

Арина Сергеевна Федотова<sup>1✉</sup>, Александр Алексеевич Жигарев<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

<sup>1</sup>krasfas@mail.ru

<sup>2</sup>Zhigarev98@mail.ru

### ВЛИЯНИЕ МАЛЫХ ДОЗ ТРИТИЯ НА ПОКАЗАТЕЛИ ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ КРОВИ КРОЛИКОВ

*Цель исследования – определить изменения клинического состояния животных, гематологических показателей, фагоцитарной активности клеток периферической крови при воздействии трития в субклинических дозах на организм кроликов. Приведена характеристика трития, описаны источники техногенного трития, влияние трития на организм животных. Согласно литературным данным, ионизирующее излучение в малых дозах положительно влияет на иммунную систему, продолжительность жизни кроликов, ускоряет рост и наступление физиологической зрелости организма, улучшает состояние здоровья потомства. Исследование выполнено на кафедре внутренних незаразных болезней, акушерства и физиологии сельскохозяйственных животных и зоофермы Института прикладной биотехнологии и ветеринарной медицины на кроликах калифорнийской породы. У животных для исследования сформированы поглощенные дозы тритиевого воздействия от 0,98 до 356 мГр. Кроликов подвергали клиническому осмотру, отбирали пробы крови с последующим определением гематологических показателей, определением лейкоцитарного профиля и фагоцитарной активности клеток периферической крови. В результате выполненной работы выделен диапазон доз 31,9–92,6 тритиевого воздействия, в этих значениях установлен наибольший радиобиологический эффект. Воздействие малых доз трития изменяло клинические показатели кроликов, у животных регистрировалось учащенное дыхание, увеличение частоты сердечных сокращений. Воздействие малых доз радиации вызвало эритроцитоз, лимфоцитоз, что говорит об активации гемопоэза в организме кроликов. В периферической крови кроликов при воздействии трития в дозах до 355 мГр регистрировались юные формы нейтрофилов, снижалось количество сегментоядерных нейтрофилов, уменьшался фагоцитарный индекс, что является негативным фактором тритиевого воздействия.*

**Ключевые слова:** радиация, малые поглощенные дозы, тритий, периферическая кровь, кролики

**Для цитирования:** Федотова А.С., Жигарев А.А. Влияние малых доз трития на показатели периферической крови кроликов // Вестник КрасГАУ. 2026. № 2. С. 111–120. DOI: 10.36718/1819-4036-2026-2-111-120.

Arina Sergeevna Fedotova<sup>1✉</sup>, Alexander Alekseevich Zhigarev<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia

<sup>1</sup>krasfas@mail.ru

<sup>2</sup>Zhigarev98@mail.ru

### EFFECT OF TRITIUM LOW DOSES ON PERIPHERAL BLOOD INDICATORS IN RABBITS

*The objective of this study is to determine changes in the clinical condition of animals, hematological parameters, and phagocytic activity of peripheral blood cells upon exposure to subclinical doses of tritium in rabbits. The characteristics of tritium, sources of man-made tritium, and the effects of tritium on animals are described. According to published data, low-dose ionizing radiation has a positive effect on the immune system and lifespan of rabbits, accelerates growth and the onset of physiological maturity, and im-*

*proves the health of offspring. The study was conducted at the Department of Internal Non-Communicable Diseases, Obstetrics, and Physiology of Farm Animals and the Animal Farm of the Institute of Applied Biotechnology and Veterinary Medicine on Californian rabbits. The animals absorbed tritium doses ranging from 0.98 to 356 mGy. The rabbits were subjected to a clinical examination, blood samples were taken, followed by determination of hematological parameters, determination of the leukocyte profile and phagocytic activity of peripheral blood cells. The study identified a dose range of 31.9–92.6 mGy for tritium exposure, with the greatest radiobiological effect observed. Exposure to low doses of tritium altered the clinical parameters of rabbits, including increased respiratory rate and heart rate. Exposure to low doses of radiation caused erythrocytosis and lymphocytosis, indicating activation of hematopoiesis in the rabbits. In the peripheral blood of rabbits exposed to tritium at doses up to 355 mGy, juvenile neutrophils were detected, the number of segmented neutrophils went down, and the phagocytic index decreased, all of which are negative factors associated with tritium exposure.*

**Keywords:** radiation, low absorbed doses, tritium, peripheral blood, rabbits

**For citation:** Fedotova AS, Zhigarev AA. Effect of tritium low doses on peripheral blood indicators in rabbits. *Bulletin of KSAU*. 2026;(2):111-120. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2026-2-111-120.

**Введение.** Увеличение радиационного фона биосферы с конца прошлого века обусловлено увеличением количества природных радионуклидов (активная добыча урано-радиевых руд для нужд АЭС) и техногенных изотопов (аварийные ситуации на предприятиях ядерно-топливного цикла, функционирование АЭС). Добыча руды, содержащей естественные радионуклиды, переработка, обогащение урана, производство мокс-топлива, наличие территорий, загрязненных техногенными радионуклидами, способствовали увеличению содержания техногенных изотопов в агробиоценозах [1].

Тритий ( $^3\text{H}$ ) – один из дозообразующих радионуклидов, радиоактивный изотоп водорода, ядро состоит из протона и двух нейтронов,  $T_{1/2} = 12,32$  года, бета-излучатель, доступная энергия распада – 18,59 кэВ, средняя энергия электронов – 5,7 кэВ [2, 3]. В биосфере присутствует в виде естественного и антропогенного изотопов. В природе  $^3\text{H}$  образуется в верхних слоях атмосферы в результате взаимодействия протонов и нейтронов вторичного космического излучения с атомами атмосферы: N, O<sub>2</sub>, Ar [4]. Промышленный тритий получают облучением изотопов  $^6\text{Li}$  нейтронами в ядерных реакторах, в атомных реакторах тритий образуется при тройном делении урана, при использовании урана как топлива  $^3\text{H}$  выступает сопутствующим продуктом. Тритий образуется в результате реакций с теплоносителями, компонентами системы управления и защиты реактора.  $^3\text{H}$  применяют в качестве топлива в нейтронных генераторах, работа базируется на реакции термоядерного синтеза дейтерия и трития, в результате реакции образуются нейтроны. Согласно нормам Агентства по охране

окружающей среды (США), предельно допустимая концентрация (ПДК)  $^3\text{H}$  составляет 740 Бк/л, в Евросоюзе – 100, в России – 7700 Бк/л [5]. В промышленных газо-аэрозольных выбросах предприятий ядерного топливного цикла  $^3\text{H}$  содержится в основном в 3 соединениях: тритиевая вода (НТО), тритированный водород (НТ) и тритированный метан (СН<sub>3</sub>Т) [6–8]. Эффективный период нахождения НТ и СН<sub>3</sub>Т в атмосфере оценивается в 5–10 лет [9].

Специалисты из ВНИИЭФ и ЗАО «Саровские лаборатории» изучили влияние трития на окружающую среду и биосферу. Авторами проведены исследования радиолиза под действием излучения трития, дисперсии трития в атмосфере, окисления НТ в почве почвенными бактериями, а также усвоения НТО сельскохозяйственными растениями и лишайниками. «В ФМБЦ им А.И. Бурназяна (г. Москва) разрабатывается методология учета биологической опасности трития и его соединений с переходом от оценки соматических нарушений в органах и системах организма к исследованию формирования цитогенетических нарушений, с поиском высокоинформативных и специфичных критериев оценки возникающих трансляционных и посттрансляционных нарушений. С целью совершенствования нормативной базы по радиационной безопасности персонала и населения и пересмотра принципов дозиметрии трития, для подготовки новой редакции Норм радиационной безопасности, осуществляется оценка поступления соединений трития (НТО и органически-связанного трития (ОСТ)) в клетку и их распределение в цитоплазме клетки, ядре и ДНК» [10].

Д.Е. Иминова в своей работе оценивает загрязнение тритием водных объектов.  $^3\text{H}$ , входящий в состав органических веществ, ОСТ, представляет большую опасность, чем НТО, при одинаковом количестве потребления  $^3\text{H}$  [11]. Ученые выяснили, что  $\frac{1}{2}$  НТО выводится из живого организма через 10 дней, а удаление ОСТ – 21–76 дней. ОСТ и НТО проходят трансплацентарный барьер, вызывая облучение плода и развивая патологии плода и нарушение беременности, исследования доказывают, что 1–5 % НТО в организме млекопитающих входит в состав органических молекул [12].

Пиетржак-Флис с коллегами подвергали крыс воздействию постоянной активности трития в питьевой воде (группа НТО) или трития, органически связанного в пище (группа Т-еда), в период от зачатия поколения F1 до достижения зрелости. Средние мощности доз, поглощенных яичниками, для групп НТО –  $(7,25 \pm 0,37)$  и  $(14,73 \pm 0,79)$  мГр / сут, для группы Т-еда –  $(4,84 \pm 0,25)$  мГр/сут. Установлено, что у самок, получавших тритий в корме, сокращается число ооцитов, увеличивается число растущих и крупных ооцитов [13, 14].

Влияние ионизирующего излучения в малых дозах для животных (до 500 мГр) недостаточно изучено, имеются разрозненные мнения о его влиянии на организм. Некоторые ученые считают малые дозы благоприятными для организма, стимулирующими иммунную систему, кроветворную систему, рост и развитие молодняка. Напротив, другие ученые видят в таком излучении нарушение клеточных биоритмов, в частности нарушение ДНК, образование дополнительных АФК, которые могут нарушить антиоксидантную систему организма. Соответственно, необходимо продолжить исследования по изучению влияния малых доз радиации на биологические объекты. В настоящей работе оценено влияние малых доз трития на организм сельскохозяйственных животных [15].

Данная работа – продолжение исследований по оценке субклинических доз ионизирующего излучения на организм сельскохозяйственных животных. Ранее авторами оценены радиобиологические эффекты в периферической крови крупного рогатого скота при действии поглощенных доз 4 и 5 мГр [16], изменение показателей периферической крови овец при действии малых доз ионизирующего излучения [17]. Оценены изменения гематологических, биохимических и иммунологических показателей крови коров при внешнем гамма-облучении *in vitro* в по-

глощенных дозах 100–500 мГр [18]. Определены гематологические, биохимические и иммунологические показатели крови при действии малых поглощенных доз радиации [19].

**Цель исследования** – определить изменения клинического состояния животных, гематологических показателей, фагоцитарной активности клеток периферической крови при действии трития в субклинических дозах на организм кроликов.

**Задачи:** определить клиническое состояние и гематологические показатели (количество лейкоцитов, содержание эритроцитов, гемоглобина), лейкоцитарный профиль и фагоцитарный индекс клеток периферической крови при действии трития в дозах 0,98–356 мГр.

**Объекты и методы.** Эксперимент проведен в 2023 г. на кафедре внутренних незаразных болезней, акушерства и физиологии сельскохозяйственных животных Института прикладной биотехнологии и ветеринарной медицины ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ.

Исследование проведено на кроликах калифорнийской породы (возраст –  $(7,3 \pm 0,3)$  мес., вес –  $(4,45 \pm 0,31)$  кг), для исследования созданы 9 опытных групп (по 10 животных в каждой группе), интактная (контрольная) группа (10 голов). Кроликов всех групп подвергали общему клиническому осмотру, термометрии, аускультации, исследования выполнялись по общепринятой методике. Фагоцитарную активность лейкоцитов крови оценивали *in vitro*, в пробы крови вводили антиген-частицы латекса (ФГУП ВНИИСК, Санкт-Петербург) в концентрации  $5 \cdot 10^8$  част/мл, опсонизированные белками пуловой сыворотки кроликов. Количество фагоцитирующих клеток подсчитывали при окраске 0,25 % р-ра  $\text{C}_{25}\text{H}_{30}\text{ClN}_3$  на основе 3 % р-ра  $\text{CH}_3\text{-COOH}$ . Оценивали активность фагоцитов в камере Горяева микроскопически («Микмед-6») при увеличении  $\times 40$ , подсчитывали 100 фагоцитов.

Кролики интактной группы воду получали из системы водоснабжения г. Красноярска. Для водопоя опытных групп кроликов использовали тритиевую воду, в результате в 9 группах сформированы следующие поглощенные дозы: гр. № 1 (до 2,6 мГр); гр. № 2 (3,3–4,2 мГр); гр. № 3 (6,4–14,0 мГр); гр. № 4 (16,6–21,4 мГр); гр. № 5 (31,9 мГр); гр. № 6 (50,9–52,2 мГр); гр. № 7 (62,3–63,2 мГр); гр. № 8 (92,6 мГр); гр. № 9 (355,7 мГр).

Кроликов подвергали клиническому обследованию, оценивали гематологические показатели. Отбор проб крови из краевой ушной вены

проводили в утренние часы в вакуумные пробирки с натрий-гепарином. Кролики содержались в индивидуальных клетках в условиях зоофермы, рацион кормления, система содержания кроликов всех групп не отличались.

**Результаты и их обсуждение.** Ионизирующее излучение влияет на общее состояние организма, кожные покровы, слизистые оболочки и др. Кролики опытных групп и интактной группы подвергались клиническому обследованию. Физиологические показатели кроликов интактной группы находились в пределах физиологической нормы: температура тела –  $(38 \pm 0,32)$  °С; частота дыхания –  $(43 \pm 4,3)$  раза/мин; частота сердечных сокращений –  $(173,0 \pm 8,4)$  уд/мин; масса –  $(4,45 \pm 0,31)$  кг; упитанность – средняя; состояние тела – расслабленное; телосложение – правильное, пропорциональное; костяк – крепкий; кожа – эластичная, чистая; волосяной покров – блестящий, без повреждений, гладкий, густой, хорошо удерживается. Реакция на внешнее раздражение – адекватная; зрачки – подвижные, блестящие, увлажненные; нос – мягкий, эластичный, теплый, слегка влажный; слизистая оболочка носа – розовая; волосы вокруг носовых ходов сухие; уши – чистые, безболезненные, без повреждений; зубы – желтоватые, целые, прикус правильный; перкуссия придаточных пазух носа – ясный коробочный звук (экссудата нет); слизистые оболочки ротовой полости – бледно-розовые, влажные, без повреждений; гортань и трахея – безболезненные; легкие – чистые, без хрипов, тип дыхания – грудно-брюшной, дыхание – ритмичное, легочный звук – ясный, брюшная стенка безболезненна. Лимфатические узлы – безболезненные,

округло-овальные, подвижные, эластичные, без повышения местной температуры.

У кроликов опытных групп отмечены следующие изменения клинических показателей: учащенное дыхание –  $(59,4 \pm 3,3)$  раза/мин, увеличение частоты сердечных сокращений –  $(225,0 \pm 7,4)$  уд/мин, однако значения этих показателей находилось в одном диапазоне изменчивости и статистически не отличалось от значений интактного контроля.

Кровь в живом организме является самым точным маркером здоровья, так как по кровотоку разносятся все питательные вещества, снабжающие органы для их полноценного функционирования; кислород, питающий такие важные органы, как головной мозг, сердце и легкие. При различных заболеваниях, влиянии радиации, стрессе и других факторах изменяется морфологический состав крови.

Воздействие малых доз  $^3\text{H}$  на организм кроликов изменяло ряд гематологических показателей: содержание эритроцитов, лейкоцитов, лейкоцитарный профиль. Динамика изменения количества лейкоцитов при действии субклинических доз трития имела нестабильный характер (табл. 1). При дозах до 16,64 мГр количество лейкоцитов не изменялось относительно данных контроля. Установлено достоверное увеличение содержания лейкоцитов в группе № 4 (16,64 мГр) – на  $3,92 \cdot 10^9/\text{л}$  ( $P < 0,001$ ); в группе № 6 (50,9–52,2 мГр) –  $2,21 \cdot 10^9/\text{л}$  ( $P < 0,05$ ); в группе № 7 (62,3–63,2 мГр) – на  $2,76 \cdot 10^9/\text{л}$  ( $P < 0,01$ ) относительно данных контрольной группы. Увеличение дозы (92,60–355,6 мГр) не приводило к росту количества лейкоцитов (табл. 1).

Таблица 1

**Гематологические показатели при действии трития**  
**Hematological indices under the influence of tritium**

Группа (поглощенная доза)	Лейкоциты, $10^9/\text{л}$	Эритроциты, $10^{12}/\text{л}$	Гемоглобин, г/л
1	2	3	4
Рефер. значения	5,9–9,0	5–7,5	100–125
Инт. конт. № 1, n = 9	8,78±0,95	5,83±0,27	128,44±2,39
№ 1 (до 2,6 мгр), n = 98	9,85±0,31	6,57±0,16*	134,37±1,97
№ 2 (3,3–4,2 мгр), n = 20	9,23±0,60	7,96±0,25 ***	135,48±2,40*
№ 3 (6,4–14,0 мгр), n = 32	10,17±0,78	7,45±0,34***	132,84±2,79
Инт. конт. № 2, n = 3	8,69±0,48	6,35±0,24	121,87±1,63
№ 4 (16,6–21,4 мгр), n = 12	12,70±0,81***	6,53±0,47	135,41±3,89**
№ 5 (31,9 мгр), n = 8	8,28±0,66	8,72±0,29***	120,15±6,60
Инт. конт. № 3, n = 14	6,04±0,39	5,61±0,25	114,5±2,56
№ 6 (50,9–52,2 мгр), n = 15	8,25±0,95*	7,90±0,36***	158,67±6,26***

1	2	3	4
№ 7 (62,3–63,2 мгр), n = 15	8,8±0,92 **	7,99±0,47***	153,49±4,61***
№ 8 (92,6 мгр), n = 8	8,13±2,87	9,42±0,34***	117,78±3,92
№ 9 (355,7 мгр), n = 5	7,73±0,99	6,78±0,50	120,00±3,55

Здесь и далее: \* –  $P \leq 0,05$ , \*\* –  $P \leq 0,01$ ; \*\*\* –  $P \leq 0,001$  по отношению к контролю.

Изменения количества эритроцитов при действии малых доз трития имели изменчивый характер (см. табл. 1). Установлено достоверное увеличение содержания эритроцитов в группе № 1 (поглощенная доза до 2,61 мгр) – на  $0,74 \cdot 10^{12}/л$  ( $P < 0,05$ ); в группе № 2 (3,3–4,2 мгр) –  $2,13 \cdot 10^{12}/л$  ( $P < 0,001$ ), в группе № 3 (3,3–4,2 мгр) – на  $1,62 \cdot 10^{12}/л$  ( $P < 0,001$ ) относительно контроля. Увеличение дозы в диапазоне 16,6–21,4 мгр не потенцировало рост содержания эритроцитов. Достоверное ( $P < 0,001$ ) увеличение количества эритроцитов установлено в группах № 5 (31,9 мгр) – на  $2,37 \cdot 10^{12}/л$ ; № 6 (50,9–52,2 мгр) –  $2,29 \cdot 10^{12}/л$ ; № 7 (62,3–63,2 мгр) –  $2,38 \cdot 10^{12}/л$ ; № 8 (92,6 мгр) – на  $3,81 \cdot 10^{12}/л$  относительно данных контроля. При дозе 355,6 мгр не зарегистрировано повышения содержания эритроцитов.

Уровень гемоглобина при тритиевом воздействии имел непостоянный характер. Выявлено увеличение содержания гемоглобина в группе № 2 (3,26–4,20 мгр) – на 7,04 г/л ( $P < 0,05$ ); в группе № 4 (16,64–21,4 мгр) – на 13,54 ( $P < 0,05$ ); в группе № 6 (50,9–52,2 мгр) – на 44,17; в группе № 7 (62,3–63,2 мгр) – на 38,99 г/л относительно данных контроля. Увеличение дозы (92,60–355,6 мгр) не приводило к росту гемоглобина (см. табл. 1).

Увеличение количества форменных элементов крови обязано активации изотопами  $^3H$  гемопоза в красном костном мозге.

При изучении лейкоцитарной формулы было выявлено, что изменения в морфологическом составе крови регистрировались с дозы 16,64 мгр. Контрольные значения объединены, так как они находились в одном доверительном интервале (табл. 2).

При поглощенных дозах до 2,61 мгр (группа № 1) в лейкоцитарном профиле отмечалось появление юных форм нейтрофилов, количество юных форм увеличивалось ( $P \leq 0,001$ ) по сравнению с контрольной группой на 1,44 %. Количество сегментоядерных нейтрофилов в группе № 1 снижалось на 7,37 % ( $P \leq 0,001$ ). Появление юных форм лейкоцитов свидетель-

ствует о стимулирующем действии трития на органы гемопоза. В группе № 1 установлено увеличение количества лимфоцитов в 1,12 раза ( $P \leq 0,001$ ) (табл. 2).

В лейкоцитарном профиле периферической крови в группе № 2 (3,3–4,2 мгр), аналогично группе № 1, регистрировались юные формы нейтрофилов, количество юных форм превышало данные контрольной группы на 1,71 % ( $P \leq 0,001$ ). В группе № 2 впервые регистрировалось снижение количества палочкоядерных нейтрофилов в 1,18 раза ( $P \leq 0,01$ ). Количество сегментоядерных нейтрофилов в этой группе, аналогично группе № 1, снижалось в 1,3 раза ( $P \leq 0,001$ ). Количество моноцитов снижалось в 1,34 раза ( $P \leq 0,05$ ). Аналогично группе № 1 увеличивалось в 1,17 раза количество лимфоцитов ( $P \leq 0,001$ ).

В группе № 3 (6,4–14,0 мгр) в лейкоцитарном профиле периферической крови отмечалось появление юных форм нейтрофилов, количество юных форм увеличивалось на 2,06 % ( $P \leq 0,001$ ) относительно контрольной группы. В лейкоцитарной формуле выявлено снижение в 1,11 раза ( $P \leq 0,05$ ) количества палочкоядерных и в 1,54 раза сегментоядерных нейтрофилов ( $P \leq 0,001$ ). При дозах 6,4–14,0 мгр снижалось в 1,68 раза ( $P \leq 0,05$ ) количество базофилов. Количество моноцитов снижалось в 1,33 раза ( $P \leq 0,05$ ). Аналогично группе № 2 увеличивалось в 1,25 раза количество лимфоцитов ( $P \leq 0,001$ ) (см. табл. 2).

В группе № 4 (16,0–21,4 мгр) в лейкоцитарном профиле отмечались юные формы нейтрофилов, количество превышало контрольную группу на 2,67 % ( $P \leq 0,001$ ). Количество палочкоядерных нейтрофилов снизилось в 1,15 раза ( $P \leq 0,05$ ), сегментоядерных – в 1,58 раза ( $P \leq 0,001$ ). При этом выявлено снижение количества эозинофилов в 1,44 раза (0,41 %) ( $P \leq 0,05$ ), количество базофилов – в 1,92 ( $P \leq 0,05$ ), количества моноцитов – в 2,35 ( $P \leq 0,001$ ) и увеличивалось в 1,27 раза ( $P \leq 0,001$ ) содержание лимфоцитов (см. табл. 2).

Таблица 2

**Лейкоцитарный профиль крови кроликов при воздействии малых доз трития**  
**Leukocyte profile of rabbit blood exposed to low doses of tritium**

Группа	Нейтрофилы			Эозинофилы	Базофилы	Моноциты	Лимфоциты
	Юные	Палочкоядерные	Сегментоядерные				
Референсные значения	0	5–9	33–39	1–3	0–2	1–3	43–62
Интакт. конт.	0	6,59±0,26	38,26±1,25	1,33±0,15	0,96±0,15	1,67±0,13	51,19±1,22
№ 1	1,44±0,12***	6,20±0,13	30,89±0,37***	1,50±0,07	0,86±0,06	1,55±0,07	57,48±0,39***
№ 2	1,71±0,2***	5,57±0,23 **	29,50±0,45 ***	1,58±0,13	0,67±0,13	1,25±0,12*	59,96±0,56***
№ 3	2,06±0,17***	5,92±0,11*	24,80±0,66***	1,14±0,10	0,57±0,09*	1,26±0,10*	64,24±0,62***
№ 4	2,67±0,20***	5,75±0,29*	24,29±0,62***	0,92±0,11*	0,50±0,12*	0,71±0,15***	65,17±0,71***
№ 5	2,63±0,26***	7,25±0,37	25,63±0,56***	1,25±0,16	0,88±0,30	0,75±0,15 ***	61,63±0,56***
№ 6	3,87±0,39***	7,00±0,61	16,73±1,58***	0,87±0,12*	0,47±0,17*	0,53±0,13***	70,47±1,73***
№ 7	4,47±0,27 ***	11,52±0,28***	12,87±1,16***	1,13±0,17	0,83±0,14	1,70±0,13	67,48±1,07***
№ 8	4,63±0,38 ***	11,00±0,38***	16,63±1,95***	0,50±0,19**	0,50±0,19	0,63±0,18 ***	66,13±1,88***
№ 9	5,00±0,29***	12,75±0,34***	7,25±1,43***	1,25±0,18	1,00±0,41	0,50±0,20***	72,25±1,37***

В группе № 5 (31,9 мГр) в лейкоцитарной формуле установлено статистически значимое увеличение на 2,63 % юных форм ( $P \leq 0,001$ ) и в 1,49 раза сегментоядерных нейтрофилов ( $P \leq 0,001$ ) относительно контроля. В этой группе определено снижение в 2,23 раза количества моноцитов ( $P \leq 0,001$ ) с одновременным увеличением в 1,2 раза количества лимфоцитов ( $P \leq 0,001$ ).

В лейкоцитарном профиле периферической крови в группе № 6 (50,9–52,2 мГр) отмечено увеличение на 3,87 % юных форм нейтрофилов ( $P \leq 0,001$ ) с одновременным снижением в 2,29 раза (на 21,53 %) количества сегментоядерных клеток ( $P \leq 0,001$ ) относительно контрольной группы.

При этом выявлено снижение в 1,53 раза (0,46 %) количества эозинофилов ( $P \leq 0,05$ ). Количество базофилов снижалось в 2,04 раза (на 0,49 %) ( $P \leq 0,05$ ). В этой группе определено снижение в 3,15 раза количества моноцитов ( $P \leq 0,001$ ); зафиксировано увеличение в 1,38 раза (на 19,28 %) количества лимфоцитов ( $P \leq 0,001$ ).

В группе № 7 (62,3–63,2 мГр) отмечалось увеличение содержания на 4,47 % юных форм нейтрофилов ( $P \leq 0,001$ ) и в 1,75 раза ( $P \leq 0,001$ ) количества палочкоядерных нейтрофилов, но снижение в 2,97 раза (на 25,39 %) сегментоядерных нейтрофилов ( $P \leq 0,001$ ). При этом определено увеличение в 1,32 раза (на 16,29 %) количества лимфоцитов ( $P \leq 0,001$ ) по сравнению с контрольной группой.

В лейкоцитарной формуле периферической крови в группе № 8 (92,6 мГр) выявлено увеличение на 4,63 % юных форм нейтрофилов ( $P \leq 0,001$ ) и в 1,67 раза ( $P \leq 0,001$ ) количества палочкоядерных нейтрофилов при одновременном снижении в 2,3 раза (на 21,63 %) сегментоядерных нейтрофилов ( $P \leq 0,001$ ). В этой группе установлено снижение в 2,66 раза (на 0,83 %) содержания эозинофилов ( $P \leq 0,01$ ) и в 2,65 раза количества моноцитов ( $P \leq 0,001$ ), зафиксировано увеличение в 1,29 раза (на 14,94 %) количества лимфоцитов ( $P \leq 0,001$ ) (см. табл. 2).

В группе № 9 (355,6 мГр) в лейкоцитарном профиле возросло содержание юных форм нейтрофилов на 5,0 % ( $P \leq 0,001$ ) и в 1,93 раза (на 6,16 %) ( $P \leq 0,001$ ) количество палочкоядерных нейтрофилов. Снижалось количество сегментоядерных нейтрофилов в 5,28 раза ( $P \leq 0,001$ ). В группе № 9 содержание моноцитов уменьшалось в 3,34 раза ( $P \leq 0,001$ ) и увеличивалось количество лимфоцитов на 21,06 % ( $P \leq 0,001$ ) относительно контрольных данных.

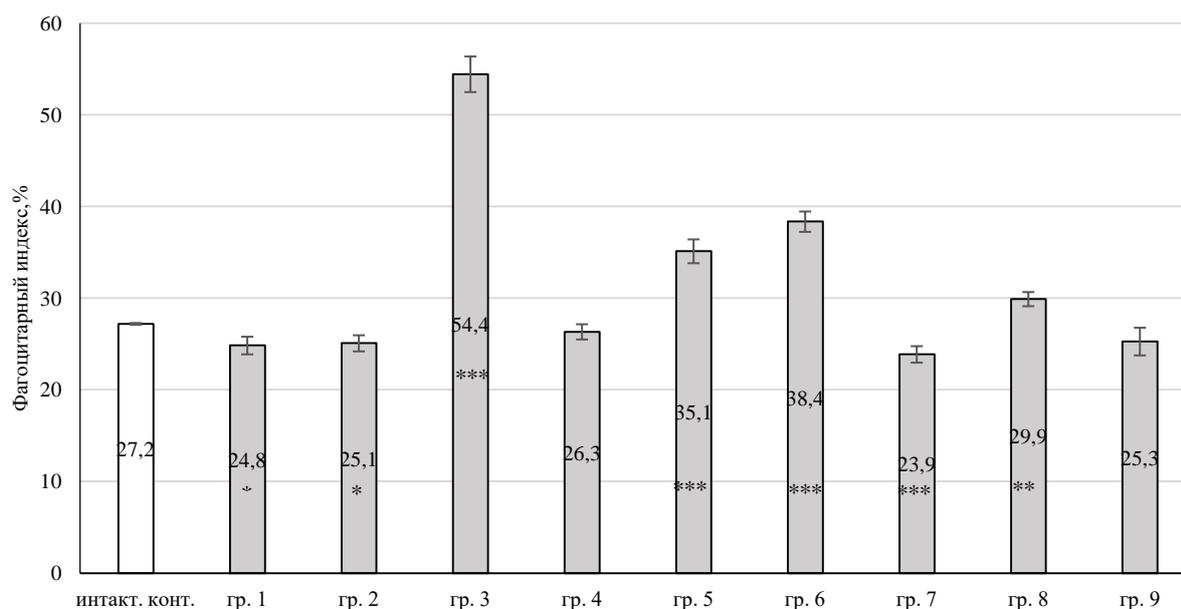
Таким образом, малые дозы трития у кроликов формируют характерные изменения в лейкоцитарном профиле крови. Действие трития на организм кроликов в дозе до 355,6 мГр в периферической крови вызывает образование юных форм нейтрофилов, снижает количество сегментоядерных нейтрофилов, вызывает эритроцитоз, лимфоцитоз, что говорит об активации гемопоэза в красном костном мозге.

Иммунологическим методом установлено изменение фагоцитарного индекса (ФИ) при воздействии низких доз трития, ФИ отражает фагоцитарную активность клеток крови. Изменения фагоцитарной активности клеток периферической крови носили нестабильный флюктуирующий характер и имели дозозависимость аналогично гематологическим показателям.

В первой и второй опытных группах установлено заметное достоверное снижение фагоцитарной активности клеток крови: в группе № 1 фагоцитарный индекс снизился в 1,1 раза ( $P \leq 0,05$ ), группе № 2 – в 1,08 раза ( $P \leq 0,05$ ) относительно интактного контроля (рис.).

Выявлено значительное увеличение ФИ в группе № 3 (6,4–14,0 мГр) в 2 раза ( $P \leq 0,001$ ) относительно контроля. В группе № 4 (16,6–21,4 мГр) ФИ клеток крови находился в диапазоне контрольных значений. С дозы 31,9 мГр (группа № 5) регистрируется увеличение ФИ, в этой группе он увеличился в 1,29 раза ( $P \leq 0,001$ ), в группе № 6 (поглощенная доза 50,9–52,2 мГр) – в 1,41 раза ( $P \leq 0,001$ ) относительно данных интактного контроля.

В группе № 7 (62,3–63,2 мГр) наблюдалось резкое снижение фагоцитарного индекса – в 1,14 раза ( $P \leq 0,001$ ) относительно контрольных значений. В группе № 8 (92,6 мГр) регистрировалось повышение ФИ в 1,1 раза ( $P \leq 0,01$ ) относительно контрольных значений. Установленная динамика фагоцитарной активности клеток периферической крови кроликов при действии малых доз трития аналогична эффекту нелинейной бимодальной зависимости. Эффект бимодальной филиации предполагает существование промежутка между значениями поглощенных доз, вызывающих повреждения в биологических структурах и иницирующих системы их восстановления. Следовательно, когда системы восстановления организма не функционируют с полной интенсивностью, биоэффект воздействия малых доз нарастает с увеличением дозы, после, по мере усиления процессов восстановления, эффект сохраняется или снижается.



*Фагоцитарный индекс периферической крови кроликов при действии трития:*

*\*  $P < 0,05$ , \*\*  $P < 0,01$ , \*\*\*  $P < 0,001$  по сравнению с интактным контролем*

*Phagocytic index of peripheral blood of rabbits under the influence of tritium:*

*\*  $P < 0.05$ , \*\*  $P < 0.01$ , \*\*\*  $P < 0.001$  compared to the intact control*

**Заключение.** Воздействие трития не оказывало значительного влияния на клинические показатели кроликов: температура тела, частота дыхательных движений и число сердечных сокращений находились в пределах нормы для данного вида животных, внешних изменений не выявлено. В результате проведенных исследований можно выделить диапазон поглощенных доз 31,9–92,6 мГр, при действии трития в этом диапазоне в периферической крови регистрируется увеличение гемоглобина, эритроцитоз, лимфоцитоз, сдвиг нейтрофильного ядра влево.

Таким образом, в лейкоцитарном профиле периферической крови кроликов при действии трития в поглощенной дозе до 356 мГр формируются типичные изменения: сдвиг нейтрофильного ядра влево, эритроцитоз, лимфоцитоз, что говорит об активации гемопоэза в красном костном мозге. В периферической крови кроликов при воздействии трития в дозе 63 мГр резко снижался фагоцитарный индекс, что нами определяется как негативный фактор тритиевого влияния.

#### Список источников

1. Уткин С.С. Обоснование решений по долговременной безопасности крупных хранилищ жидких радиоактивных отходов: дис. ... д-ра техн. наук. М., 2016. 220 с.
2. Абрамов А.А., Бадун Г.А. Основы радиохимии и радиозологии. М.; Баку: Филиал Химического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, 2011. 138 с.
3. Агданцева Е.Н., Баранова А.А., Бажукова И.Н. Исследование адаптивной реакции популяции дрожжевых клеток на действие ионизирующего излучения. В сб.: IV Международная молодежная научная конференция. Екатеринбург: УрФУ, 2017. С. 162–163.
4. Агданцева Е.Н. Исследование адаптивной реакции популяции дрожжевых клеток на действие ионизирующего излучения. Екатеринбург: УрФУ, 2016. 36 с.
5. Александров Ю.А. Основы радиационной экологии. Йошкар-Ола: Мар. гос. ун-т, 2007. 268 с.
6. Асаенок И.С., Навоша А.И. Радиационная безопасность. Минск, 2004.
7. Израэль Ю.А., ред. Атлас Восточно-Уральского и Карачаевского радиоактивных следов, включая прогноз до 2047 года. М.: ИГКЭ Росгидромета и РАН; Фонд «Инфосфера» – НИА-Природа, 2013. 140 с.

8. Барчуков В.Г., Кочетков О.А. Формирование современных подходов к оценке радиационной безопасности трития и его соединений. В сб.: VIII Съезд по радиационным исследованиям. М.: Объединенный институт ядерных исследований, 2021. С. 366.
9. Ливанцова С.Ю., Снакин В.В. Техногенный тритий в окружающей среде // Жизнь Земли. 2014. Т. 35-36. С. 261–269. EDN: ZDIPPD.
10. Юхимчук А.А. Тритиевая наука и технологии в России // Химическая промышленность сегодня. 2019. № 3. С. 40–47.
11. Иминова Д.Е. Радиоактивный тритий – загрязнитель водных объектов // Молодой ученый. 2017. № 6.1. С. 29–32.
12. Коротовских О.И. Влияние малых доз ионизирующего излучения на биологические объекты. Екатеринбург, 2020. 63 с.
13. Васянович М.Е. Екидин А.А., Крышев А.И., и др. Облучение населения при поступлении Н-3 И С-14 в атмосферу с выбросами российских АЭС. В сб.: VIII Съезд по радиационным исследованиям, Москва, 12–15 октября 2021 г. Москва: Объединенный институт ядерных исследований, 2021. С. 374.
14. Сазыкина Т.Г., Крышев А.И., Крышев И.И. Моделирование радиоэкологических процессов в окружающей среде. М.: НПО Тайфун, 2022. 638 с.
15. Hong Li, Rong Li, Yaru Yin, et al. Hydrogen-rich water attenuates the radiotoxicity induced by tritium exposure *in vitro* and *in vivo* // Exp Ther Med. 2021. V. 11. P. 34–45.
16. Федотова А.С., Жигарев А.А., Макарская Г.В. Радиобиологические эффекты в периферической крови крупного рогатого скота при поглощенных дозах 4 и 5 мГр // Ученые записки учреждения образования «Витебская ордена «Знак почета» Государственная академия ветеринарной медицины». 2022. Т. 58, вып. 3. С. 65–73. DOI: 10.52368/2078-0109-2022-58-3-65-73.
17. Федотова А.С. Изменение показателей периферической крови овец при действии малых доз ионизирующего излучения // Вестник РГАТУ. 2022. Т. 14, № 4. С. 83–89. DOI: 10.36508/RSA-TU.2022.19.47.012.
18. Федотова А.С., Турицына Е.Г. Изменение гематологических, биохимических и иммунологических показателей крови коров при внешнем гамма-облучении «*in vitro*» в дозах 100–500 мГр // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2023. Т. 15, № 4. С. 77–89. DOI: 10.36508/RSATU.2023.85.53.011.
19. Федотова А.С., Турицына Е.Г. Гематологические, биохимические и иммунологические показатели крови при действии малых поглощенных доз радиации // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2024. Т. 16, № 2. С. 90–99. DOI: 0.36508/RSATU.2024.46.75.012.

## References

1. Utkin SS. *Obosnovanie reshenij po dolgovremennoj bezopasnosti krupnyh hranilishh zhidkih radioaktivnyh othodov* [dissertation]. Moscow; 2016. 220 p.
2. Abramov AA, Badun GA. *Osnovy radiohimii i radiojologii*. Moscow; Baku: Filial Himicheskogo fakul'teta MGU im. M.V. Lomonosova; 2011. 138 p.
3. Agdanceva EN, Baranova AA, Bazhukova IN. Issledovanie adaptivnoj reakcii populjacji drozhzhevyh kletok na dejstvie ionizirujushhego izluchenija. In: *IV Mezhdunarodnaya molodezhnaya nauchnaya konferenciya*. Ekaterinburg: UrFU; 2017. P. 162–163.
4. Agdanceva EN. *Issledovanie adaptivnoj reakcii populjacji drozhzhevyh kletok na dejstvie ionizirujushhego izluchenija*. Ekaterinburg: UrFU; 2016. 36 p.
5. Aleksandrov JuA. *Osnovy radiacionnoj jekologii: uchebnoe posobie*. Joshkar-Ola: Mar. gos. un-t; 2007. 268 p.
6. Asaenok IS, Navosha AI. *Radiacionnaja bezopasnost'*. Minsk; 2004.
7. Izrajel JuA, editor. *Atlas Vostochno-Ural'skogo i Karachaevskogo radioaktivnyh sledov, vkljuchaja prognoz do 2047 goda*. Moscow: Infosfera – NIA-Priroda; 2013. 140 p.

8. Barchukov VG, Kochetkov OA. Formirovanie sovremennyh podhodov k ocenke radiacionnoj bezopasnosti tritija i ego soedinenij. In: *VIII S`ezd po radiacionnym issledovanijam*. Moskva: Ob`edinennyj institut jadernyh issledovanij; 2021. P. 366.
9. Livancova SJu, Snakin VV. Tehnogennyj tritij v okruzhajushhej srede. *Zhizn' Zemli*. 2014;35-36:261-269. EDN: ZDIPPD.
10. Juhimchuk AA. Tritievaja nauka i tehnologii v Rossii. *Himicheskaja promyshlennost' segodnja*. 2019;3:40-47.
11. Iminova DE. Radioaktivnyj tritij – zagraznitel' vodnyh ob`ektov. *Molodoj uchenyj*. 2017;6.1:29-32.
12. Korotovskih OI. *Vlijanie malyh doz ionizirujushhego izluchenija na biologicheskie ob`ekty*. Ekaterinburg; 2020. 63 p.
13. Vasjanovich ME, Ekidin AA, Kryshev AI, et al. Obluchenie naselenija pri postuplenii H-3 I S-14 v atmosferu s vybrosami rossijskih AJeS. In: *VIII S`ezd po radiacionnym issledovanijam*, Moskva, 12–15 Oct 2021. Moskva: Ob`edinennyj institut jadernyh issledovanij; 2021. P. 374.
14. Sazykina TG, Kryshev AI, Kryshev II. *Modelirovanie radiojekologicheskikh processov v okruzhajushhej srede*. Moscow: Tajfun; 2022. 638 p.
15. Hong L, Rong L, Yaru Y, et al. Hydrogen-rich water attenuates the radiotoxicity induced by tritium exposure *in vitro* and *in vivo*. *Exp Ther Med*. 2021;11:34-45.
16. Fedotova AS, Zhigarev AA, Makarskaja GV. Radiobiologicheskie jeffekty v perifericheskoj krvi krupnogo rogatogo skota pri pogloshhennyh dozah 4 i 5 mGr. *Uchenye zapiski uchrezhdenija obrazovanija "Vitebskaja ordena «Znak pocheta» Gosudarstvennaja akademija veterinarnoj mediciny*. 2022;58(3):65-73. DOI: 10.52368/2078-0109-2022-58-3-65-73.
17. Fedotova AS. Change in indicators of sheep peripheral blood under the impact of low doses of ionising radiation. *Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev*. 2022;14(4):83-89. DOI: 10.36508/RSATU.2022.19.47.012.
18. Fedotova AS, Turitsyna EG. Changes in haematological, biochemical and immunological parameters of cow blood under external «in vitro» gamma radiation in 100mGr-500mGr doses. *Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev*. 2023;15(4):77-89. DOI: 10.36508/RSATU.2023.85.53.011.
19. Fedotova AS, Turitsyna EG. Variation of hematological, biochemical and immunological blood parameters under the influence of small absorbed doses. *Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostycheva*. 2024;16(2):90-99. DOI: 0.36508/RSATU.2024.46.75.012.

Статья принята к публикации 11.11.2025 / The article accepted for publication 11.11.2025.

Информация об авторах:

**Арина Сергеевна Федотова**, профессор кафедры внутренних незаразных болезней, акушерства и физиологии сельскохозяйственных животных, доктор биологических наук, доцент

**Александр Алексеевич Жигарев**, преподаватель кафедры внутренних незаразных болезней, акушерства и физиологии сельскохозяйственных животных

Information about the authors:

**Arina Sergeevna Fedotova**, Professor, Department of Internal Non-Communicable Diseases, Obstetrics, and Physiology of Farm Animals, Doctor of Biological Sciences, Docent

**Alexander Alekseevich Zhigarev**, Lecturer, Department of Internal Non-Communicable Diseases, Obstetrics, and Physiology of Farm Animals