

## Особенности расчета поглощенных доз облучения для крупного рогатого скота в условиях Красноярского края

А. С. Федотова<sup>1</sup>✉

<sup>1</sup> Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

✉ E-mail: krasfas@mail.ru

**Аннотация.** В статье приведена адаптированная методика расчета поглощенной дозы для крупного рогатого скота с территорий с многолетним техногенным загрязнением. Методика разработана согласно действующим на территории РФ нормативным документам – ветеринарным правилам ВП 13.73.13/12-00, ВП 13.5.13/03-00, методическим указаниям МУ 13.5.13-00, положению о системе государственного ветеринарного контроля радиоактивного загрязнения объектов ветеринарного надзора в Российской Федерации. **Цель работы** – разработка методики расчета поглощенных доз радиации для крупного рогатого скота на территории с многолетним загрязнением техногенными изотопами с учетом радионуклидного состава почв. **Методы.** Традиционным методом анализа оценены нормативные документы, регламентирующие расчет поглощенных доз облучения, теоретически определен вклад внешнего и внутреннего облучения в суммарную поглощенную годовую дозу. Проведен экспертный анализ литературных источников. **Результаты.** Установлено, что расчет дозы внешнего облучения необходимо проводить с учетом доз в стойловый и пастбищный периоды. Доза в пастбищный период является суммой доз в дневное и ночное время с учетом продолжительности светового дня. На основании данных радиоэкологической обстановки Красноярского края доза внутреннего облучения должна рассчитываться как сумма доз  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$  с учетом различной концентрации этих радионуклидов в зеленом корме и грубых кормах. **Научная новизна.** Впервые предложена методика расчета доз для крупного рогатого скота с учетом радиоэкологической обстановки Красноярского края. **Практическая значимость.** Методика рекомендована для специалистов радиологических отделов ветеринарных лабораторий и научных сотрудников, работающих в области сельскохозяйственной радиобиологии.

**Ключевые слова:** техногенные радионуклиды, поглощенная доза, гамма-фон, внешнее облучение, крупный рогатый скот,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{60}\text{Co}$ , внутреннее облучение.

**Для цитирования:** Федотова А. С. Особенности расчета поглощенных доз облучения для крупного рогатого скота в условиях Красноярского края // Аграрный вестник Урала. 2021. № 12 (215). С. 77–86. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-215-12-77-86.

**Дата поступления статьи:** 29.10.2021, **дата рецензирования:** 08.11.2021, **дата принятия:** 15.11.2021.

### Постановка проблемы (Introduction)

Поглощенная доза облучения животных – это суммарная доза природных и антропогенных источников радиации. Животные постоянно находятся под воздействием естественного радиационного фона, его образуют космическое излучение; естественные радиоактивные элементы горных пород, воды; естественные радионуклиды, находящиеся в компонентах рациона. Источниками техногенных радионуклидов являются мирное использование атомной энергии и радиационные аварии. Территории РФ отличаются различной удельной активностью техногенных радионуклидов в почвах соответственно различной радиационной опасностью. Техногенные радионуклиды были привнесены в окружающую среду в результате различных по масштабам и видам загрязнения аварий на предприятиях атомной промышленности и проведенными в прошлом столетии штатными ядерны-

ми взрывами. К крупным радиационным авариям, серьезно повлиявшим на радиационную обстановку значительных территорий РФ, можно отнести аварии на Чернобыльской АЭС и НПО «Маяк» в Челябинской области, в результате которой был сформирован Восточно-Уральский радиоактивный след. Помимо аварийных выбросов и сбросов, работа предприятий «Росатома» способствовала локальному дополнительному техногенному загрязнению объектов окружающей среды. В некоторых субъектах РФ имеются территории, где радиационная ситуация оценивается как напряженная. Управлением Роспотребнадзора по Красноярскому краю радиационная обстановка на территории края вне зоны наблюдения ФГУП «Горно-химический комбинат» определяется как благополучная, на территории зоны наблюдения Горно-химического комбината – удовлетворительная [1 с. 7–9], [2, с. 44–59]. В условиях агробиоценозов с локаль-

ным техногенным загрязнением выполняются радиоэкологические исследования по оценке уровней техногенного загрязнения, определении интенсивности миграции техногенных радионуклидов, определении миграционной способности антропогенных радионуклидов в продукции растениеводства и животноводства [3, с. 96–106], [4, с. 220], [5, с. 47], [6, с. 32–33], [7, с. 38], [8, с. 252–253].

На территории РФ функционирует единая государственная система контроля и учета индивидуальных доз облучения граждан (ЕСКИД). Начиная с 2001 года действует Федеральный банк доз облучения граждан Российской Федерации, который ведет учет доз облучения естественного и антропогенного радиационного фона. По данным 2021 года средняя индивидуальная годовая эффективная доза радиационного воздействия населения страны за счет природных источников ионизирующего излучения, рассчитанная на основе данных всех измерений 2001–2020 гг., составила 3,36 мЗв/год [9, с. 112.]

Работ по определению значений поглощенных доз для сельскохозяйственных животных ограниченное количество, тогда как научных публикаций, посвященных расчету и определению доз облучения населения, достаточно [10, с. 42–45], [11, с. 101–104], [12, с. 48–50].

Существуют научные работы по оценке поглощенных доз вегетативной массы растений в условиях природных биогеоценозов и агробиоценозов. В работах Т. В. Переволоцкой с соавторами проведен расчет мощности поглощенной дозы внешнего гамма-излучения травостоя от поверхностного слоя почвы и надземной фитомассы растений с применением разных методов [13, с. 111–113]. Существует теория дозиметрической модели облучения растений, она основывается на правилах распределения радионуклидов хронических радиоактивных выпадений в системе «поверхность растений – поверхностный слой почвы». А. Н. Переволоцкий с соавторами выделяют пять основных мест нахождения техногенных радионуклидов и связанных с этим источников радиационного воздействия на растения. Предложенная дозиметрическая модель облучения аграрных биогеоценозов уточняет и дополняет существующие представления о формировании дозы растений при хроническом поступлении техногенных радионуклидов [14, с. 97–100].

Удельная активность техногенных радионуклидов в компонентах агробиоценозов их миграционная активность по цепи «почва, вода – растение – животное», соответственно, поглощенная доза для сельскохозяйственных животных в субъектах РФ имеет различное цифровое выражение. Для определения радиоэкологического состояния агробиоценозов, степени дополнительного техногенного воздействия на организм животных используют значение поглощенной дозы ионизирующего излучения, сформированное в организме животного за единицу времени. Вопрос методики расчета поглощенных доз облучения сельскохозяйственных животных активно обсуждается в научных публикациях. В научных трудах М. Г. Лам-

зиной А. С. Зенькина приведен расчет поглощенных доз коров в республике Мордовия, который проводился авторами согласно ВП 13.73.13/12-00 [15, с. 117–122]. В. С. Авериним рассчитаны поглощенные дозы внешнего и внутреннего облучения коров на территории ближнего и дальнего радиоактивных следов аварии на Чернобыльской атомной электростанции. Мощность внешнего облучения рассчитывалась на основании данных мощности экспозиционной дозы и времени облучения, доза внутреннего облучения определялась коэффициентом перехода радионуклида из рациона в мышечную ткань, содержанием радионуклидов в суточном рационе, периодами полуснижения содержания радионуклидов в мышечной ткани и временем поступления. В результате работы автором установлено, что поглощенная доза у коров за пастбищный период в ближнем радиоактивном следе составила 31,4 мЗв / 180 сут., в дальнем – 6,5 мЗв / 180 сут. [16, с. 5–9]. А. В. Гулаковым и Д. Н. Дроздовым выполнен расчет дозы внутреннего облучения европейской косули, европейского лося, кабана, обитающих на территории Полесского радиационно-экологического заповедника. Мощность поглощенной дозы внутреннего облучения рассчитывалась по гамма-излучению  $^{137}\text{Cs}$ . Для расчетов авторы использовали значения коэффициентов дозового перехода, который определяется массой животного. Мощность поглощенной дозы внутреннего облучения  $^{137}\text{Cs}$  рассчитывали как произведение удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  в мышечной ткани (Бк/кг) и дозового коэффициента, равного мощности дозы, создаваемой 1 Бк/кг  $^{137}\text{Cs}$ , мЗв/сут [17, с. 66–67]. Такой метод подразумевает определение удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  в мышечной ткани животного, что делает невозможным его использование при жизни животных.

Рекомендациями МКРЗ [18], [19], [20, с. 141–143] разработаны анатомические и физиологические условные модели, установлены способы оценки радиационного воздействия на биоту, при этом оценка дозового воздействия определяется дозой облучения референтных организмов флоры и фауны. Создана база данных по нескольким типам организмов, которые характерны для основных экосистем. Модели позволяют сформировать основу для понимания соотношений между облучением и дозой, дозой и эффектом. В моделях референтные животные и растения рассматриваются как гипотетические объекты с определенными характеристиками конкретного семейства, объекты не являются защищаемыми существами, они выступают как реперные точки для создания модели. Исключение составляют млекопитающие, по их моделям можно установить зависимость «доза – эффект».

Для определения дозовых нагрузок на живой организм применяются методы математического моделирования, при этом оцениваются поглощенные дозы за промежуток времени. Мощность поглощенной дозы референтного объекта биоты формируется из мощности дозы внутреннего облучения от изотопов,

включенных в состав тканей организма, и мощности дозы внешнего облучения от радионуклидов, входящих в состав объектов биосферы.

Для расчета дозовых коэффициентов внешнего облучения от гамма-излучающих нуклидов, находящихся в объектах биосферы, используются программные комплексы. В них дозовое воздействие радиации рассчитывается для референтных организмов. Существуют несколько программных комплексов: EDEN – программа оценки доз для организмов из разных экосистем, доза определяется радионуклидным составом и характеристикой среды облучения [21]; ERICA Tool – программа разработана при финансировании Европейского союза, используется для расчета радиологических рисков для животных и растений с использованием трехуровневого комплексного подхода воздействия радиации на биоту (первый уровень позволяет выявить загрязненные участки, на втором рассчитывается доза воздействия радиации на биологический объект, третий позволяет оценить показатели облучения [22]; RESRAD-BIOTA – программа определения влияния радиационного фактора на биоту, позволяет оценить радиационную ситуацию, рассчитать дозовые нагрузки и провести оценку доз облучения организма с заранее выбранной геометрией и дает возможность использовать конверсию доз [23].

Учеными проведена работа по анализу значений дозовых коэффициентов для внешнего облучения широкого круга видов биоты (от муравья до синих китов), находящихся в атмосфере, водной среде и почве (верхний 50-сантиметровый слой), анализ проведен с помощью прецизионной программы, моделирующей перенос излучения. В результате рассчитаны коэффициенты внешнего облучения от гамма-излучающих нуклидов, выявлено, что в воздушной среде обитания имеют значение энергия ионизирующего излучения и размер животного [24, с. 76–80].

Существуют работы по оценке доз облучения референтных организмов (олень, крыса, змея, пчела, дождевой червь, сосна, трава) на территории, загрязненной  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ , при различных сценариях использования территории (в том числе сельскохозяйственное производство) и последующего ее использования после проведения реабилитационных мероприятий (остаточная активность техногенных радионуклидов  $1 \text{ м}^3/\text{год}$ ). Однако сценарий «сельскохозяйственное производство», рассматриваемый авторами, подразумевает только производство продукции растениеводства, к сожалению, не выполняется расчет доз облучения для сельскохозяйственных животных [25, с. 83–88].

В некоторых работах оценка доз облучения базируется на коэффициенте дозового преобразования индивидуального для каждого изотопа, это отношение удельной активности изотопа в объектах окружающей среды к мощности поглощенной дозы референтного животного. В моделях R&D 128, DOSES3D [27] и Е. В. Спирина [28] подсчет коэффициента дозового преобразования производится путем интегрирования

функции ослабления точечного источника радиации при оценке поглощенной дозы гамма-излучения животных массой от 1,5 до 550 кг, находящихся на территории, загрязненной радионуклидами. Расчеты коэффициентов дозового преобразования для референтных животных и растений с применением метода симуляции переноса излучения методом Монте-Карло и инженерного метода расчета мощности дозы имеют аналогичные результаты [27–28]. В настоящее время отдельными учеными ведется работа по расчету значений дозовых коэффициентов внешнего облучения для биоты с помощью прецизионной программы, моделирующей перенос излучения [14, с. 77–80].

Для территории Красноярского края выполнен расчет дозы облучения рыбы р. Енисей. Вылов рыбы был проведен в районе с. Атаманово (ближняя зона влияния ФГУП «Горно-химический комбинат»). Мощность дозы внутреннего облучения рыб рассчитывали на основании удельной активности антропогенных радионуклидов в организме рыб с применением расчетных дозовых коэффициентов. В результате расчета определено, что поглощенная доза для хариуса составила  $22,3 \text{ мкГр/сут}$ , для щуки –  $36,4 \text{ мкГр/сут}$ . [26, с. 23–26]. Авторами определена удельная активность техногенных радионуклидов в водных растениях, зоо- и фитопланктоне, рыбе, при этом удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  в рыбе не превышает уровень, регламентированный СанПиН 2.3.2.1078-01 и СанПиН 2.3.2.2401-08.

Расчет поглощенных доз ионизирующего излучения крупного рогатого скота в агробиоценозах Красноярского края с различной техногенной напряженностью стал основой статьи.

Цель исследования – разработка методики расчета поглощенных доз ионизирующего излучения крупного рогатого скота на территории с многолетним загрязнением техногенными изотопами с учетом радионуклидного состава почв.

Для разработки адаптированной методики расчета поглощенной дозы для крупного рогатого скота с территорий с многолетним техногенным загрязнением были поставлены следующие задачи:

1. Оценка возможности использования существующих способов расчета поглощенных доз облучения сельскохозяйственных животных.
2. Оценка применимости использования методики ВП 13.73.13/12-00 «Обеспечение радиационной безопасности животных и продукции животного происхождения. Оценка доз облучения сельскохозяйственных животных на территории, загрязненной радионуклидами» для расчета доз облучения животных в Красноярском крае.
3. Обоснование адаптированной методики расчета поглощенной дозы для крупного рогатого скота в Красноярском крае.

#### **Методология и методы исследования (Methods)**

Теоретической и методологической основой работы являлись данные ветеринарных правил ВП 13.73.13/12-00 «Обеспечение радиационной без-

опасности животных и продукции животного происхождения. Оценка доз облучения сельскохозяйственных животных на территории, загрязненной радионуклидами» (утверждены главным государственным ветеринарным инспектором РФ 15.01.2001) [29], ВП 13.5.13/03-00 «Обеспечение радиационной безопасности животных и продукции животного происхождения. Организация государственного ветеринарного радиологического мониторинга объектов ветеринарного надзора в зоне воздействия радиационно-опасных объектов» (утверждены главным государственным ветеринарным инспектором РФ 25.05.2001) [30], методических указаний МУ 13.5.13-00 «Организация государственного радиоэкологического мониторинга агроэкосистем в зоне воздействия радиационно-опасных объектов» (утверждены Минсельхозом РФ 7 августа 2000 г.) [31] и положения о системе государственного ветеринарного контроля радиоактивного загрязнения объектов ветеринарного надзора в Российской Федерации (утверждены главным государственным ветеринарным инспектором РФ 12.02.1998) [32].

### Результаты (Results)

Расчет поглощенных доз облучения сельскохозяйственных животных изложен в ВП 13.73.13/12-00. Ветеринарные правила специалисты применяют для определения значений доз облучения крупного рогатого скота, находящегося на территории с дополнительным техногенным загрязнением. Для определения дозы радиационного воздействия используют данные поглощенных доз внешнего и внутреннего облучения животных. Доза внешнего облучения формируется за счет гамма-излучения техногенных радионуклидов, входящих в состав или находящихся на поверхности компонентов агробиоценозов. Внутреннее облучение сельскохозяйственных животных – это сумма поглощенных доз критических органов (щитовидная железа – концентрация изотопов йода, желудочно-кишечный тракт – удельная активность изотопов, поступающих алиментарным путем), тканей (костная ткань – содержание изотопов стронция) и организма в целом (удельная активность изотропных радионуклидов).

Из ВП 13.73.13/12-00 следует, что внешнее гамма-облучение сельскохозяйственных животных на территории, контаминированной продуктами ядерного деления, формируется за счет радионуклидов  $^{131}\text{I}$ ,  $^{95}\text{Nb}$ ,  $^{140}\text{La}$ ,  $^{95}\text{Zr}$ ,  $^{103}\text{Ru}$ ,  $^{106}\text{Ru}$ ,  $^{141}\text{Ce}$ ,  $^{106}\text{Rh}$ ,  $^{140}\text{Ba}$ ,  $^{144}\text{Ce}$  и др., из них основными являются  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{95}\text{Nb}$ ,  $^{95}\text{Zr}$  [29]. Короткоживущие техногенные радионуклиды вносят заметный вклад в значение мощности поглощенной дозы животных только в первые дни после загрязнения территории, на территориях с многолетним техногенным загрязнением их вклад не учитывается.

Для определения поглощенной дозы внешнего облучения используют данные мощности гамма-излучения на территории, эта доза определяется удельной активностью техногенных радионуклидов в компонентах агробиоценоза. Расчет поглощенной дозы внешнего гамма-излучения выполняют на основе ре-

зультатов гамма-съемки на местности (определение значений амбиентного эквивалента дозы на высоте 1 м от поверхности почвы). Поглощенная доза внешнего облучения от  $^{137}\text{Cs}$  рассчитывается как произведение дозового коэффициента, плотности поверхностного загрязнения и длительность воздействия.

В ветеринарных правилах к основным источникам попадания техногенных радионуклидов в организм животных относят использование в рационе кормов с высокой удельной активностью. Динамика поступления техногенных радионуклидов в организм животных зависит от удельной активности компонентов рациона, определяется временем года, способом содержания животных (стойловое, пастбищное).

В ветеринарных правилах ВП 13.73.13/12-00 представлена методика расчета поглощенной дозы в щитовидной железе, но техногенные изотопы йода относятся к короткоживущим, и отсутствует их вклад в поглощенную дозу животных на территориях с многолетним техногенным загрязнением. В связи с этим методика расчета поглощенной дозы в щитовидной железе не рассматривается. Расчет поглощенной дозы облучения организма животных на основе учета потребления кормов, загрязненных радионуклидами цезия, актуален для регионов с многолетним техногенным загрязнением. Изотопы цезия по сравнению с изотопами стронция хорошо фиксируются в профиле почв, 1 % цезия переходит в водную вытяжку, в большинстве случаев изотопы цезия входят в кристаллическую решетку минералов, в связи с этим почвы, загрязненные  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$ , длительное время будут являться источником  $^{137}\text{Cs}$  [3].

При известной удельной активности радионуклидов цезия ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ) в рационе крупного рогатого скота поглощенная доза рассчитывается по таблицам, причем необходимо определить сумму поглощенных доз гамма- и бета-излучения тела от животного со значением поглощенной дозы гамма-излучения желудочно-кишечного тракта. Определение значений поглощенной дозы от  $^{90}\text{Sr}$  в костях определяется по соотношению произведения концентрации  $^{90}\text{Sr}$  в рационе на массу корма и коэффициента депонирования  $^{90}\text{Sr}$  к массе костной ткани с учетом времени поступления  $^{90}\text{Sr}$  в организм животного [29].

Настоящая методика полностью подходит для подсчета поглощенной дозы облучения крупного рогатого скота, содержащегося на территории, подвергшейся воздействию радиоактивного заражения (облучения) вследствие ядерных взрывов, ядерных аварий и других процессов, связанных с неконтролируемым распространением техногенных радионуклидов. Настоящее описание имеет сравнительный характер и не может быть полностью перенесено на условия существования сельскохозяйственных животных на территориях с многолетним загрязнением техногенными радионуклидами.

Поглощенную дозу внешнего облучения крупного рогатого скота от долгоживущих радионуклидов на территории Красноярского края на открытой терри-

тории местности необходимо рассчитывать с учетом радиоэкологической обстановки. Основой для расчета является значение мощности дозы гамма-излучения на открытой местности, она определяется плотностью загрязнения техногенными долгоживущими радионуклидами, концентрацией естественных радионуклидов и интенсивностью космического облучения. Мощность поглощенной дозы внешнего гамма-излучения рассчитывается на основании данных гамма-съемки местности, выполненной на высоте 1 м от поверхности почвы. На основании ВП 13.73.13/12-00 расчет осуществляют по формуле

$$D_{вн} = 1,1 \times 10^{-2} \times P_{\gamma} \times \alpha \times t,$$

где  $P_{\gamma}$  – значение поглощенной дозы гамма-излучения, Гр/ч;

$\alpha$  – коэффициент ослабления гамма-излучения организмом животного (определяется массой тела, осуществляет переход от поглощенной дозы в воздухе к поглощенной дозе на поверхности тела), в среднем составляет 0,93 отн. ед.;

$t$  – время нахождения животного на открытой местности, ч.

Значение поправок на экранирование тела животных за счет микрорельефа почвы, присутствия снежного покрова и содержания в животноводческих помещениях вводить не следует.

На территории Красноярского края выявлены участки с дополнительным техногенным загрязнением, как правило это пастбищные участки. Кроме того, стойловому (ночному) содержанию обычно соответствуют иные величины мощности дозы, чем при выпасе. При расчете годовой поглощенной дозы необходимо учесть время нахождения животных на пастбище, формула для расчета дозы внешнего облучения приобретает вид

$$D_{вн} = D_{вн\text{пастб}} + D_{вн\text{стойл}} \quad (1)$$

С учетом продолжительности пастбищного периода (120 дней), разности значений мощности дозы гамма-излучения на пастбищном участке и в стойловом помещении доза облучения в пастбищный период рассчитывается по формуле

$$D_{вн\text{пастб}} = D_{вн\text{пастб.день}} + D_{вн\text{пастб.ночь}} \quad (2)$$

С учетом всех стандартных данных доза внешнего облучения за светлое время суток в пастбищный период будет рассчитываться по формуле

$$D_{вн\text{пастб.день}} = 1,1 \times 10^{-2} \times (P_{\gamma} \times 10^{-6}) \times 0,93 \times 1440, \quad (3)$$

где  $P_{\gamma}$  – мощность дозы гамма-излучения, мкР/ч;

$10^{-6}$  – пересчет из мкГр/час в Гр/ч;

0,93 – коэффициент ослабления гамма-излучения телом животного, отн. ед.;

1440 – время нахождения животного на пастбище, ч.

Для расчета дозы внешнего облучения за пастбищный период в ночное время используется формула

$$D_{вн\text{пастб.ночь}} = 1,1 \times 10^{-2} \times (P_{\gamma} \times 10^{-6}) \times 0,93 \times 1440. \quad (4)$$

В стойловый период (240 дней) животные постоянно находятся в условиях животноводческого помещения. Дозу внешнего облучения за стойловый период можно рассчитать по формуле

$$D_{вн\text{стойл}} = 1,1 \times 10^{-2} \times (P_{\gamma} \times 10^{-6}) \times 0,93 \times 5760. \quad (5)$$

Суммарная годовая поглощенная доза внешнего облучения представляет собой сумму доз облучения, рассчитанных по формулам (3), (4), (5).

В Красноярском крае к основным антропогенным радионуклидам, определяющим радиационную опасность пойменных почв, относят  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{152}\text{Eu}$ ,  $^{154}\text{Eu}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{240}\text{Pu}$  и  $^{241}\text{Am}$ . Основную техногенную опасность в кормах представляют  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ . Изотопы  $^{152}\text{Eu}$ ,  $^{154}\text{Eu}$  и  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$  имеют низкую миграционную активность. Изотопов  $^{131}\text{I}$  в почвах и кормах не обнаружено.

С учетом радиоэкологической обстановки Красноярского края доза внутреннего облучения складывается из суммы доз техногенных радионуклидов:

$$D_{внутр} = D_{внутр\text{Sr90}} + D_{внутр\text{Cs137}} + D_{внутр\text{Co60}}.$$

В связи с разной концентрацией  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$  в зеленой корме и грубых кормах правомочно выделить дозы за пастбищный и стойловый периоды, тогда для каждого техногенного изотопа формула приобретет вид:  $D_{внутр\text{i}} = D_{внутр\text{i}\text{пастб}} + D_{внутр\text{i}\text{стойл}}$ .

По данным ВП 13.73.13/12-00 дозы по  $^{137}\text{Cs}$  при известной удельной активности в компонентах рациона крупного рогатого скота определяют по таблице, при этом необходимо просуммировать поглощенную дозу гамма- и бета-излучения в теле животного и дозу от содержимого ЖКТ.

Изотопы  $^{60}\text{Co}$  и  $^{137}\text{Cs}$  принадлежат одной группе, согласно классификации радионуклидов в выбросах предприятий ядерного топливного цикла,  $^{60}\text{Co}$  и  $^{137}\text{Cs}$  имеют одинаковую миграционную активность и степень равновесности в компонентах агробиоценозах (по И. Е. Артемовой и др., 1990), поэтому возможно использование таблицы 1 ВП 13.73.13/12-00 для оценки вклада  $^{60}\text{Co}$  в годовую дозу внутреннего облучения.

Поглощенная доза в костной ткани от  $^{90}\text{Sr}$  определяется соотношением

$$D_{\text{кост}} = \frac{C_t \times M \times f}{m_{\text{кт}}} K \times t,$$

где  $D_{\text{кост}}$  – поглощенная доза костной ткани, мГр;

$C_t$  – концентрация  $^{90}\text{Sr}$  в компонентах рациона, кБк/кг;

$M$  – масса корма, кг;

$f$  – коэффициент депонирования  $^{90}\text{Sr}$ , в костной ткани (0,1);

$m_{\text{кт}}$  – масса костной ткани в организме животного;

$K$  – дозовый коэффициент, мГр/сут, равный для  $^{90}\text{Sr}$  0,0565 (мГр × кг/кБк);

$t$  – рассматриваемый период, сут.

Для расчета поглощенной дозы от  $^{90}\text{Sr}$  используются данные:

$M$  – масса потребляемого корма – 50 кг;

$f$  – коэффициент депонирования – 0,1;

$m_{\text{кт}}$  – масса костной ткани, по данным Д. Л. Левантина, составляет 19 % от массы животного.

### Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

В условиях Красноярского края при расчете поглощенных доз облучения крупного рогатого скота

в агробиоценозах, имеющих дополнительную техногенную нагрузку, необходимо учитывать значения мощности дозы гамма-излучения в пастбищный период в дневное и ночное время суток. С учетом радиологической обстановки Красноярского края доза внутреннего облучения складывается из суммы доз  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$ . В связи с разной концентрацией этих радионуклидов в зеленом корме и грубых кормах необходимо при расчетах отдельно учитывать поглощенную дозу за пастбищный и стойловый периоды. Для расчета годовой поглощенной дозы облучения сельскохозяйственных животных в Красноярском крае необходимы следующие данные: среднее значение мощности дозы гамма-излучения на пастбищном участке и животноводческом помещении, удельная активность  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{60}\text{Co}$  в кормах.

Методы математического моделирования для оценки поглощенных доз облучения сельскохозяйственных животных в производственных условиях трудоемки и не всегда приемлемы. Разработка прецизионной программы, моделирующей перенос техногенных радионуклидов по трофической цепи и оценивающей значения поглощенных доз внешнего и внутреннего облучения, является перспективным продолжением настоящей работы.

При использовании методики ВП 13.73.13/12-00 «Обеспечение радиационной безопасности животных и продукции животного происхождения. Оценка доз

облучения сельскохозяйственных животных на территории, загрязненной радионуклидами» для расчета поглощенных доз сельскохозяйственными животными Красноярского края не учитываются особенности радиологической обстановки территории, что изменяет значение суммарной поглощенной дозы.

В условиях Красноярского края расчет поглощенных доз внутреннего облучения крупного рогатого скота в агробиоценозах с техногенным загрязнением необходимо вести по удельной активности  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$ . При расчете внешнего облучения рекомендуется отдельно учитывать дозу, формируемую в стойловый и пастбищный периоды, с выделением дозовой нагрузки в различное время суток.

Предложенная методика по расчету поглощенных доз облучения крупного рогатого скота может быть использована в работе радиологических отделов ветеринарных лабораторий Красноярского края.

Представленная методика учитывает все факторы, формирующие значение поглощенной дозы, это дает возможность использовать методику в других субъектах РФ. При адаптации методики к другим территориям необходимо учесть особенности радиологической обстановки, продолжительность стойлового и пастбищного периодов. Результаты работы значимы как для субъектов РФ, так и для других стран, территория которых была подвержена техногенному радиоактивному загрязнению.

#### Библиографический список

1. Атлас современной радиационной обстановки на территории Красноярского края. Красноярск: Министерство экологии и рационального природопользования Красноярского края, 2019. 84 с.
2. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2019 году». Красноярск, 2020. 314 с.
3. Федотова А. С. Миграционная способность техногенных радионуклидов в агробиоценозах лесостепной зоны Красноярского края: монография. Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2017. 138 с.
4. Цветнова О. Б., Кононец О. П., Щеглов А. И. Естественные и техногенные радионуклиды в почвах юго-западной части Крымского полуострова // Радиологические последствия радиационных аварий – к 35-й годовщине аварии на ЧАЭС: сборник докладов международной научно-практической конференции. Обнинск, 2021. С. 220–223.
5. Булгаков В. Г., Уваров А. Д., Гниломедов В. Д., Каткова М. Н., Елифанов А. О., Вакуловский С. М. Результаты исследования радиоактивного загрязнения почв Брянской области // Радиологические последствия радиационных аварий – к 35-й годовщине аварии на ЧАЭС: сборник докладов международной научно-практической конференции. Обнинск, 2021. С. 46–48.
6. Богинская А. И. Загрязнение почвенного покрова Брянской области техногенными радионуклидами ( $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ ) // Метеорологический вестник. 2018. Т. 10. № 2. С. 28–36.
7. Окунев А. М. Поведение техногенных радионуклидов при переработке молока в творог // Агропродовольственная политика России. 2018. № 3 (75). С. 37–39.
8. Окунев А. М. Особенности перехода техногенных радионуклидов из рациона в молоко и мясо коров при пастбищном содержании на юге Тюменской области // Вестник КрасГАУ. 2018. Вып. 6 (141). С. 250–254.
9. Кормановская Т. А., Ахматдинов Р. Р., Горский Г. А. Итоги 20 лет функционирования Федерального банка данных по дозам природного облучения населения Российской Федерации // Радиационная гигиена. 2021. Т. 14. № 43. С. 112–125. DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-3-112-125.
10. Голиков В. Ю. Анализ долгосрочной динамики доз внешнего облучения населения после Чернобыльской аварии // Радиационная гигиена. 2018. Т. 11. № 4. С. 39–50. DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-4-39-50.
11. Звонова И. А. Дозы внутреннего облучения у населения префектуры Фукусима вследствие аварии на АЭС Фукусима-Дайичи // Радиационная гигиена. 2020. Т. 14. № 3. С. 98–109. DOI: 10.21514/1998-426X-2020-13-3-98-109.

12. Mikailova R. A., Nushtaeva V. E., Spiridonov S. I., Karpenko E. I., Krechetnikov V. V. Estimation and prediction of the population irradiation dose in the vicinity of npp with VVER-1200 // *Atomic Energy*. 2019. Vol. 127. No. 1. Pp. 56–59. DOI: 10.1007/s10512-019-00584-4.
13. Perevolotskaya T. V., Perevolotskii A. N., Kurachenko Yu. A. Methods of calculating the  $\gamma$ -radiation absorbed dose rate in case of radioactive contamination of meadow biogeocenoses // *Atomic Energy*. 2020. Vol. 128. No. 2. Pp. 104–114. DOI: 10.1007/s10512-020-00658-8.
14. Переволоцкий А. Н., Переволоцкая Т. В., Спиридонов С. И. Концептуальные положения дозиметрической модели облучения растений биогеоценозов при хронических радиоактивных выпадениях // *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2019. Т. 59. № 1. С. 94–102. DOI: 10.1134/S0869803119010089.
15. Ламзина М. Г., Зенькин А. С. Формирование поглощенных доз при внешнем и внутреннем облучении коров // *Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана*. 2010. Т. 202. С. 116–123.
16. Аверин В. С. Формирование поглощенных доз у крупного рогатого скота от внешнего и внутреннего облучения в условиях пастбищного содержания на загрязненной радионуклидами территории // *Веснік Мазырськага Дзяржаўнага Педагагічнага Ўніверсітэта ім. І. П. Шамякіна*. 2015. № 1 (45). С. 3–9.
17. Гулаков А. В., Дроздов Д. Н. Оценка поглощенной дозы внутреннего облучения крупных млекопитающих, обитающих на территории радиоактивного загрязнения // *Радиоэкологические последствия радиационных аварий к 35-й годовщине аварии на ЧАЭС: сборник докладов международной научно-практической конференции*. Обнинск, 2021. С. 65–67.
18. ICRP Publication 136. Dose coefficients for non-human biota environmentally exposed to radiation. 2017. Vol. 46. No. 2. 139 p.
19. ICRP Publication 89. Basic Anatomical and Physiological Data for Use in Radiological Protection: Reference Values. 2002. Vol. 32. No. 3-4. 282 p.
20. Публикация 103 Международной Комиссии по радиационной защите (МКРЗ) / Пер с англ. ; под общ. ред. М. Ф. Киселева, Н. К. Шандалы. Москва: Издательство ООО ПКФ «Алана», 2009. 344 с.
21. Beaugelin-Seiller K., Garnier-Laplace J., Gariel J. C., Jasserand F. E. D. E. N. A tool for the estimation of dose coefficients for non-human biota // *Radioprotection*. 2005. Vol. 40. No. 1. Pp. 921–926.
22. Howard B. J., Beresford N. A., Copplestone D., et al. The IAEA handbook on radionuclide transfer to wildlife // *Journal of Environmental Radioactivity*. 2013. Vol. 121. Pp. 55–74.
23. Yu C., et al. User's Manual for RESRAD-OFFSITE. Version 2, ANL/EVS/TM/07-1. Argonne: Argonne National Laboratory, 2007. 544 p.
24. Панченко С. В., Блохин П. А., Кизуб П. А., Гаврилина Е. А. Подходы к оценке доз внешнего облучения различных видов биоты // *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2019. Т. 59. № 1. С. 75–81. DOI: 10.1134/S0869803119010077.
25. Титов А. В., Шандала Н. К., Серегин В. А., Филонова А. А., Семенова М. П., Дороньева Т. А. Обеспечение радиационной безопасности биообъектов при реабилитации территорий, загрязненных  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  // *Радиация и риск*. 2019. Т. 28. № 1. С. 82–91. DOI: 10.21870/0131-3878-2019-28-1-82-91.
26. 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. DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-3-22-29.
27. Modeling radiation exposure and radionuclide transfer for non-human species: Report of the Biota Working Group of EMRAS. Theme 3. Viena: IAEA, 2010. 244 p.
28. Спириин Е. В. Метод расчета доз облучения животных для оценки последствий загрязнения окружающей среды // *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2009. Т. 49. № 5. С. 608–616.
29. ВП 13.73.13/12-00 «Ветеринарные правила обеспечения радиационной безопасности животных и продукции животного происхождения. Оценка доз облучения сельскохозяйственных животных на территории, загрязненной радионуклидами». Москва: ВНИИСХРАЭ, 2000. 17 с.
30. ВП 13.5.13/03-00 «Ветеринарные правила обеспечения радиационной безопасности животных и продукции животного происхождения. Организация государственного ветеринарного радиологического мониторинга объектов ветеринарного надзора в зоне воздействия радиационно-опасных объектов». Москва: ВНИИСХРАЭ, 2001. 36 с.
31. МУ 13.5.13-00 «Организация государственного радиоэкологического мониторинга агроэкосистем в зоне воздействия радиационно-опасных объектов»: методические указания Министерства сельского хозяйства и продовольствия РФ от 7 августа 2000 г. Документ опубликован не был [Электронный ресурс]. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
32. О системе государственного ветеринарного контроля радиоактивного загрязнения объектов ветеринарного надзора в Российской Федерации: положение Министерства сельского хозяйства и продовольствия РФ от 20 февраля 1998 г. (утверждено главным государственным ветеринарным инспектором РФ 12.02.1998)

[Электронный ресурс]. Доступ из справочно-правовой системы «КонсультантПлюс». Документ опубликован не был.

#### Об авторах:

Арина Сергеевна Федотова<sup>1</sup>, кандидат биологических наук, доцент кафедры «Внутренние незаразные болезни, акушерство и физиологии сельскохозяйственных животных», ORCID 0000-0003-1630-2444, AuthorID 708584; +7 902 947-77-56, [krasfas@mail.ru](mailto:krasfas@mail.ru)

<sup>1</sup> Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

## Features of absorbed radiation doses calculation for cattle in the conditions of the Krasnoyarsk krai

A. S. Fedotova<sup>1</sup>✉

<sup>1</sup> Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia

✉ E-mail: [krasfas@mail.ru](mailto:krasfas@mail.ru)

**Abstract.** The article provides an adapted methodology of absorbed dose calculation for the cattle from the territories with long-term man-made contamination. The methodology was developed according to existing regulatory documents in the RF: veterinarian rules VR 13.73.13/12-00, VR 13.5.13/03-00, methodical instructions MI 13.5.13-00, regulation for the state veterinarian control system in radioactive contamination of veterinary surveillance objects in the Russian Federation. **The aim** of the work is the development of calculation methodology of absorbed radiation doses for the cattle on the territory with long-term man-made isotopes contamination, taking to the account the radionuclide composition of the soil. **Methods.** The traditional method of analysis has been used to evaluate the regulatory documents governing the calculation of absorbed radiation doses, and theoretically determined the contribution of external and internal radiation to the total absorbed annual dose. An expert analysis of literature sources has been carried out. **Results.** It has been established, that the calculation of external radiation dose needs to be done considering doses in stable and pasture periods. Pasture period dose is a sum of day and night doses considering day length. According to the data of radio ecological situation in Krasnoyarsk krai the internal radiation dose should be calculated as a sum of <sup>137</sup>Cs, <sup>90</sup>Sr, <sup>60</sup>Co, taking to the account different concentration of these radionuclides in green and coarse fodder. **Scientific novelty.** The methodology of dose calculation for the cattle according to the radio ecological situation in Krasnoyarsk krai has been introduced for the first time. **Practical significance.** This methodology is recommended for the specialists of radiological departments of veterinarian laboratories and science officers in the field of agricultural radiobiology.

**Keywords:** man-made radionuclides, absorbed dose, gamma-mapping, external radiation, cattle, <sup>137</sup>Cs, <sup>90</sup>Sr, <sup>60</sup>Co, internal radiation.

**For citation:** Fedotova A. S. Osobennosti rascheta pogloshchennykh doz oblucheniya dlya krupnogo rogatogo skota v usloviyakh Krasnoyarskogo kraja [Features of absorbed radiation doses calculation for cattle in the conditions of the Krasnoyarsk krai] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2021. No. 12 (215). Pp. 77–86. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-215-12-77-86. (In Russian.)

**Date of paper submission:** 29.10.2021, **date of review:** 08.11.2021, **date of acceptance:** 15.11.2021.

#### References

1. Atlas sovremennoy radiatsionnoy obstanovki na territorii Krasnoyarskogo kraja [Atlas of contemporary radiation situation in Krasnoyarsk krai]. Krasnoyarsk, 2019. 84 p. (In Russian.)
2. Gosudarstvennyy doklad "O sostoyanii i okhrane okruzhayushchey sredy v Krasnoyarskom krae v 2019 godu" [State report "On the state and protection of the environment in the Krasnoyarsk krai in 2019"]. Krasnoyarsk, 2020. 314 p. (In Russian.)
3. Fedotova A. S. Migratsionnaya sposobnost' tekhnogennykh radionuklidov v agrobiotsenozakh lesostepnoy zony Krasnoyarskogo kraja: monografiya [Migration capacity of man-made radionuclides in agro-ecosystems of forest-steppe zone in Krasnoyarsk krai: monograph]. Krasnoyarsk: Krasnoyarskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet, 2017. 138 p. (In Russian.)
4. Tsvetnova O. B., Kononets O. P., Shcheglov A. I. Estestvennye i tekhnogennye radionuklidy v pochvakh yugozapadnoy chasti Krymskogo poluostrova [Natural and man-made radionuclides in south-west soil of Crimean peninsula] // Radioekologicheskie posledstviya radiatsionnykh aviariy – k 35-y godovshchine aviarii na ChAES: sbornik dokladov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Obninsk, 2021. Pp. 220–223. (In Russian.)

5. Bulgakov V. G., Uvarov A. D., Gnilomedov V. D., Katkova M. N., Epifanov A. O., Vakulovskiy S. M. Rezul'taty issledovaniya radioaktivnogo zagryazneniya pochv Bryanskoy oblasti [The results of the study of radioactive soil contamination in Bryanskaya oblast] // Radioekologicheskie posledstviya radiatsionnykh avariyy – k 35-y godovshchine avarii na ChAES: sbornik dokladov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Obninsk, 2021. Pp. 46–48. (In Russian.)
6. Boginskaya A. I. Zagryaznenie pochvennogo pokrova Bryanskoy oblasti tekhnogennymi radionuklidami ( $^{137}\text{Cs}$  i  $^{90}\text{Sr}$ ) [Soil contamination of Bryanskaya oblast with man-made radionuclides ( $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$ )] Meteorologicheskii vestnik. 2018. Vol. 10. No. 2. Pp. 28–36. (In Russian.)
7. Okunev A. M. Povedenie tekhnogennykh radionuklidov pri pererabotke moloka v tvorog [Man-made radionuclides behaviour under milk processing into cottage cheese] // Agro-food policy in Russia. 2018. No. 3 (75). Pp. 37–39. (In Russian.)
8. Okunev A. M. Osobennosti perekhoda tekhnogennykh radionuklidov iz ratsiona v moloko i myaso korov pri pastbishchnom soderzhanii na yuge Tyumenskoy oblasti [Radionuclide transition features from the diet into cattle milk and meat under pasture housing in the south of Tumenskaya oblast] // The Bulletin of KrasGAU. 2018. Vol. 6 (141). Pp. 250–254. (In Russian.)
9. Kormanovskaya T. A., Akhmatdinov R. R., Gorskiy G. A. Itogi 20 let funktsionirovaniya Federal'nogo banka dannykh po dozam prirodnoy oblucheniya naseleniya Rossiyskoy Federatsii [The results of 20 years functioning of Federal data bank of population natural radiation in the Russian Federation] // Radiation Hygiene. 2021. Vol. 14. No. 43. Pp. 112–125. DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-3-112-125. (In Russian.)
10. Golikov V. Yu. Analiz dolgosrochnoy dinamiki doz vneshnego oblucheniya naseleniya posle Chernobyl'skoy avarii [Analysis of the long-term dynamics of external doses of population after the Chernobyl accident] // Radiation Hygiene. 2018. Vol. 11. No. 4. Pp. 39–50. DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-4-39-50. (In Russian.)
11. Zvonova I. A. Dozy vnutrennego oblucheniya u naseleniya prefektury Fukusima vsledstvie avarii na AES Fukusima-Dayichi [Internal radiation doses in population of Fukushima due to the accident in Fukushima-Daiichi nuclear power station] // Radiation Hygiene. 2010. Vol. 14. No. 3. Pp. 98–109. DOI: 10.21514/1998-426X-2020-13-3-98-109. (In Russian.)
12. Mikailova R.A., Nushtaeva V.E., Spiridonov S.I., Karpenko E.I., Krechetnikov V.V. Estimation and prediction of the population irradiation dose in the vicinity of npp with VVER-1200 // Atomic Energy. 2019. Vol. 127. No. 1. Pp. 56-59 DOI: 10.1007/s10512-019-00584-4.
13. Perevolotskaya T. V., Perevolotskii A. N., Kurachenko Yu. A. Methods of calculating the  $\gamma$ -radiation absorbed dose rate in case of radioactive contamination of meadow biogeocenoses // Atomic Energy. 2020. Vol. 128. No. 2. Pp. 104–114. DOI: 10.1007/s10512-020-00658-8.
14. Perevolotskiy A. N., Perevolotskaya T. V., Spiridonov S. I. Kontseptual'nye polozheniya dozimetricheskoy modeli oblucheniya rasteniy biogeotsenozov pri khronicheskikh radioaktivnykh vypadeniyakh [Concepts of dosimetry model of ecosystem plants radiation under chronic radioactive fallout] // Radiation Biology. Radioecology. 2019. Vol. 59. No. 1. Pp. 94–102. DOI: 10.1134/S08698031190110089. (In Russian.)
15. Lamzina M. G., Zen'kin A. S. Formirovanie pogloshchennykh doz pri vneshnem i vnutrennem obluchenii korov [Absorbed doses formation under external and internal radiation in cattle] // Scientific Notes Kazan Bauman State Academy of Veterinary Medicine. 2010. Vol. 202. Pp. 116–123. (In Russian.)
16. Averin V. S. Formirovanie pogloshchennykh doz u krupnogo rogatogo skota ot vneshnego i vnutrennego oblucheniya v usloviyakh pastbishchnogo soderzhaniya na zagryaznennoy radionuklidami territorii [Absorbed doses formation in cattle with external and internal radiation under pasture housing on the contaminated with radionuclides territory] // Vesnik Mazyrskaga Dzyarzhavnaga Pedagogichnaga Wniversiteta im. I. P. Shamyakina. 2015. No. 1 (45). Pp. 3–9.
17. Gulakov A. V., Drozdov. D. N. Otsenka pogloshchennoy dozy vnutrennego oblucheniya krupnykh mlekopitayushchikh, obitayushchikh na territorii radioaktivnogo zagryazneniya [Absorbed dose evaluation of internal radiation of large mammals inhabiting the territory of radiation contamination]. Radioekologicheskie posledstviya radiatsionnykh avariyy – k 35-y godovshchine avarii na ChAES: sbornik dokladov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Obninsk, 2021. Pp. 65–66. (In Russian.)
18. ICRP Publication 136. Dose coefficients for non-human biota environmentally exposed to radiation. 2017. Vol. 46. No. 2. 139 p.
19. ICRP Publication 89. Basic Anatomical and Physiological Data for Use in Radiological Protection: Reference Values. 2002. Vol. 32. No. 3-4. 282 p.
20. Publikatsiya 103 Mezhdunarodnoy Komissii po radiatsionnoy zashchite (MKRZ) [ICRP International Commission on Radiological Protection (ICRP) Publication 103] (Russian ed.: M. F. Kiselev, N. K. Shandala). Moscow, OOPKF "Alana". 2009. 344 p.
21. Beaugelin-Seiller K., Garnier-Laplace J., Gariel J. C., Jasserand F. E. D. E. N. A tool for the estimation of dose coefficients for non-human biota // Radioprotection. 2005. Vol. 40. No. 1. Pp. 921–926.

22. Howard B. J., Beresford N. A., Coppleson D., et al. The IAEA handbook on radionuclide transfer to wildlife // Journal of Environmental Radioactivity. 2013. Vol. 121. Pp. 55–74.
23. Yu C., et al. User's Manual for RESRAD-OFFSITE. Version 2, ANL/EVS/TM/07-1. Argonne: Argonne National Laboratory, 2007. 544 p.
24. Panchenko S. V., Blokhin P. A., Kizub P. A., Gavrulina E. A. Podkhody k otsenke doz vneshnego oblucheniya razlichnykh vidov bioty [Approaches to evaluation of external radiation doses of biota's different types] // Radiation Biology. Radioecology. 2019. Vol. 59. No. 1. Pp. 75–81. DOI: 10.1134/S0869803119010077. (In Russian.)
25. Titov A. V., Shandala N. K., Seregin V. A., Filonova A. A., Semenova M. P., Doron'eva T. A. Obespechenie radiatsionnoy bezopasnosti bioob'ektov pri reabilitatsii territoriy, zagryaznennykh  $^{90}\text{Sr}$  i  $^{137}\text{Cs}$  [Radiation safety of bio objects during rehabilitation of the territories contaminated with  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{137}\text{Cs}$ ] // Radiation and Risk. 2018. Vol. 28. No. 1. Pp. 82–91. DOI: 10.21870/0131-3878-2019-28-1-82-91. (In Russian.)
26. Rakitskiy V. N., Bondareva L. G., Fedorova N. E. Raschet dozy oblucheniya dlya nekotorykh komponentov pishchevoy tsepochny presnovodnoy ekosistemy reki Enisey v period deyatel'nosti predpriyatiya yaderno-toplivnogo tsikla – Gorno-khimicheskogo kombinata, g. Krasnoyarsk [Radiation dose calculation for some components of food chain in freshwater ecosystems of the Enisey river during nuclear-fuel cycle of the Mining and Chemical Combine, Krasnoyarsk] // Radiation Hygiene. 2018. Vol. 11. No. 3. Pp. 22–29. DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-3-22-29. (In Russian.)
27. Modeling radiation exposure and radionuclide transfer for non-human species: Report of the Biota Working Group of EMRAS. Theme 3. Viena: IAEA, 2010. 244 p.
28. Spirin E. V. Metod rascheta doz oblucheniya zhivotnykh dlya otsenki posledstviy zagryazneniya okruzhayushchey sredy [Calculation method of radiation doses in animals for evaluation of effects of environment contamination] // Radiation Biology. Radioecology. 2019. Vol. 49. No. 5. Pp. 608–616. (In Russian)
29. VP 13.73.13/12-00 “Veterinarnye pravila obespecheniya radiatsionnoy bezopasnosti zhivotnykh i produktsii zhivotnogo proiskhozhdeniya. Otsenka doz oblucheniya sel'skokhozyaystvennykh zhivotnykh na territorii, zagryaznennoy radionuklidami” [VR 13.73.13/12-00 “Veterinarian rules of ensuring radiation security of cattle and animal production. Radiation doses evaluation of the cattle on the contaminated with radionuclides territory”]. Moscow: VNIISKhRAE, 2000. 17 p. (In Russian.)
30. VP 13.5.13/03-00 “Veterinarnye pravila obespecheniya radiatsionnoy bezopasnosti zhivotnykh i produktsii zhivotnogo proiskhozhdeniya. Organizatsiya gosudarstvennogo veterinarnogo radiologicheskogo monitoringa ob'ektov veterinarnogo nadzora v zone vozdeystviya radiatsionno-opasnykh ob'ektov” [VR 13.5.13/03-00 “Veterinarian rules of ensuring radiation security of cattle and animal production. The organization of state veterinarian radiological monitoring of veterinarian objects in the radiation hazardous facilities zone”]. Moscow: VNIISKhRAE, 2001. 36 p. (In Russian.)
31. MU 13.5.13-00 “Organizatsiya gosudarstvennogo radioekologicheskogo monitoringa agroekosistem v zone vozdeystviya radiatsionno-opasnykh ob'ektov”: metodicheskie ukazaniya Ministerstva sel'skogo khozyaystva i prodovol'stviya RF ot 7 avgusta 2000 g. [MI 13.5.13-00 “State radio ecological monitoring conducting of agro ecosystems in radiation hazardous facilities zone”: methodological instructions of Ministry of Agriculture and Food in RF, August, 7, 2000] [e-resource]. Unpublished. Access from the legal reference system “ConsultantPlus”. (In Russian.)
32. O sisteme gosudarstvennogo veterinarnogo kontrolya radioaktivnogo zagryazneniya ob'ektov veterinarnogo nadzora v Rossiyskoy Federatsii: polozhenie Ministerstva sel'skogo khozyaystva i prodovol'stviya RF ot 20 fevralya 1998 g. (utverzhdeno glavnym gosudarstvennym veterinarnym inspektorom RF 12.02.1998) [On the system of State Veterinary control of radioactive contamination of veterinary Surveillance Facilities in the Russian Federation: Regulations of the Ministry of Agriculture and Food of the Russian Federation dated February 20, 1998 (approved by the Chief State Veterinary Inspector of the Russian Federation on 12.02.1998)] [e-resource]. Access from the legal reference system Consultant Plus. Unpublished. (In Russian.)

#### Authors' information:

Arina S. Fedotova<sup>1</sup>, candidate of biological sciences, associate professor of the department “Internal non-infectious diseases, obstetrics and physiology of agricultural animals”, ORCID 0000-0003-1630-2444, AuthorID 708584; +7 902 947-77-56, [krasfas@mail.ru](mailto:krasfas@mail.ru)

<sup>1</sup> Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia