

ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ КЛЕТОК КРОВИ ОВЕЦ В ЗОНАХ С РАЗЛИЧНОЙ ПЛОТНОСТЬЮ ЗАГРЯЗНЕНИЯ  $^{137}\text{CS}^*$ 

A.S. Fedotova, G.V. Makarskaya, S.V. Tarskikh

FEATURES OF FUNCTIONAL ACTIVITY OF BLOOD CELLS OF SHEEP IN THE ZONES WITH VARIOUS DENSITY OF CONTAMINATION WITH  $^{137}\text{CS}$ 

**Федотова А.С.** – канд. биол. наук, доц. каф. внутренних незаразных болезней, акушерства и физиологии сельскохозяйственных животных Красноярского государственного аграрного университета, г. Красноярск.  
E-mail: krasfas@mail.ru

**Макарская Г.В.** – канд. биол. наук, ст. науч. сотр. отдела технологий мониторинга природной среды Института вычислительного моделирования – обособленного подразделения ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск.  
E-mail: mgv@icm.krasn.ru

**Тарских С.В.** – вед. инженер сектора иммунологии Международного научного центра исследований экстремальных состояний организма при Президиуме ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск.  
E-mail: s.tarskikh@inbox.ru

**Fedotova A.S.** – Cand. Biol. Sci., Assoc. Prof., Chair of Internal Noncontagious Diseases, Obstetrics and Physiology of Farm Animals, Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk.  
E-mail: krasfas@mail.ru

**Makarskaya G.V.** – Cand. Biol. Sci., Senior Staff Scientist, Department of Technologies of Environment Monitoring, Institute of Computing Modeling – Separate Division FRC KRC SB RAS, Krasnoyarsk.  
E-mail: mgv@icm.krasn.ru

**Tarskikh S.V.** – Leading Engineer, Sector of Immunology, International Scientific Center of Researches of Extreme Conditions of an Organism, Presidium of FRC KRC SB RAS, Krasnoyarsk.  
E-mail: s.tarskikh@inbox.ru

*Работа посвящена определению степени влияния малых доз облучения на кинетику генерации свободных форм кислорода в периферической крови овец. Авторами на территории Красноярского края были выделены агробиоценозы с дополнительной техногенной нагрузкой и без нее. Исследования проводились в период 2016–2018 гг. в Сухобузимском районе Красноярского края в населенных пунктах с. Б. Балчуг и п. Миндерла. Для оценки техногенной нагрузки были использованы радиометрический и спектрометрический методы. Работу осуществляли на 30 головах мелкого рогатого скота с частных подворий, отбор проб крови проводили в весенний и осенний периоды 2018 г. В работе проанализированы гематологические и иммунологические показатели. Хемилюминесцентным методом определен уровень интенсивности продукции АФК в периферической крови овец. В результате установлено, что удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  в почвах агробиоценозов с. Б. Балчуг зна-*

*чительно превышает аналогичный показатель для почв п. Миндерла. Согласно региональным нормативам «Допустимые уровни радиационного загрязнения окружающей среды», на территории агробиоценозов с. Б. Балчуг необходимо осуществлять периодический контроль радиационной обстановки. Установлено, что под воздействием малых доз ионизирующего излучения в крови животных регистрируется снижение фагоцитарной активности лейкоцитов, ускорение процесса антигенактивированного образования вторичных радикалов; увеличение амплитуды максимума процесса образования первичных радикалов; увеличение суммарного количества первичных радикалов. У овец, содержащихся на территориях с плотностью загрязнения 0,09 и 1,08 Ки/км<sup>2</sup>, статистически не отличаются гематологические показатели, время образования первичных свободных радикалов и суммарное количество спонтанных вторичных радикалов.*

\*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-44-240004 р\_а.

**Ключевые слова:** техногенное загрязнение, агробиоценозы, почвы, овцы, фагоцитарная активность лейкоцитов, хемилюминесценция, активные формы кислорода, свободные радикалы.

The research was devoted to the definition of the extent of the influence of small doses of radiation on kinetics of generation of free forms of oxygen in peripheral blood of sheep. Agrobiocenoses with additional technogenic loading and without it were allocated on the territory of Krasnoyarsk Region. The research was conducted during the period of 2016–2018 in Sukhobuzimsky area of Krasnoyarsk Region in B. Balchug and Minderla villages. Radiometric and spectrometric methods were used for technogenic impact evaluation. The work was performed on 30 heads of small stock from private farmsteads, blood samplings were taken in spring and autumn in 2018. Hematological and immunobiological indicators were analyzed in the study. The level and intensity of active ROS production in sheep peripheral blood were determined by chemiluminescence method. As a result it was established that specific activity of  $^{137}\text{Cs}$  in the soils of agro-ecosystems in B. Balchug village was significantly higher than corresponding figure of the soils in Minderla village. According to regional standards "Admissible levels of radiation of environmental pollution", on the territory of agrobiocenoses of B. Baltschug village it is necessary to perform periodic control of radiation situation. It was established that under the influence of small doses of ionizing radiation in the blood of animals the decrease in phagocytic activity of leukocytes, acceleration of the process of antigen-activated formation of secondary radicals was registered; the increase in the amplitude of maximum of the process of formation of primary radicals; the increase in total quantity of primary radicals. In the sheep kept on the territories with the density of pollution of 0.09 and 1.08 Ci /km<sup>2</sup> hematologic indicators, the time of formation of primary free radicals and total number of spontaneous secondary radicals statistically do not differ.

**Keywords:** technogenic pollution, agrobiocenoses, soils, sheep, phagocytic activity of leukocytes, chemiluminescence, reactive oxygen species (ROS), free radicals.

**Введение.** Ионизирующее излучение является одним из факторов, активно влияющих на гомеостаз биологических объектов. В некоторых

субъектах РФ выделяются территории с напряженной радиационной ситуацией, это определяется размещением радиационно опасных объектов. Красноярский край относится к таким территориям. На большей части Красноярского края радиационная обстановка оценивается как благополучная [1]. На территории края выявлено точечное загрязнение поймы р. Енисей техногенными радионуклидами в результате сброса вод охлаждения проточных реакторов ФГУП «Горно-химический комбинат» (ФГУП ГХК), расположенного в г. Железногорске [2, 3].

Для ФГУП ГХК в 2006 г. установлена зона наблюдения, распространяющаяся на 20 км вокруг предприятия и пойму р. Енисей на 1 000 км вниз по течению от г. Железногорска. В 20 км зоне наблюдения (ЗН) ФГУП «ГХК» находится 12 сельских населённых пунктов и г. Железногорск. На 1 000-км участке по пойме р. Енисей в зоне наблюдения расположены более 30 населённых пунктов. В пойме р. Енисей точечное загрязнение прослеживается от Горно-химического комбината до Карского моря, характеризуется пятнистостью и различным составом радионуклидов [4–7].

Впервые использование хемилюминесцентного метода для оценки физиологического состояния животных применил Я.И. Серкиз [8]. В настоящее время хемилюминесцентные методы широко используются для мониторинга антиоксидантных и прооксидантных свойств биологических систем [9].

Ионизирующее излучение, даже в малых дозах, активно действует на гемопозитическую ткань, изменяет биохимические показатели крови у сельскохозяйственных животных [10]. Установлено, что процессы генерации активных форм кислорода (АФК) клетками организма являются чувствительными к воздействию даже слабых доз ионизирующего излучения [11, 12]. В связи с ограниченностью данных о механизмах воздействия низкодозовой радиации существуют некоторые препятствия в прогнозировании эффектов, возникающих в организме.

Исследование механизма воздействия малых доз радиации на организм сельскохозяйственных животных является перспективным фундаментальным и прикладным направлением. Высокочувствительные хемилюминесцентные методы адекватно отражают состояние свободнорадикальных процессов [13], что позволяет выявить их незначительные изменения при различных физиологических состояниях. В

настоящее время хемилюминесцентные методы широко используются для мониторинга антиоксидантных и прооксидантных свойств биологических систем [13, 14].

Однако работ по оценке изменений хемилюминесцентной кинетики генерации АФК клетками периферической крови овец при действии малых доз радиации, в совокупности с данными радиоэкологического обследования агробиоценозов, до настоящего времени не выполнялось. Результаты работы будут актуальными для регионов РФ с дополнительной техногенной нагрузкой и для стран, территория которых была точечно загрязнена техногенными радионуклидами.

**Цель исследований.** Выявление степени влияния малых доз облучения на кинетику генерации свободных форм кислорода в периферической крови овец.

**Задачи:** выделение агробиоценозов на территории Красноярского края с дополнительной техногенной нагрузкой и без нее; определение степени изменения гематологических и иммунологических показателей периферической крови овец; исследование уровня и интенсивности продукции АФК в периферической крови овец в условиях агробиоценозов с низкодозовой радиационной нагрузкой.

**Материалы и методы исследований.** Исследования проводились, согласно регламентирующим документам [15], в период 2016–2018 гг. в условиях агробиоценозов Сухобузимского района Красноярского края в с. Б. Балчуг и п. Миндерла.

Село Большой Балчуг находится на надпойменной террасе правого берега протоки р. Енисей в 6 км от границы санитарно-защитной зоны ФГУП ГХК. На пастбищах этого населенного пункта, расположенных на берегу р. Енисей, определены участки с дополнительной антропогенной нагрузкой, которая обусловлена ранней деятельностью ФГУП ГХК. Поселок Миндерла расположен в 50 км на север от г. Красноярска, этот населенный пункт является контрольным, почвы и вода здесь не имеют дополнительного техногенного и природного радиационного загрязнения.

В период 2016–2018 гг. на территории агробиоценозов были проведены работы по измерению  $\gamma$ -фона, для этого использовался поисковый радиометр СРП-68-01, многофункциональ-

ный широкодиапазонный профессиональный дозиметр ДРГ-01Т1. На территории агробиоценозов был произведен отбор проб почвы, в них определялась удельная активность техногенных радионуклидов методом гамма-спектрометрии, в геометрии сосуда Маринели в течение 3600 с на гамма-спектрометрах «МКГБ-01 РАДЕК» и «Гамма-1С».

Для оценки степени гематологических изменений у 30 голов мелкого рогатого скота в 2018 г. во время весеннего и осеннего санитарно-ветеринарного обследования был произведен отбор проб крови. Определялись следующие гематологические показатели: СОЭ, количество лейкоцитов, эритроцитов. Анализ крови выполнялся по общепринятым методикам [16]. Фагоцитарная активность лейкоцитов крови определялась *in vitro* с частицами латекса (ФГУП ВНИИСК, С-Петербург) ( $5 \times 10^8$  част./мл), опсонизированными белками пуловой сыворотки овец, при окраске 0,25%-м генцианвиолетом в 3%-м растворе уксусной кислоты.

Оценку кинетики генерации активных форм кислорода выполняли хемилюминесцентным методом. В качестве ХЛ-зондов использовали люцигенин (Sigma-Aldrich) и люминол (Sigma-Aldrich) [13]. Определялись показатели кинетики ХЛ-реакции: амплитуда максимальной активности ( $I_{\max}$ , имп/с); время достижения максимума ( $T_{\max}$ , мин); светосумма ( $S$ , имп. за 90 мин); индекс активности ( $IA = S_{\text{акт}}/S_{\text{спонт}}$ , усл. ед.). Хемилюминесцентный анализ проведен по методу В.М. Земскова с соавторами [17] в модификации Г.В. Макарской с соавторами [18]. Кинетика спонтанной и индуцированной (активированной) хемилюминесценции регистрировалась на 36-канальном аппаратурно-программном комплексе «Хемилюминометр 3601-ПЭВМ» (СКТБ «Наука» СО РАН). Время записи хемилюминесцентной кривой – 90 мин, температура в регистрационной камере +38 °С.

Статистическая обработка цифрового материала проведена методом вариационной статистики с помощью прикладных программ Microsoft Office Excel 2007. Различия параметров ХЛ считали достоверными при  $P \leq 0,05$ .

**Результаты и их обсуждение.** При исследовании почв агробиоценозов с. Б. Балчуг и п. Миндерла получены следующие результаты (табл.1).

## Радиационная характеристика целинных почв агробиоценозов

Показатель	Почвы сенокосных и пастбищных участков населенных пунктов	
	с. Б. Балчуг	п. Миндерла
Общая площадь гамма-съёмки, га	10	10
Количество точек гамма-съёмки	69	58
Диапазон изменчивости гамма-фона, мкГр/ч	0,10–0,34	0,08–0,14
Среднее значение гамма-фона, мкГр/ч	0,18 ± 0,08	0,10 ± 0,08
Количество проб	15	10
Диапазон изменчивости удельной активности <sup>137</sup> Cs в почвах, Бк/кг	11,6–326	2,8–38
Среднее значение удельной активности <sup>137</sup> Cs в почвах, Бк/кг	166,69 ± 33,09***	13,27 ± 1,30

Примечание. \*\*\*  $P < 0,001$ .

Установлено, что среднее значение  $\gamma$ -фона в агробиоценозах с. Б. Балчуг значительно выше (установлено с доверительной вероятностью  $P < 0,001$ ), чем в с. Миндерла. Однако значения мощности дозы внешнего  $\gamma$ -излучения в агробиоценозах в с. Б. Балчуг не превышают значений, регламентированных нормативными документами как федерального, так и регионального уровня [19, 20].

Соответственно региональным нормативам, мощность дозы гамма-фона в условиях агробиоценозов с. Б. Балчуг составляет 0,18 мкГр/ч, что ниже уровня регистрации, установленного региональными нормативами качества окружающей среды. Однако в результате работы выявлено, что удельная активность <sup>137</sup>Cs в почвах агробиоценозов с. Б. Балчуг в 12,6 раза ( $P < 0,001$ ) превышает аналогичный показатель для почв п. Миндерла (см. табл. 1). В условиях агробиоценозов с. Б. Балчуг, согласно региональным нормативам качества окружающей среды в области обеспечения радиационной безопасности, необходимо осуществлять периодический контроль радиационной обстановки [20].

Анализ радиоэкологической обстановки проводился согласно площадной активности. Площадная активность агробиоценозов рассчитывалась по средним значениям удельной активности <sup>137</sup>Cs в почвах по формуле

$$П = 2,7 \cdot 10^{-4} \cdot a \cdot d \cdot h,$$

где  $a$  – удельная активность пробы Бк/кг;  $d$  – вес пробы, кг;  $h$  – высота слоя отбора пробы, см.

Плотность загрязнения почв агробиоценозов с. Б. Балчуг составила 1,08 Ки/км<sup>2</sup>, в п. Миндерла – 0,09 Ки/км<sup>2</sup>.

В результате расчета площадной активности установлено, что на территории агробиоценозов с. Б. Балчуг, согласно «Критериям оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия», ситуация оценивается как удовлетворительная. Согласно региональным нормативам, результаты измерений на тестируемых участках подлежат регистрации и учёту.

Согласно полученным данным, в результате расчета плотности загрязнения была проведена дифференцировка территорий агробиоценозов по радиационной опасности. Почвы агробиоценозов п. Миндерла – территория благополучная; плотность загрязнения почв – 0,09 Ки/км<sup>2</sup> (3,33кБк/м<sup>2</sup>), удельная активность <sup>137</sup>Cs – 13,27 Бк/кг. Почва агробиоценозов с. Б. Балчуг: плотность загрязнения почв – 1,08 Ки/км<sup>2</sup> (39,96 кБк/м<sup>2</sup>), удельная активность <sup>137</sup>Cs – 166,69 Бк/кг, результаты исследований подлежат регистрации и учёту.

В результате гематологического анализа установлено, что показатели эритроцитов, лейкоцитов, гемоглобина и СОЭ у животных с территории разной радиационной опасности находятся в одном диапазоне изменчивости и статистически не отличаются (табл. 2).

## Гематологические показатели крупного рогатого скота

Показатель	Плотность загрязнения, Ки/км <sup>2</sup>	
	0,09	1,08
Лейкоциты, $\times 10^9/\text{л}$	$6,78 \pm 0,48$	$7,69 \pm 0,65$
Эритроциты, $\times 10^{12}/\text{л}$	$9,44 \pm 0,61$	$7,48 \pm 0,83$
СОЭ, мм/ч	$0,45 \pm 0,08$	$0,79 \pm 0,16$
Гемоглобин, г %	$7,57 \pm 0,96$	$7,11 \pm 0,35$

Иммунологическим методом выявлено, что фагоцитарная активность лейкоцитов крови овец, содержащихся на территории с плотностью загрязнения 1,08 Ки/км<sup>2</sup>, значительно ниже ( $P < 0,01$ ), чем животных с территории с плотностью загрязнения 0,09 Ки/км<sup>2</sup> (рис. 1).

Хемилюминесцентным методом была определена кинетика спонтанной и антигенактивированной *in vitro* генерации АФК клетками периферической крови овец (рис. 2).



Рис. 1. Фагоцитарный индекс лейкоцитов овец в агробиоценозах с различной радиационной напряженностью

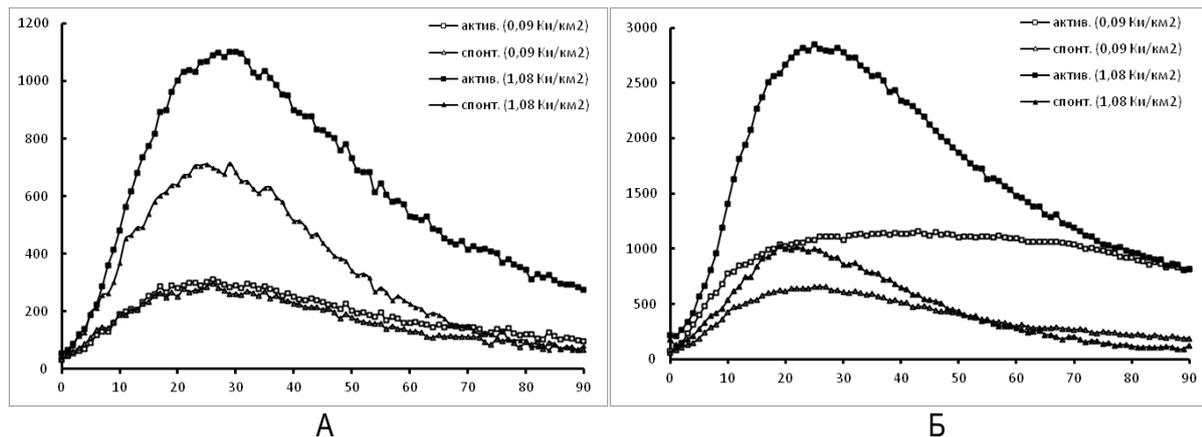


Рис. 2. Хемилюминесцентная кинетика генерации первичных (люцигенинзависимых) (А) и вторичных (люминолзависимых) (Б) АФК клетками крови овец при антигенной активации *in vitro* (актив.) и без нее (спонт.) из районов с разным уровнем радиационного загрязнения. По оси абсцисс – продолжительность регистрации, в мин, по оси ординат – интенсивность генерации АФК (I), имп/с

Время образования пиков первичных свободных радикалов у овец, находящихся под воздействием малых доз радиации 1,08 Ки/км<sup>2</sup> и обитающих при действии фоновых значений 0,09 Ки/км<sup>2</sup>  $\gamma$ -излучающих нуклидов, достоверно не отличается. У всех животных максимальная интенсивность пика спонтанной продукции люцигенин-зависимых радикалов находилась в одном диапазоне изменчивости и в среднем была зарегистрирована на 29 мин. При активации фагоцитоза частицами латекса в присутствии люцигенина выход хемилюминесцентной кривой на максимум регистрировался в среднем к 28 мин у всех животных, независимо от плотности загрязнения территории. Антигенная активация *in vitro* частицами латекса потенцирует активацию прооксидантных реакций. Увеличение количества АФК является доказательством реактивности клеток крови животных и способности организма отвечать на антигенную атаку.

Пик спонтанной активности генерации вторичных АФК у животных с территории с плотно-

стью загрязнения 0,09 Ки/км<sup>2</sup> регистрировался на 29-й минуте ( $28,77 \pm 2,9$ ). У овец, обитающих на территории с радиационной нагрузкой (1,08 Ки/км<sup>2</sup>), вторичные радикалы образуются достоверно ( $P < 0,01$ ) быстрее на 9 мин, Т max приходилось в среднем на 20 мин ( $19,89 \pm 1,3$ ). При активации клеток крови частицами латекса в присутствии люминола самый быстрый выход хемилюминесцентной кривой на максимум ( $24,22 \pm 2,5$  мин) наблюдался у овец, обитающих на территории с техногенной нагрузкой. У овец с территории с плотностью загрязнения 0,09 Ки/км<sup>2</sup> антигенактивированный респираторный взрыв достигал своего максимума достоверно ( $P < 0,001$ ) позже на  $20,6 \pm 2,04$  мин.

Амплитуда максимума ( $I_{max}$ , имп/с) спонтанной и активированной генерации первичных радикалов в крови у животных, обитающих на территории с плотностью загрязнения 1,08 Ки/км<sup>2</sup>, была достоверно ( $P < 0,05$ ) выше, чем у животных с «чистой» территории (рис. 3).

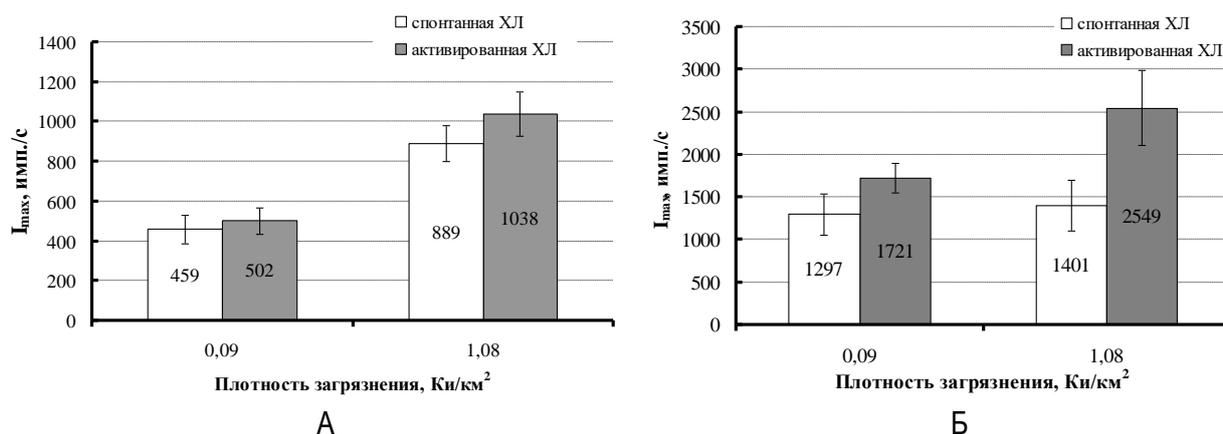


Рис. 3. Значения параметра  $I_{max}$  люцигенин (А) и люминол (Б) усиленной хемилюминесцентной кинетики генерации АФК клетками крови овец на территориях с различным уровнем радиационного загрязнения

При активации фагоцитоза частицами латекса амплитуда максимума у животных, обитающих на территории с плотностью загрязнения 0,09 Ки/км<sup>2</sup>, не изменяется. При введении частиц латекса в периферическую кровь овец с территории с плотностью загрязнения 1,08 Ки/км<sup>2</sup> выявлена тенденция к увеличению амплитуды максимума образования первичных радикалов. Амплитуда максимума активности ( $I_{max}$ , имп./с) спонтанной генерации вторичных радикалов у животных,

находящихся на чистой территории, не отличалась от данных с «грязной» территории. Активация клеток крови частицами латекса приводит к увеличению генерации АФК вторичных радикалов (рис. 3, Б). У животных, находящихся на территории с плотностью загрязнения 1,08 Ки/км<sup>2</sup>, наблюдается достоверное ( $P < 0,05$ ) увеличение амплитуды максимума генерации при введении частиц латекса *in vitro* в периферическую кровь.

Суммарное количество первичных радикалов, спонтанно генерирующихся за время регистрации в образце крови овец, находящихся на территории с плотностью загрязнения 1,08 Ки/км<sup>2</sup>, достоверно ( $P < 0,05$ ) выше, чем у

животных с территории с плотностью загрязнения 0,09 Ки/км<sup>2</sup> (рис. 4). При введении частиц латекса увеличивается суммарная продукция АФК в крови у всех животных.

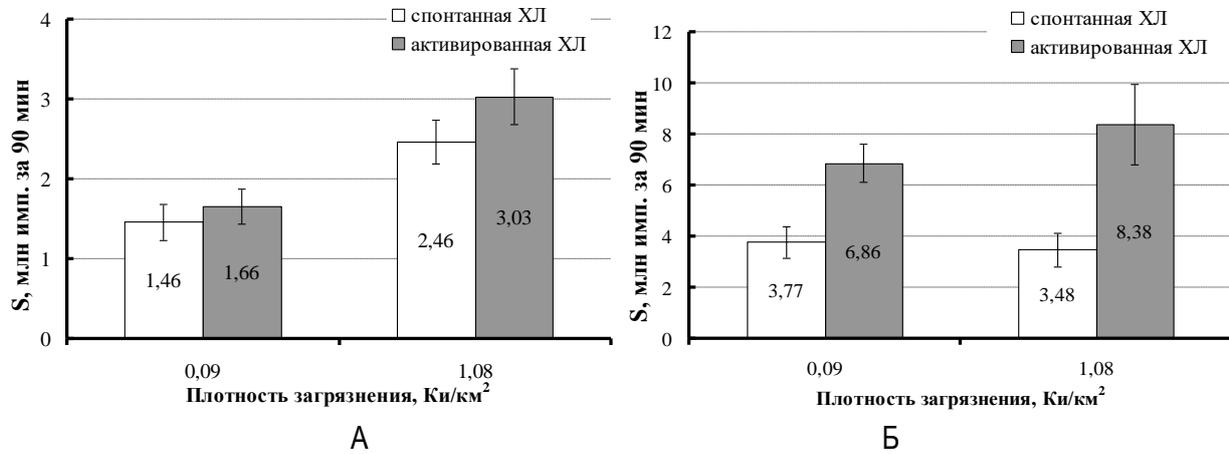


Рис. 4. Значения светосуммы люцигенина (А) и люминола (Б) усиленной хемилюминесценции при спонтанной и антигенактивированной *in vitro* продукции АФК клетками крови овец на территориях с различным уровнем радиационного загрязнения

Суммарное количество вторичных АФК, генерирующихся спонтанно в крови овец, обитающих на территории с плотностью загрязнения 1,08 и 0,09 Ки/км<sup>2</sup>, находится в одном диапазоне изменчивости и статистически не отличается (рис. 5). При активации фагоцитарного процесса *in vitro* введением частиц латекса дос-

товерно ( $P < 0,05$ ) увеличивается суммарная продукция АФК в крови у всех животных.

На основании полученных данных был рассчитан индекс активации (ИА), который отражает способность клеток крови (нейтрофилов, моноцитов) к генерации АФК в ответ на антигенную стимуляцию *in vitro* (рис. 5).

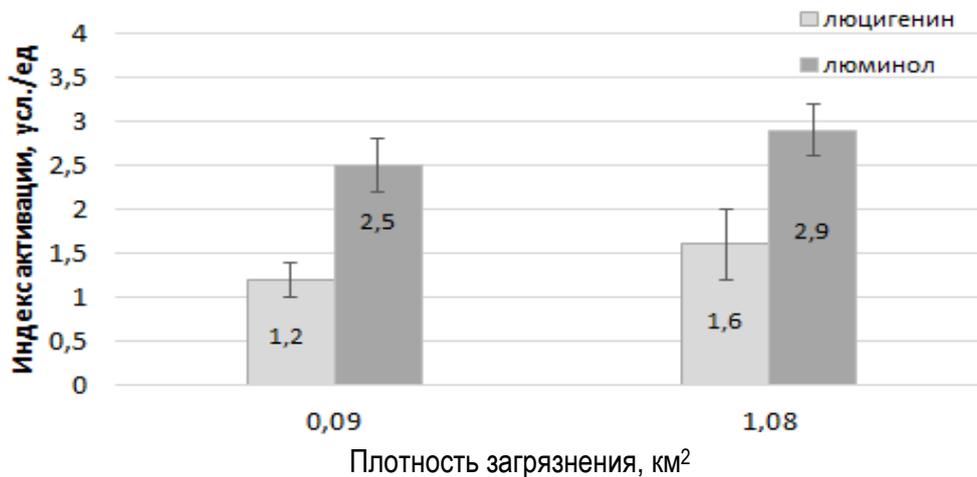


Рис. 5. Значение индекса активации генерации АФК клеток периферической крови овец, обитающих на территориях с различным уровнем радиационного загрязнения

Индекс активации генерации и люминол и люцигенин зависимых АФК у овец, обитающих на территории с различной плотностью загрязнения, находится в одном диапазоне изменчивости и статистически не отличается. Это указывает на одинаковые резервные возможности нейтрофилов к генерации АФК. У овец на территории с плотностью загрязнения 1,08 Ки/км<sup>2</sup> выявлена легкая тенденция к увеличению индекса активации продукции первичных и вторичных радикалов.

**Выводы.** В результате работы установлено, что удельная активность <sup>137</sup>Cs в почвах агробиоценозов с. Б. Балчуг значительно превышает аналогичный показатель для почв п. Миндерла, причиной этого является деятельность ФГУП ГХК. Согласно региональным нормативам качества окружающей среды в области обеспечения радиационной безопасности «Допустимые уровни радиационного загрязнения окружающей среды», на территории сенокосно-пастбищных участков с. Б. Балчуг необходимо осуществлять периодический контроль радиационной обстановки.

В результате исследований определено, что у овец, содержащихся на территории с плотностью загрязнения 0,09 и 1,08 Ки/км<sup>2</sup>, статистически не отличаются:

- гематологические показатели, что свидетельствует о соматическом здоровье животных и достаточной степени адаптации организма;
- суммарное количество спонтанных вторичных радикалов, при этом время спонтанного и активированного образования пиков первичных свободных радикалов и спонтанной генерации вторичных радикалов приходится на 28 мин;
- индекс активации генерации люминол, люцигенин зависимых АФК.

Однако у животных с территории с плотностью загрязнения 1,08 Ки/км<sup>2</sup> выявлена легкая тенденция к увеличению индекса активации продукции первичных и вторичных радикалов.

В периферической крови овец, содержащихся на территории с плотностью загрязнения 1,08 Ки/км<sup>2</sup>, выявлено:

- снижение фагоцитарной активности лейкоцитов;
- ускорение процесса антигенактивированного образования вторичных радикалов;
- увеличение амплитуды максимума спонтанной и активированной генерации первичных радикалов;

- увеличение суммарного количества продукции первичных радикалов.

### Литература

1. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2016 году». – Красноярск, 2017.
  2. Доклад межведомственной комиссии по комплексному анализу радиоэкологической, социально-экономической и санитарно-эпидемиологической обстановки в регионе города Железногорска Красноярского края. – Красноярск, 1993.
  3. Носов А.А., Ашанин М.В., Иванов А.В. [и др.]. Радиоактивное загрязнение р. Енисей, обусловленное сбросами Красноярского горно-химического комбината // Атомная энергия – 1993. – Т. 74, вып. 2. – С. 144–150.
  4. Сухоруков Ф.В. Закономерности распределения радионуклидов в долине реки Енисей. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. – 286 с.
  5. Носов А.В., Мартынова А.М. Анализ радиационной обстановки на р. Енисей после снятия с эксплуатации прямооточных реакторов Красноярского ГХК // Атомная энергия. – 1996. – Т. 81, Вып. 3. – С. 226–232.
  6. Сухоруков Ф.В., Дегерменджи А.Г., Белолыпецкий В.М. [и др.]. Закономерности распределения и миграция радионуклидов в долине реки Енисей. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. – 286 с.
  7. Вакуловский С.М., Крышев А.И., Тertyшник Э.Г. [и др.]. Накопление <sup>32</sup>P в рыбе Енисея и реконструкция дозы облучения населения // Атомная энергия. – 2004. – Т. 97. – Вып. 1. – С. 61–67.
  8. Серкиз Я.И. Хемилюминесцентные свойства крови как показатель тяжести радиационных повреждений, вызванных быстрыми нейтронами: дис. ... д-ра биол. наук: 03.00.01. – Киев, 1983. – 388 с.
- Fedorova G.F., Menshov V.A., Trofimov A.V. [et al.]. Chemiluminescence of cigarette smoke: salient features of the phenomenon.

- Photochem. Photobiol. – 2017; 93: 579–89. doi:10.1111/php.12689
9. *Кругликов Б.П.* [и др.]. Физиологическое состояние и продуктивные качества сельскохозяйственных животных, длительно содержащихся на загрязненной радионуклидами территории // Сб. докл. Первой Всесоюз. конф. Ядерного общества СССР (Обнинск 26–29 июня 1990 г.). – М., 1990. – Т. 2. – С. 96–98.
  10. *Протас А.Ф.* Активность антиоксидантных ферментов и уровень свободнорадикальных процессов в ядрах клеток нейронов при низких дозах облучения // Биополимеры и клетка. – 1996. – Т. 12, № 3. – С. 47–53.
  11. *Алесина М.Ю.* Формирование радиобиологических эффектов при хроническом внутреннем и внешнем облучении экспериментальных животных в малых дозах // Международный журнал радиационной медицины. – 1999. – № 2. – С. 92–99.
  12. *Владимиров Ю.А., Проскурнина Е.В.* Свободные радикалы и клеточная хемилюминесценция // Успехи биологической химии. – 2009. – Т. 49. – С. 341–388.
  13. *Созарукова М.М., Полимова А.М., Проскурнина Е.В.* [и др.]. Изменения в кинетике хемилюминесценции плазмы как мера системного окислительного стресса // Биофизика. – 2016. – Т. 61, № 2. – С. 337–344.
  14. МУ 13.5.13-00. Организация государственного радиэкологического мониторинга агроэкосистем в зоне воздействия радиационно-опасных объектов. – М.: ВНИИСХРАЭ, 2000. – 28 с.
  15. *Смолин С.Г.* Физиология системы крови: метод. указания / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2007. – 48 с.
  16. *Земсков В.М.* Изучение функционального состояния фагоцитов человека (кислородный метаболизм и подвижность клеток): метод. рекомендации. – М.: Институт иммунологии МЗ СССР, 1988. – 20 с.
  17. *Еремينا И.Ю., Макарская Г.В., Тарских С.В.* Возрастные особенности кислородного метаболизма клеток крови крупного рогатого скота // Вестник КрасГАУ. – 2010. – № 11. – С. 128–135.
  18. Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия: утв. министром охраны окружающей среды и природных ресурсов 30.11.1992 г. – М.: Министерство охраны окружающей среды и природных ресурсов, 1992. – 58 с.
  19. Постановление правительства Красноярского края № 670-п «Об утверждении региональных нормативов качества окружающей среды «Допустимые значения радиационного загрязнения природной среды на территории Красноярского края» от 18.12.2012. – Красноярск, 2013.

#### Literatura

1. Gosudarstvennyj doklad «O sostojanii i ohrane okruzhajushhej sredy v Krasnojarskom krae v 2016 godu». – Krasnojarsk, 2017.
2. Doklad mezhdovedstvennoj komissii po kompleksnomu analizu radiojekonomicheskoj, social'no-jekonomicheskoj i sanitarno-jepidemiologicheskoj obstanovki v regione goroda Zheleznogorska Krasnojarskogo kraja. – Krasnojarsk, 1993.
3. *Nosov A.A., Ashanin M.V., Ivanov A.V.* [i dr.]. Radioaktivnoe zagraznenie r. Enisej, obuslovlennoe sbrosami Krasnojarskogo gornohimicheskogo kombinata // Atomnaja jenergija – 1993. – Т. 74, vyp. 2. – S. 144–150.
4. *Suhorukov F.V.* Zakonomernosti raspredelenija radionuklidov v doline reki Enisej. – Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2004. – 286 s.
5. *Nosov A.V., Martynova A.M.* Analiz radiacionnoj obstanovki na r. Enisej posle snjatija s jekspluatacii prjamotochnyh reaktorov Krasnojarskogo GHK // Atomnaja jenergija. – 1996. – Т. 81, Vyp. 3. – S. 226–232.
6. *Suhorukov F.V., Degermendzhi A.G., Belolipeckij V.M.* [i dr.]. Zakonomernosti raspredelenija i migracija radionuklidov v doline reki Enisej. – Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2004. – 286 с.
7. *Vakulovskij S.M., Kryshev A.I., Tertyschnik Je.G.* [i dr.]. Nakoplenie <sup>32</sup>R в рыбе Eniseja i rekonstrukcija dozy obluchenija naselenija //

- Atomnaja jenergija. – 2004. – Т. 97. – Vyp. 1. – S. 61–67.
8. *Serkiz Ja.I.* Hemiljuminescentnyje svojstva krovi kak pokazatel' tjazhesti radiacionnyh povrezhdenij, vyzvannyh bystryimi nejtronami: dis. ... d-ra biol. nauk: 03.00.01. – Kiev, 1983. – 388 s.
9. *Fedorova G.F., Menshov V.A., Trofimov A.V.* [et al.]. Chemiluminescence of cigarette smoke: salient features of the phenomenon. *Photochem.Photobiol.* – 2017; 93: 579–89. doi:10.1111/php.12689
10. *Kruglikov B.P.* [i dr.]. Fiziologicheskoe sostojanie i produktivnye kachestva sel'skohozjajstvennyh zhivotnyh, dlitel'no sodержashhihsja na zagryaznennoj radionuklidami territorii // *Sb. dokl. Pervoj Vsesojuz. konf. Jadernogo obshhestva SSSR (Obninsk 26–29 ijunja 1990 g.)*. – M., 1990. – Т. 2. – S. 96–98.
11. *Protas A.F.* Aktivnost' antioksidantnyh fermentov i uroven' svobodnoradikal'nyh processov v jadrach kletok nejronov pri nizkih dozah obluchenija // *Biopolimery i kletka.* – 1996. – Т. 12, № 3. – S. 47–53.
12. *Alesina M.Ju.* Formirovanie radiobiologicheskikh jeffektov pri hronicheskom vnutrennem i vneshnem obluchenii jeksperimental'nyh zhivotnyh v malyh dozah // *Mezhdunarodnyj zhurnal radiacionnoj mediciny.* – 1999. – № 2. – S. 92–99.
13. *Vladimirov Ju.A., Proskurnina E.V.* Svobodnye radikaly i kletochnaja hemiljuminescencija // *Uspehi biologicheskoy himii.* – 2009. – Т. 49. – S. 341–388.
14. *Sozarukova M.M., Polimova A.M., Proskurnina E.V.* [i dr.]. Izmenenija v kinetike hemiljuminescencii plazmy kak mera sistemnogo oksiditel'nogo stressa // *Biofizika.* – 2016. – Т. 61, № 2. – S. 337–344.
15. МУ 13.5.13-00. Organizacija gosudarstvennogo radiojelogicheskogo monitoringa agrojekosistem v zone vozdejstvija radiacionno-opasnyh ob'ektov. – M.: VNIISHRAJe, 2000. – 28 s.
16. *Smolin S.G.* Fiziologija sistemy krovi: metod ukazanija / *Krasnojarsk. gos. agrar. un-t.* – Krasnojarsk, 2007. – 48 s.
17. *Zemskov V.M.* Izuchenie funkcional'nogo sostojanija fagocitov cheloveka (kislородnyj metabolism i podvizhnost' kletok): metod. rekomendacii. – M.: Institut immunologii MZ SSSR, 1988. – 20 s.
18. *Eremina I.Ju., Makarskaja G.V., Tarskih S.V.* Vozrastnye osobennosti kislородnogo metabolisma kletok krovi krupnogo rogatogo skota // *Vestnik KrasGAU.* – 2010. – № 11. – S. 128–135.
19. Kriterii ocenki jekologicheskoy obstanovki territorij dlja vyjavlenija zon chrezvychajnoj jekologicheskoy situacii i zon jekologicheskogo bedstvija: utv. ministrom ohrany okruzhajushhej sredy i prirodnyh resursov 30.11.1992 g. – M.: Ministerstvo ohrany okruzhajushhej sredy i prirodnyh resursov, 1992. – 58 s.
20. Postanovlenie pravitel'stva Krasnojarskogo kraja № 670-p «Ob utverzhdenii regional'nyh normativov kachestva okruzhajushhej sredy «Dopustimye znachenija radiacionnogo zagryaznenija prirodnoj sredy na territorii Krasnojarskogo kraja» ot 18.12.2012. – Krasnojarsk, 2013.

