационного фактора на организм овец. Актуальность поставленной задачи подтверждается аналитическим обзором научно-технической литературы и обусловлена ограниченной информацией, касающейся данного вопроса.

В работе определены факторы, определяющие отклик организма животных на воздействие ИИ: тип рациона, возрастная группа, мощность дозы и длительность воздействия. Для оценки влияния каждого из факторов на формирование зависимости «доза-эффект» с использованием биоэнергетического подхода разработана имитационная модель хронического воздействия ИИ на организм овец. Модель является стохастической и реализована в виде компьютерной программы. Выполнена верификация

модели. Оценка воздействия радиационного воздействия при варьировании факторов, модифицирующих отклик организма овец, проводилась на модели по показателям «снижение продуктивности» и «гибель животных». Установлены закономерности формирования зависимостей «доза-эффект».

Значимость работы заключается в новизне информации, которую в реальной действительности путем проведения дополнительных натуральных экспериментов получить практически невозможно и дорого. Имитационное моделирование позволяет существенно сократить расходы на проведение экспериментальных исследований. Кроме того, результаты проведения экспериментов на модели позволяют создать обширную базу результатов опытов, достаточную для вероятностной оценки исхода радиационного поражения овец при хроническом воздействии.

Результаты данной работы представляют собой инструмент научно-обоснованного определения результата воздействия ионизирующей радиации на организм овец и могут найти применение в направлении повышения экологической безопасности в сельскохозяйственном производстве и эффективности защитных мероприятий при различных сценариях воздействия радиационного фактора.

#### **Библиографический список:**

1. Епимахов В.Г., Козьмин Г.В. Установление количественных закономерностей исхода острого лучевого поражения овец / East European Scientific Journal (Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe) Варшава, Польша Biologia № 6, 2016, pp.144-148
2. Сироткин А.Н., Ильязов Р.Г. Радиозэкология сельскохозяйственных животных. Казань: Изд-во «Фэн», 2000.
3. Потребность жвачных животных в питательных веществах и энергии /пер. с англ. А. А. Яковлева; под ред. А. П. Дмитроченко. М.: Колос, 1968

- 4 Page, N.P., Ainsworth, E.J., and Leong, G.F. The Relationship of Exposure Rate and Exposure Time to Radiation Injury in Sheep. *Radiation Res.*, v. 33, № 1, p. 94-106, 1968.
5. Тейл Г. Экономические прогнозы и принятие решений. - М.: Статистика, 1971. - 488 с.
6. Radiobiology of large animals. David C. L. Jones, et al. Stanford Research Institute. Prepared for: Defense Civil Preparedness Agency. August 1972.
7. Roberts P., Pfeffer A. Evidence for a decreased susceptibility to acute lethality in young lambs. // *Health Physics*, 1980, 39(2), pp. 225-229
8. Якимов И. М., Девятков В. В. Развитие методов и систем имитации в СССР и России, Казань, 2001. Режим доступа: <http://www.gpss.ru/paper/devyak/indexw.html>, свободный доступ. - Заглавие с экрана.
9. Рыжиков Ю. И. Имитационное моделирование. Теория и технология. СПб: КОРОНА принт; М.: Альтекс-А, 2004. 384 с.