

Александр Алексеевич Жигарев

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

Zhigarev98@mail.ru

ИЗМЕНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КРОВИ КРОЛИКОВ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ «ГУМАТ КАЛИЯ 80» В КАЧЕСТВЕ РАДИОПРОТЕКТОРА

Цель исследования – оценить радиопротекторные свойства препарата «Гумат калия 80» при тритиевом воздействии в субклинических дозах на организм кроликов. Задачи: определение изменений гематологических и биохимических показателей и фагоцитарной активности клеток крови кроликов при воздействии тритиевой воды и при применении радиопротектора «Гумат калия 80». Исследование проведено на кафедре ИПБиВМ, в научно-исследовательском испытательном центре ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ. Приведены данные по загрязнению биосферы тритием, определена его миграционная активность в компонентах окружающей среды. Изложены механизмы всасывания и миграции трития в организме животных, его влияние на здоровье и продуктивность. Приведена классификация радиопротекторов, изложены характеристики, механизмы действия, рекомендуемые дозы радиопротекторных препаратов. Определена степень изменения фагоцитарной активности, гематологических и биохимических показателей венозной крови кроликов при воздействии тритиевой воды (62,29 мГр) и при применении радиопротектора «Гумат калия 80». Оценены радиопротекторные свойства препарата «Гумат калия 80» при тритиевом воздействии в субклинических дозах на организм кроликов. При дозовой нагрузке в 62,29 мГр тритиевого воздействия в русле крови кроликов регистрируется эритроцитоз, лейкоцитоз и увеличение уровня гемоглобина, что обязано стимулирующему воздействию трития. Однако при субклинических дозах трития в сыворотке крови снижается количество альфа-глобулинов, АСТ, щелочной фосфатазы и увеличивается содержание бета-глобулинов и АЛТ, что свидетельствует о токсическом воздействии трития на печень и почки. Применение радиопротектора «Гумат калия 80» на 20-й день восстанавливает количество форменных элементов крови, биохимические показатели крови кроликов до контрольных и референсных значений. Применение «Гумат калия 80» увеличивает фагоцитарную активность клеток крови до контрольных значений. При тритиевом воздействии в качестве радиопротектора рекомендуется использование «Гумат калия 80» в дозе 10^{-4} г/л.

Ключевые слова: тритий, малые дозы трития, гематологические параметры, венозная кровь, кролики, поглощенная доза трития, гумат калия, радиопротектор

Для цитирования: Жигарев А.А. Изменение показателей крови кроликов при применении «Гумат калия 80» в качестве радиопротектора // Вестник КрасГАУ. 2025. № 5. С. 169–184. DOI: 10.36718/1819-4036-2025-5-169-184.

Alexander Alekseevich Zhigarev

Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia

Zhigarev98@mail.ru

CHANGES IN RABBITS' BLOOD INDICATORS WHEN USING POTASSIUM HUMATE 80 AS A RADIOPROTECTOR

The aim of the study is to evaluate the radioprotective properties of the drug Potassium Humate 80 under tritium exposure in subclinical doses on the body of rabbits. Objectives: to determine changes in hematological and biochemical parameters and phagocytic activity of blood cells in rabbits under the influence of tritium water and when using the radioprotector Potassium Humate 80. The study was conducted at the Department of the Institute of Biology and Microbiology, in the Research and Testing Center of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Krasnoyarsk State Agrarian University. The paper presents data on tritium pollution of the biosphere, and determines its migration activity in environmental components. The mechanisms of tritium absorption and migration in the body of animals, its impact on health and productivity are described. The article provides a classification of radioprotectors, their characteristics, mechanisms of action, and recommended doses of radioprotective drugs. The degree of change in phagocytic activity, hematological and biochemical indices of venous blood of rabbits under the influence of tritium water (62.29 mGy) and under the application of radioprotector Potassium Humate 80 was determined. Radioprotective properties of the drug Potassium Humate 80 under tritium influence in subclinical doses on the organism of rabbits were estimated. At the dose load of 62.29 mGy of tritium influence in the bloodstream of rabbits erythrocytosis, leukocytosis and increase of hemoglobin level are registered, which is obliged to stimulating effect of tritium. However, at subclinical doses of tritium in the blood serum the amount of alpha-globulins, AST, alkaline phosphatase decreases and the content of beta-globulins and ALT increases, which indicates the toxic effect of tritium on the liver and kidneys. The use of the radioprotector Potassium Humate 80 on the 20th day restores the amount of formed elements of the blood, biochemical parameters of the blood of rabbits to control and reference values. The use of Potassium Humate 80 increases the phagocytic activity of blood cells to control values. With tritium exposure, the use of Potassium Humate 80 in a dose of 10^{-4} g/l is recommended as a radioprotector.

Keywords: tritium, small doses of tritium, hematological parameters, venous blood, rabbits, absorbed dose of tritium, potassium humate, radioprotector

For citation: Zhigarev AA. Changes in rabbits' blood indicators when using Potassium Humate 80 as a radioprotector. *Bulletin of KSAU*. 2025;(5):169-184. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2025-5-169-184.

Введение. Факторы окружающей среды оказывают значительное влияние на биологические объекты, одним из таких факторов является радиация. Регулярная деятельность атомных электростанций (АЭС), добыча уранорадиевых руд, радиационные техногенные аварии и испытания ядерного оружия (в XX веке) сформировали глобальный техногенный фон. Добыча руды, переработка, обогащение урана, производство тепловыделяющих сборок (ТВЭЛ), разработка оружейного плутония в ядерных реакторах способствовали увеличению концентрации техногенных радионуклидов в компонентах биосферы. При работе АЭС образуются газоаэрозольные штатные выбросы и жидкие радиоактивные отходы [1]. В начале эксплуатации реакции ядерного деления (середина XX в.) учеными была недооценена радиационная опасность слаборадиоактивных отходов, в результате некоторые территории получили дополнительное

техногенное радиоактивное загрязнение [2]. В настоящее время происходит изменение техногенного радиационного фона, расширяются территории с повышенным уровнем радиации, основные радиобиологические воздействия определяются низкоинтенсивным излучением изотопов: трития (^3H), цезия (^{137}Cs), стронция (^{90}Sr) и углерода (^{14}C).

Тритий (^3H) – радиоактивный изотоп водорода с периодом полураспада ($T_{1/2}$) 12,3 года, бета-излучатель с энергией бета-частиц – 18,59 КэВ [3, 4], в биосфере присутствует в виде естественного и антропогенного изотопов. Природный ^3H образуется в результате взаимодействия протонов и нейтронов вторичного космического излучения с атомами атмосферы: N, O₂, Ar [5]. Согласно нормам Агентства по охране окружающей среды (США), предельно допустимая концентрация (ПДК) ^3H составляет 740 Бк/л, в Евросоюзе – 100 Бк/л, в России – 7700 Бк/л [5].

В промышленных газоаэрозольных выбросах предприятий ядерного топливного цикла ^3H содержится в основном в 3-х соединениях: тритиевая вода (НТО), тритированный водород (НТ) и тритированный метан (CH_3T) [6–9]. Эффективный период нахождения НТ и CH_3T в атмосфере оценивается в 5–10 лет [10]. Основными процессами утилизации ^3H из атмосферы являются бактериальное воздействие и фотохимическое окисление НТ и CH_3T , при этом конечным продуктом распада является НТО, которая обладает высокой биологической активностью в отличие от НТ и CH_3T [5, 11, 12].

В настоящее время фоновая концентрация ^3H в воде составляет 0,12 Бк/л, 90 % природного ^3H находится в виде НТО в гидросфере, 6,8 % – в стратосфере и 0,4 % – в тропосфере [5]. И.Ю. Катрич, оценивая удельную активность трития в естественных водоисточниках России, делает прогноз, что к 2100 г. равновесное содержание трития в атмосфере и биосфере составит около $2,5 \cdot 10^{22}$ Бк [13].

В Российской Федерации одним из основных источников промышленного ^3H является ФГУП ПО «Маяк», в зоне наблюдения этого предприятия концентрация трития в 5–25 раз превышает фоновые значения. К источникам ^3H в ФГУП ПО «Маяк» относят промышленные реакторы, заводы по переработке отработанного ядерного топлива, промышленные резервуары хранения жидких радиоактивных отходов: озеро Кизилташ, искусственные водоемы в долине реки Теча, озеро Карачай [8, 14–17]. Установлено, что концентрация ^3H в объектах биосферы находится в обратной зависимости от расстояния от ФГУП ПО «Маяк», при этом имеет значение географическое расположение и господствующее направление ветра. Значительное содержание ^3H установлено в озерах Татыш (107 Бк/л), Улагач (113 Бк/л), находящихся в 6–7 км к югу от ФГУП ПО «Маяк», с удалением снижается удельная активность ^3H в водных объектах, на удалении 50 км и более содержание ^3H составляло 10 Бк/л [8, 18, 19].

Содержание ^3H в жидких сбросах значительно превышает содержание других изотопов, в газообразных выбросах тритий уступает суммарной радиоактивности благородных газов, которые, в отличие от ^3H , обладают низкой биологической активностью [5].

Определено, что миграция ^3H в биосфере происходит в виде НТО [8]. Вблизи радиационно опасных объектов ^3H хорошо накапливается в окружающей среде [5]. В воздухе ^3H обладает высокой подвижностью, благодаря этому он проникает в помещения, повышая радиационный фон и увеличивая радиационное загрязнение открытых водоемов, в результате выбросы ^3H в атмосферу следует рассматривать как негативный фактор, влияющий на здоровье и продуктивность животных [6]. При контакте поверхности воды с атмосферой, содержащей пары ^3H , изотоп попадает в воду и растворяется в ней. Тритий попадает в водоемы с осадками, в результате вымывания из воздуха [14] он включается в цепь миграции: вода, почва – растения – животные – агропродукция [7].

В животных и растительных организмах НТО замещает H_2O и достигает концентрации, близкой к окружающей среде [15]. Радиобиологические эффекты тритиевого воздействия в форме оксида на организм животных в 2–6 раз выше, чем действие гамма-излучения цезия (^{137}Cs) [20–22]. Z. Pietrzak-Flis et al. оценили распределение трития по органам и тканям у кроликов при введении трития с водой и кормом. В опыте в течение 29 дней кроликам скармливалась тритированная люцерна, НТО и тритированная люцерна, НТО, при этом радиационная нагрузка составляла 185 Бк/г массы тела. В работе установлено, что форма введения в организм трития определяет его удельную активность в органах и тканях, при скармливании органически связанного трития (тротированная люцерна) содержание трития в тканях выше, чем при введении трития в виде НТО. Кроме этого, учеными определен тропизм трития к тканям организма, установлено, что в тканях с высокой скоростью метаболизма (печень, почки, легкие, тонкий кишечник, семенники, яичники) концентрация трития выше, чем в тканях с низкой скоростью метаболизма (кожа, мышцы, костная ткань) [23, 24].

Аэрогенно и через кожу поступление ^3H составляет 15–20 %, алиментарным путем – 80–85 %. Согласно заключениям экспертов, ^3H является основным радионуклидом, формирующим эффективную дозу облучения биологического объекта [9]. После алиментарного поступления ^3H в течение короткого времени равномерно распределяется в водной фазе организ-

ма. Изотоп хорошо поглощается живыми тканями, в которых стимулирует мутагенные изменения за счет бета-излучения и нарушения молекулярных связей в результате замещения изотопов ^2H нейтральными изотопами гелия (^2He), который образуется в результате распада ^3H . Органически связанный ^3H находится в безуглеродных цепочках O-H или N-H , возможно замещение ^2H водорода в сульфгидрильных (S-H), амидных соединениях и аминоклупах (N-H) на ^3H [8, 9, 25].

Органически связанный тритий действует непосредственно на ДНК и медленно выводится из организма (21–550 дней), представляя собой более высокий фактор риска, чем НТО. Органически связанный ^3H наиболее опасен для яйцеклетки и эмбриона в течение первых восьми недель беременности. Попадая внутрь эмбриона, тритиевая вода и органически связанный тритий облучают быстро делящиеся клетки, повышая риск возникновения врожденных дефектов [9].

Таким образом, можно заключить, что содержание ^3H в объектах окружающей среды в настоящее время достаточно высокое, при этом изотоп относится к группе биологически активных радионуклидов и влияет на все уровни организации биологического организма [26].

Радиопротекторные препараты предоставляют защиту организма при действии ионизирующего излучения, в основном предохраняют кроветворные ткани от негативного воздействия.

Различают по действию быстрые (1–2 ч) и пролонгированные (7–10 сут) препараты. Выделяют радиопротекторы, рекомендуемые при острой лучевой болезни, препараты от субклинических доз и вещества с низкой противолучевой активностью, используемые для снижения последствий облучения. Эффект противолучевой защиты выявлен у вакцин, адаптогенов, иммуномодуляторов, гормональных средств, нуклеиновых кислот, микроэлементов. Радиопротекторное действие вакцин (тетравакцины, БЦЖ и др.) обусловлено повышением устойчивости организма к инфекционным заболеваниям. Механизм биоадаптации адаптогенов (прополис, мумие, и др.) заключается в ослаблении морфологических и биохимических проявлений стресса, снижении интенсивности пролифера-

тивных реакций, увеличении иммунологической реактивности организма [5, 27].

К.Н. Вагин установил, что однократная подкожная инъекция радиозащитного микробного препарата РЗК в дозе $1 \cdot 10^9$ КОЕ/кг живой массы кроликам и овцам за 1–30 сут до и через 1–30 сут после летального облучения оказывает лечебно-профилактическое действие, обеспечивает 70–80 % защиту от смерти. Радиопротекторное действие препарата РЗК основано на ингибировании синтеза иммунотоксических агентов и недоступности клеток-мишеней [28].

Li Hong et al. провели работу на мышах и культивируемых клетках, подвергшихся воздействию НТО (18,5 МБк/ кг). Установлено, что внутрижелудочное введение водородной воды (HRW) способствует выведению трития с мочой, снижает его уровень в сыворотке крови и ослабляет генетические повреждения клеток крови. Предварительная обработка HRW снижает накопление трития в обработанных НТО клетках АНН-1 β -лимфоцитов крови [29]. Ожидается, что HRW будет эффективным средством удаления радиоактивных веществ за счет конкурирующего эффекта изотопного обмена или радиозащитным средством за счет удаления свободных радикалов, вызванных воздействием НТО [29–31].

Самыми распространенными и эффективными радиопротекторными препаратами среди серо-, азотсодержащих органических соединений, меркаптоалкиламинов, являются гамма-фос, АЭТ, МЭА, меркамин, тизанидин. Среди распространенных радиопротекторных средств наиболее известен цистамин.

Цистамин (препарат РС-1) – бис-(β -аминоэтил)-дисульфида гидрохлорид. В экспериментах на животных демонстрирует высокую противолучевую эффективность [32]: однократная пероральная доза для мышей составляет 500–600 мг/кг, для крупного рогатого скота – 6–7 г. Недостатком является кратковременное действие и высокие дозы, близкие к токсическим, оказывает отрицательное влияние на центральную нервную систему, сердечно-сосудистую и дыхательную системы и желудочно-кишечный тракт [33].

Диэтилстильбэстрол (ДЭС) – синтетический эстроген, предложен к использованию как препарат долгосрочной защиты от радиации, эффект начинается на 2–3-й день после введения, является потенциальным канцерогеном.

Фосфадитилэтаноламин предложен как радиопротектор, применяемый в терапии заболеваний с явлениями гемолиза различной этиологии, его инъецируют внутривенно или ректально, однократно, в дозировке 37,5 мг/кг массы тела за 15 или 30 мин. до или после воздействия, имеет низкую эффективность. Однако малая эффективность и ограниченность области применения этого соединения обусловлена тем, что он относится к группе препаратов пострадиационного терапевтического действия.

Нафтизин-2-(α -нафтилметилимидазолина нитрат) – радиопротектор кратковременного действия, оптимальная дозировка – 0,3 мг/кг, обладает высокой противолучевой эффективностью, защищая от гибели до 85 % собак, подвергнутых гамма-облучению в абсолютно летальных дозах.

Индралин (Б-190) является прямым альфа-адреномиметиком. Механизм действия заключается в спазмировании сосудов и изменении циркуляции кровоснабжения в радиочувствительных органах и тканях, в результате чего возникает защищающая гипоксия. Индралин является экстренным препаратом, защита длится в течение 1 часа при внешнем облучении, используется в чрезвычайных ситуациях и авариях. Увеличение концентрации препарата в крови приводит к спазму сосудов и гипоксии радиочувствительных органов и тканей, в результате возможно развитие гипоксии головного мозга и других органов. Увеличение концентрации препарата в крови приводит к спазму сосудов и гипоксии радиочувствительных органов и тканей, в результате возможно развитие гипоксии головного мозга и других органов.

Куркумин – препарат для повышения радиорезистентности организма, рекомендован в дозе 3,125–3,47 мг чистого вещества куркумина на 1 кг массы. Вводится внутримышечно в дозе 10,0 см³ через 30 мин после облучения при поглощенной дозе 4,0–5,0 Гр и дополнительно в дозе 10,0 см³ на 3-и и 5-е сутки после облучения при достижении поглощенной дозы 5,0–6,0 Гр.

Эффективным биологическим препаратом является водный экстракт зелени пихты сибирской для профилактики развития лучевой болезни. Установлена радиопротекторная эффективность водного экстракта при воздействии ионизирующего излучения на крыс. Для профилактики лучевой болезни за 30–35 сут до облу-

чения рекомендовано введение экстракта с рационом или водой однократно в дозе 8,0–10,0 мл/кг [34].

З.Г. Муслимова и И.В. Азизов установили, что облучение семян в высоких дозах повышает содержание в них перекиси водорода, супероксидного и гидроксильного радикалов, активизирует перекисное окисление липидов и, вероятно, вызывает активацию антиоксидантной системы растений, что снижает всхожесть семян. Предварительная обработка семян пшеницы гуминовыми комплексами разных металлов (Na, K, Fe) снижает действие ионизирующего излучения на всхожесть семян и рост растений, подавляет активацию перекисного окисления липидов и тем самым защищает растения от разрушительного действия радиации [35].

Г.Г. Пухова с соавторами провели исследование по изучению радиопротекторных свойств гумата натрия для крыс, при облучении кобальтом (⁶⁰Co) в дозе 193,5 МГр/кг. В работе установлено радиопротекторное действие «Гумат натрия», применение препарата увеличивает продолжительность жизни облученных крыс [36].

В.Е. Бельдин раскрывает механизм адсорбирующего действия гуминовых кислот в организме животных при действии микотоксинов. Молекулы гуминовых кислот прикрепляются к поверхности животной клетки и выполняют функцию фильтра, который связывает тяжелые металлы, образует комплексы со свободными радикалами, образующимися в плазматической мембране в результате перекисного окисления липидов. Таким образом, 1 грамм гуминовых кислот имеет адсорбирующую емкость по изотопам: цезий – 30 мг, стронций – 18; свинец – 60–100; хром – 80; ртуть – 300 мг. Гуминовые вещества способствуют образованию защитного слоя на слизистых оболочках кишечника, в результате препятствуют проникновению бактерий и вирусов во внутреннюю среду организма [37].

А.Г. Саенко с соавторами оценили радиопротекторное действие препарата «Гумат натрия» при воздействии изотопов цезия (¹³⁷Cs) и ртути (²⁰³Hg) на организм крыс. «Гумат натрия» получали из гуминовых кислот окисленного бурого угля. Установлен радиопротекторный эффект гумата натрия при введении в воду в дозировке 200 мг/л. У самцов белой крысы через сутки после введения радиопротектора выявилась тен-

денция к снижению удельной активности ^{137}Cs и ^{203}Hg в организме, на 3-и и 5-е сутки применения препарата «Гумат натрия» установлено достоверное снижение содержания ^{137}Cs и ^{203}Hg в организме крыс [38]. Настоящей задачей радиационной защиты живых организмов является получение препаратов и определение их дозировки, способствующей защите от негативного воздействия ионизирующего излучения.

Предполагается, что воздействие радиации в субклинических дозах на многоклеточный организм не вызывает нарушения системных функций, но может изменять физиологические процессы на клеточном и тканевом уровнях, а также трансформировать гомеостаз организма. Оценка биоэффектов малых доз в настоящее время представляет научный интерес. В связи с этим существует необходимость определения радиобиологических эффектов, возникающих в организме животных при воздействии малых доз радиации. В связи с увеличением удельной активности трития в объектах окружающей среды изучение тритиевого воздействия на организм животных, подбор препаратов с радиопротекторным действием являются актуальными.

Данная работа – продолжение исследований по оценке субклинических доз ионизирующего излучения на организм сельскохозяйственных животных и на клетки крови в опытах *in vitro*. Ранее авторами установлено влияние ионизирующего излучения в дозах 5 мГр, 50 и 500 мГр на биохимические показатели при облучении образцов периферической крови крупного рогатого скота *in vitro* [39], определены изменения гематологических, биохимических показателей крови коров при облучении *in vitro* проб крови в дозах 4–5 мГр [40], оценена степень изменений показателей периферической крови овец при воздействии поглощенной дозы в 1,6 мГр/год [41].

Цель исследования – оценить радиопротекторные свойства препарата «Гумат калия 80» при тритиевом воздействии в субклинических дозах на организм кроликов.

Задачи: определение изменений гематологических и биохимических показателей и фагоцитарной активности клеток крови кроликов при воздействии тритиевой воды и при применении радиопротектора «Гумат калия 80»; проведение оценки радиопротекторных свойств «Гумат ка-

лия 80» при тритиевом воздействии в субклинических дозах.

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

Исследования проведены на трех группах кроликов калифорнийской породы: опытная группа (10 голов), контрольная – 15 голов, интактный (токсический) контроль – 10 голов. Средний возраст кроликов – $(12 \pm 0,3)$ мес., вес – $(4 \pm 0,5)$ кг. Клиническое исследование проводили посредством общего клинического осмотра, термометрии и аускультации, исследования выполнены по общепринятой методике.

Кровь для исследования отбирали из краевой ушной вены в утренние часы в вакуумные пробирки с натрий-гепарином и активатором свертываемости. На первом этапе кролики опытной и интактной групп в течение 30 дней получали НТО, в результате у животных сформирована субклиническая доза 62,29 мГр. Животные получали НТО вместе с питьевой водой через индивидуальные нипельные поилки. Контроль дозы осуществляли внесением НТО в небольшое количество воды с последующим разбавлением в объеме воды для поения (менее 300 мл) одного кролика. На втором этапе кроликам опытной группы в течение 20 дней совместно с НТО задавался радиопротектор «Гумат калия 80» в дозе 10^{-4}г/л , который вносили в воду перед дачей кроликам. Контроль изменений в периферической крови проводили на 8-е, 13-е и 20-е сут применения радиопротектора. Расчет поглощенной дозы внутреннего облучения при тритиевом воздействии проводили согласно методике, разработанной на кафедре радиохимии в лаборатории радионуклидов и меченых соединений химического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова. Доза D формировалась по закону

$$D = \int_0^t P_0 e^{-\lambda t} dt, \quad (1)$$

где P_0 – мощность дозы в начальный момент; λ – константа, характеризующая скорость выведения НТО. Полная аналогия с постоянной распада, поэтому обозначается этот коэффициент

тоже λ . Так как постоянная распада трития намного меньше, чем константа, характеризующая биологическое выведение, то постоянной распада можно пренебречь.

Решением данного уравнения будет функция

$$D = \frac{p_0}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t}). \quad (2)$$

Для случая полного выведения нуклида из организма ($t \rightarrow \infty$)

$$D_{\max} = \frac{p_0}{\lambda}. \quad (3)$$

Так как удобно пользоваться вместо постоянной полувыведения периодом полувыведения, то заменяем выражения (2) и (3) на следующие:

$$\varepsilon = 5700 \frac{\text{эВ}}{\text{расп}} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \frac{\text{Дж}}{\text{эВ}} = 9,12 \cdot 10^{-16} \frac{\text{Дж}}{\text{расп}}. \quad (7).$$

Фагоцитарная активность лейкоцитов крови определялась путем введения в пробы крови *in vitro* частиц латекса, опсонизированных белками пуловой сыворотки кроликов, при окраске генцианвиолетом. Оценивали активность фагоцитов микроскопией (увеличение $\times 40$) в камере Горяева, подсчитывали 100 фагоцитов. Количество форменных элементов крови (лейкоциты, эритроциты) определяли методом микроскопии в камере Горяева по стандартным методикам [42]. Содержание гемоглобина – на спектрофотометре «ПЭ-5400УФ» гемиглобинцианидным унифицированным методом с использованием реагента гемоглобин-ольвекс.

Результаты и их обсуждение. «Гумат калия 80» (humic acid, калиевая соль гуминовых кислот), химическая формула – $\text{C}_9\text{H}_8\text{K}_2\text{O}_4$, представляет собой порошок черного цвета, хорошо растворим в воде, pH 9–11. Гуминовые кислоты – сложная смесь высокомолекулярных природных органических соединений, образующихся при разложении отмерших растений под воздействием микроорганизмов. Химические процессы при гумификации протекают таким образом, что с течением времени образуются стойкие соединения, способные противостоять дальнейшим изменениям и минерализации. Процесс образования гуминовых кислот связан с биохимической деятельностью бактерий и низших грибов, а углеводы прямого участия в нем не

$$D = \frac{p_0 T_{1/2}}{\ln 2} (1 - 0,5^{t/T_{1/2}}); \quad (4)$$

$$D_{\max} = \frac{p_0 T_{1/2}}{\ln 2}. \quad (5)$$

Мощность дозы в начальный момент времени будет равна

$$P_0 = \varepsilon A / m. \quad (6)$$

Никаких дополнительных коэффициентов не требуется, если мощность дозы в единицах: [Гр/с = Дж/(кг·с)], средняя энергия на распад [Дж/расп], активность в организме [Бк = расп/с], масса животного [кг].

Перевод средней энергии распада из эВ в Дж

принимают. Источниками гуминовых кислот являются лигнин и его предшественники [43].

Кролики опытной (подвергавшиеся воздействию ВТО) и контрольной групп подвергались клиническому обследованию. Физиологические показатели кроликов контрольной группы на протяжении всего исследования находились в пределах нормы: температура тела – $(38 \pm 0,3)^\circ\text{C}$; частота дыхания – (43 ± 4) раза/мин; частота сердечных сокращений – (173 ± 8) уд/мин; масса – $(4,45 \pm 0,35)$ кг; упитанность – средняя; состояние тела – расслабленное; телосложение – правильное, пропорциональное; костяк – крепкий; кожа – эластичная, чистая; волосяной покров – блестящий, без повреждений и облысения, гладкий, густой, хорошо удерживается в волосяных фолликулах. Реакция на внешнее раздражение адекватная; зрачки подвижные, блестящие, увлажненные; нос мягкий, эластичный, теплый, слегка влажный; слизистая оболочка розовая; волосы вокруг носовых ходов сухие; уши чистые, безболезненные, без повышения местной температуры, расчесов нет; зубы желтоватые, целые, прикус правильный; перкуссия придаточных пазух носа – ясный коробочный звук (экссудата нет); слизистые оболочки бледно-розовые, влажные, без наложений и изъязвлений; гортань и трахея безболезненные; легкие чистые, без хрипов, тип дыхания грудно-брюшной, дыхание ритмичное, легочный звук ясный, брюшная стенка безболезненная.

Лимфатические узлы: подчелюстные, предлопаточные, коленных складок – безболезненные, округло-овальные, подвижные, эластичные, без повышения местной температуры. В ходе исследования отмечены следующие изменения клинических показателей параметров опытной группы кроликов: учащенное дыхание – (59 ± 3) раза/мин, увеличение частоты сердечных сокращений – (225 ± 7) уд/мин. Однако показатели статистически не отличались от нормы.

Периферическая кровь является динамичной и чувствительной тканью в организме животных к воздействию факторов окружающей среды, в т. ч. к ионизирующему излучению. Количество

эритроцитов в периферической крови кроликов при действии НТО увеличивалось на $1,41 \cdot 10^{12}/л$ ($P \leq 0,001$). В присутствии радиопротектора «Гумат калия 80» содержание эритроцитов в опытной группе постепенно снижалось, однако при этом превышало значения контроля: на 8-е сут на $1,26 \cdot 10^{12}/л$ ($P \leq 0,01$), на 13-е сут $1,30 \cdot 10^{12}/л$ ($P \leq 0,001$) (табл.). Количество эритроцитов в периферической крови в опытных группах на 8-е и 13-е сут превышало референсные значения, к 20-му дню применения препарата «Гумат калия 80» количество эритроцитов снизилось и вернулось в диапазон значений контроля и референсных значений.

Гематологические показатели Hematological parameters

Группа	Кол-во животных	Показатель		
		Эритроциты, $10^{12}/л$	Лейкоциты, $10^9/л$	Гемоглобин, г/л
Контроль	15	$6,55 \pm 0,11$	$6,98 \pm 0,32$	$126,19 \pm 5,37$
Интактный контроль (62,29 мГр)	10	$7,96 \pm 0,33^{***}$	$8,94 \pm 0,78^*$	$181,47 \pm 6,19^{***}$
8 день ($C_9H_8K_2O_4$)	10	$7,81 \pm 0,33^{**}$	$8,85 \pm 2,32^{**}$	$93,86 \pm 8,86^{**}, \diamond \diamond$
13 день ($C_9H_8K_2O_4$)	10	$7,85 \pm 0,21^{***}$	$8,02 \pm 1,40^{***}$	$120,14 \pm 7,42 \diamond \diamond$
20 день ($C_9H_8K_2O_4$)	10	$7,35 \pm 0,43$	$6,81 \pm 2,28$	$116,61 \pm 9,28 \diamond \diamond$
Референсные значения [42]		5–7,5	5,9–9,0	100–125

Здесь и далее: * $P \leq 0,05$, ** $P \leq 0,01$; *** $P \leq 0,001$ по отношению к контролю; $\diamond P \leq 0,05$; $\diamond \diamond P \leq 0,05$; $\diamond \diamond \diamond P \leq 0,001$ по отношению к интактному контролю (62,29 мГр).

Содержание лейкоцитов при действии НТО увеличивалось на $1,96 \cdot 10^9/л$ (интактный контроль). Применение радиопротектора в течение 13 дней снижало количество лейкоцитов, однако наблюдался лейкоцитоз на 8-е сут ($P \leq 0,01$) и 13 сут ($P \leq 0,001$) относительно контроля. На 20 сут исследования содержание лейкоцитов в периферической крови кроликов пришло в норму и соответствовало диапазону значений контрольной группы.

Количество гемоглобина при действии НТО возрастало на 55,28 г/л ($P \leq 0,001$). Применение «Гумат калия 80» на 8 сут достоверно снижало уровень гемоглобина по сравнению с контролем ($P \leq 0,01$) и интактным контролем (62,29 мГр) ($P \leq 0,001$), на 13-е сут применения радиопротектора установлено достоверное снижение гемоглобина на 61,33 г/л по отношению к интактному контролю (62,29 мГр) ($P \leq 0,001$). На 20-е сут применения радиопротектора количество гемоглобина уменьшилось на 64,86 г/л ($P \leq 0,001$) по отношению к интактному контролю. На 13-е и

20-е сут использования радиопротектора содержание гемоглобина вернулось в диапазон контрольных и референсных значений.

При использовании иммунологического метода, выявлено достоверное снижение фагоцитарной активности на 8-е сут применения «Гумата калия 80» на 12,18 % ($P \leq 0,001$) относительно данных контрольной группы и на 11,75 % ($P \leq 0,001$) по сравнению со значениями интактной группы (рис. 1). Применение радиопротектора резко увеличивает фагоцитарную активность клеток крови. На 13-е сут использования препарата «Гумат калия 80» фагоцитарная активность превышала на 9,28 % ($P \leq 0,001$) данные контрольной группы и на 9,71 % ($P \leq 0,001$) показатели интактного контроля. На 20-е сут применения радиопротектора наблюдалось снижение фагоцитарной активности относительно результатов, полученных на 13-е сут, однако значение превышало на 3,36 % ($P \leq 0,001$) данные контроля и на 3,79 % ($P \leq 0,01$) показатели интактной группы.

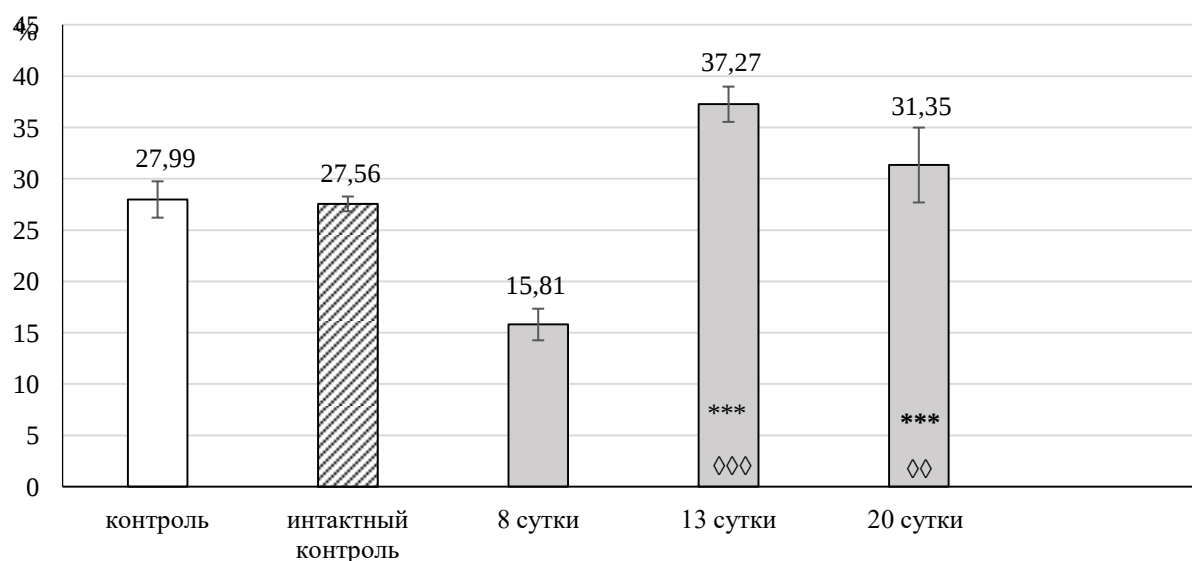


Рис. 1. Фагоцитарная активность
Phagocytic activity

Снижение фагоцитарной активности является негативным фактором и свидетельствует об ослаблении иммунобиологической активности организма из-за воздействия трития, однако применение гуматов приводит к восстановлению фагоцитарной способности клеток крови организма кроликов.

Биохимические показатели сыворотки крови позволяют получить сведения о метаболизме органических и минеральных веществ в организме. Оценка биохимических показателей является универсальным методом определения функциональной активности органов и систем организма. Установлено, что наиболее информативными являлись следующие биохимические показатели: концентрация альфа- и бета-глобулинов, АСТ, АЛТ; содержание щелочной фосфатазы и концентрация фосфора.

При действии НТО количество альфа-глобулинов в сыворотке крови кроликов снижается на 55,83 % ($P \leq 0,001$). Применение «Гумат калия 80» вызывает достоверное увеличение количества альфа-глобулинов в сыворотке крови кроликов на 8-е сут на 1,49 % относительно контроля ($P \leq 0,05$), на 5,05 % относительно интактного контроля (62,29 мГр) ($P \leq 0,001$) (рис. 2).

На 13-е сут использования радиопротектора содержание альфа-глобулинов увеличилось на 3,86 % ($P \leq 0,001$), на 20-е сут – на 3,39 % ($P \leq 0,001$) относительно интактного контроля. На 13-е и 20-е сут применения радиопротектора

содержание альфа-глобулинов возвращалось в пределы контроля, что говорит о восстановлении иммунной функции организма и печени.

Количество бета-глобулинов в сыворотке крови кроликов при действии НТО увеличивается. Применение радиопротектора «Гумат калия 80» снижало содержание бета-глобулинов: на 8-е сут – на 2,89 % ($P \leq 0,01$), на 13-е сут – на 1,37 % ($P \leq 0,05$) относительно интактного контроля (62,29 мГр) (рис. 3).

Содержание бета-глобулинов в присутствии радиопротектора восстанавливалось до значений контроля к 20-м сут применения, что свидетельствует о восстановлении резистентности организма к инфекционным заболеваниям. Концентрация аланинаминотрансферазы (АЛТ) в сыворотке крови при действии НТО резко возрастает – в 3,14 раза ($P \leq 0,001$) относительно контрольной группы. При применении препарата «Гумат калия 80» содержание АЛТ достоверно снижалось: на 8-е сут исследования на 1,22 ммоль/(лхч) ($P \leq 0,001$), на 13-е сут – на 1,42 ммоль/(лхч) ($P \leq 0,001$) и 20-е сут – на 1,74 ммоль/(лхч) ($P \leq 0,001$) относительно интактного контроля (62,29 мГр), (рис. 4).

Содержание АЛТ к 20-му дню применения радиопротектора возвращалось в пределы контрольных значений, что можно объяснить восстановлением гепатоцитов после повреждающего действия НТО.

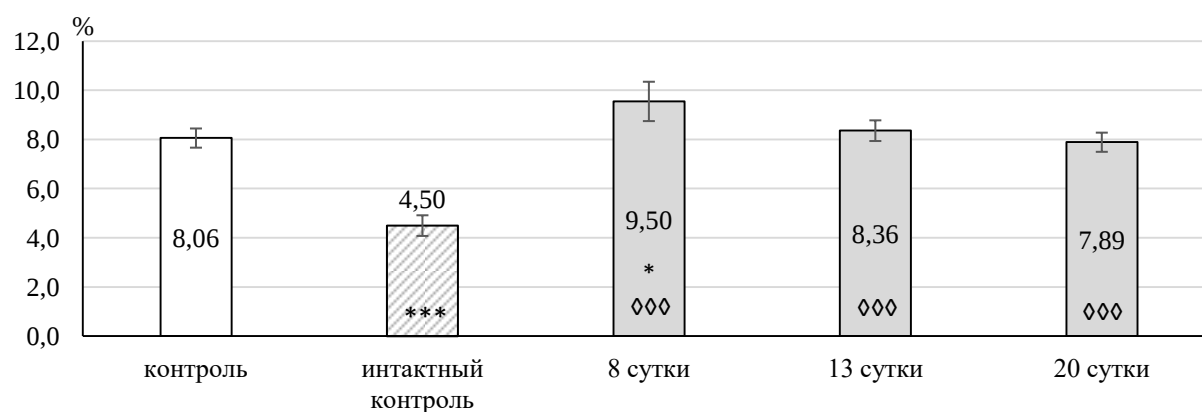


Рис. 2. Содержание альфа-глобулинов в сыворотке крови кроликов
Alpha globulin content in rabbit blood serum

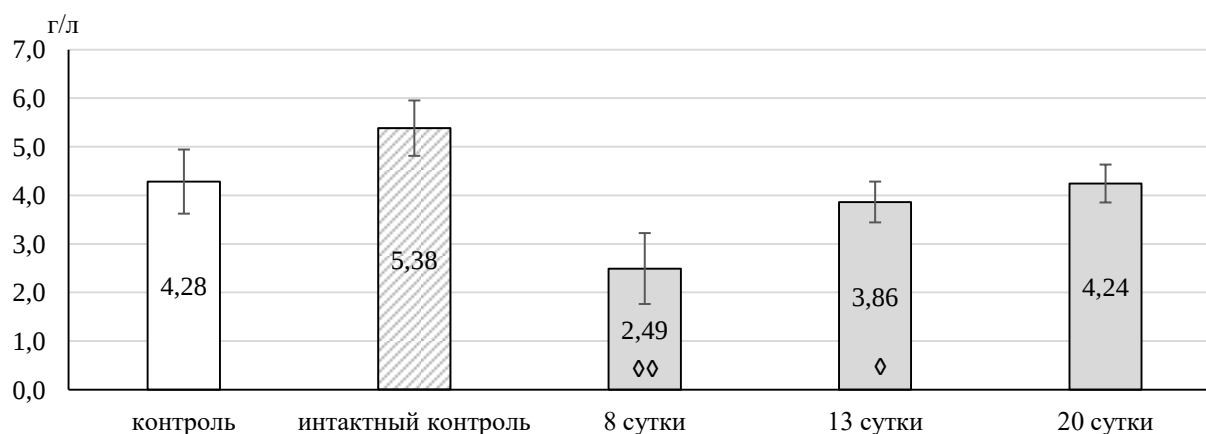


Рис. 3. Количество бета-глобулинов в сыворотке крови кроликов
The amount of beta-globulins in rabbit blood serum

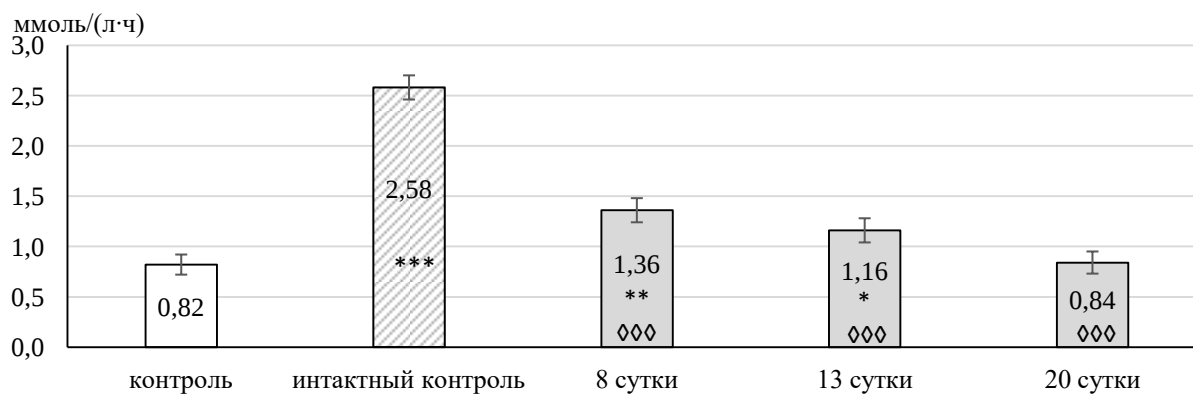


Рис. 4. Количество АЛТ в сыворотке крови кроликов
The amount of ALT in rabbit blood serum

При воздействии тритиевой воды в интактном контроле установлено снижение ($P \leq 0,05$) содержания АСТ в сыворотке крови кроликов (рис. 5). На 8-е сут использования «Гумат калия 80» в сыворотке крови снижалось количество аспаратаминотрансферазы относительно кон-

троля ($P \leq 0,001$) и интактной группы ($P \leq 0,01$). Применение радиопротектора на 13-е сут увеличивает содержание АСТ в сыворотке крови, к 20-му дню количество АСТ возвращалось в пределы контрольных значений, что свидетельствует о восстановлении функции гепатоцитов.

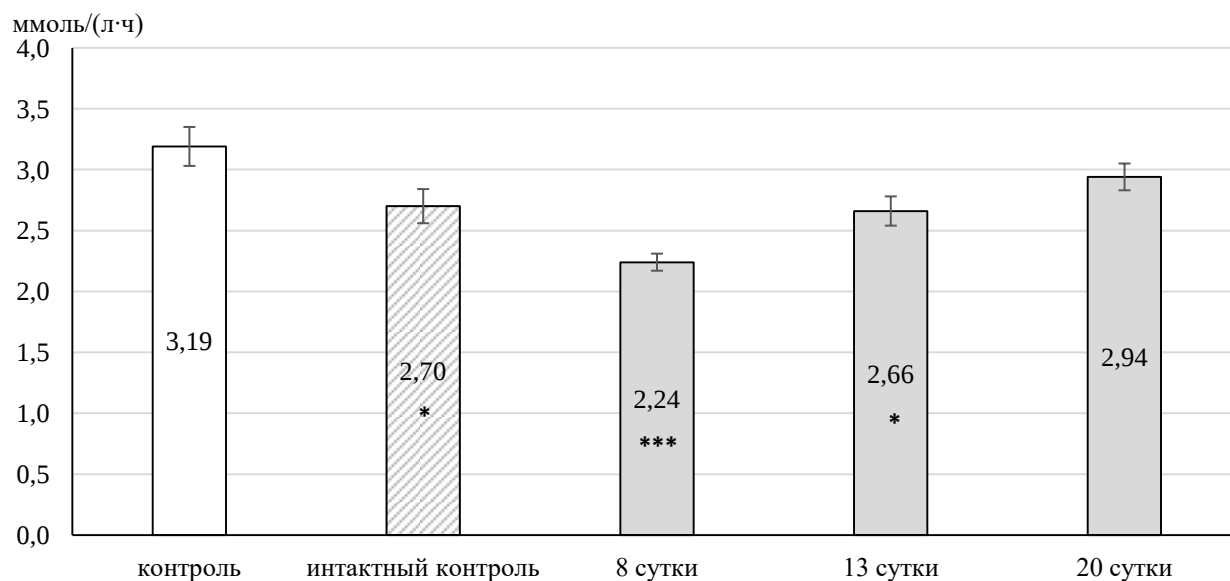


Рис. 5. Количество АСТ в сыворотке крови кроликов
The amount of AST in rabbit blood serum

Содержание щелочной фосфатазы при применении «Гумат калия 80» достоверно снижалось в сыворотке крови кроликов на 8-е сут –

на 119,42 ммоль/(л·ч) ($P \leq 0,001$), на 13-е сут – на 53,57 ммоль/(л·ч) ($P \leq 0,01$) относительно интактного контроля (рис. 6).

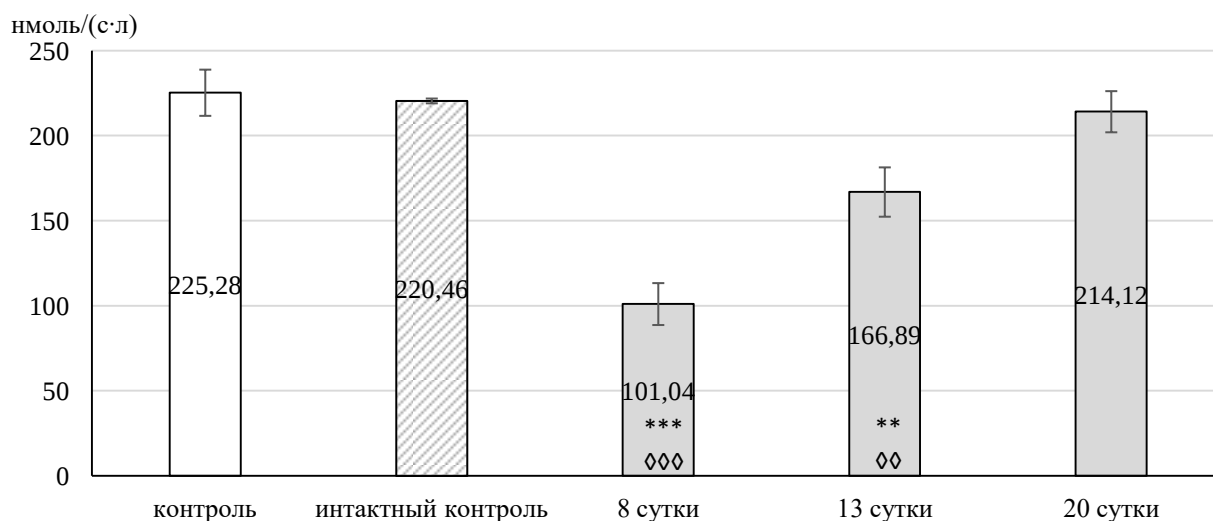


Рис. 6. Количество щелочной фосфатазы в сыворотке крови
The amount of alkaline phosphatase in blood serum

Применение радиопротектора на 20-е сут возвращало содержание щелочной фосфатазы в значения контрольной группы, что свидетельствует о восстановлении функции печени.

Таким образом, можно заключить, что действие тритиевой воды в субклинических дозах на организм кроликов изменяет биохимические

показатели. Действие НТО в дозе 62,29 мГр в сыворотке крови снижает количество альфа-глобулинов, АСТ и щелочной фосфатазы, при этом одновременно увеличивает содержание бета-глобулинов и АЛТ. На 20-е сут применения радиопротектора «Гумат калия 80» достоверно увеличивается количество альфа-глобулинов и

АСТ. Препарат к 20-м сут применения в сыроворотке крови кроликов снижает до уровня контроля содержание бета-глобулинов, АЛТ и щелочной фосфатазы. Восстановление биохимических показателей свидетельствует о восстановлении функции гепатоцитов, нефронов после действия НТО и увеличении резистентности организма.

Заключение. Воздействие НТО в русле крови вызывает эритроцитоз, лейкоцитоз и увеличение уровня гемоглобина, что связано со стимулирующим действием трития на организм

кроликов. Действие НТО в дозе 62,29 мГр снижает количество альфа-глобулинов, АСТ, щелочной фосфатазы и увеличивает содержание бета-глобулинов и АЛТ, что свидетельствует о нарушении функции печени и почек. Применение радиопротектора «Гумат калия 80» на 20-й день восстанавливает количество форменных элементов крови, биохимические показатели крови кроликов до контрольных значений. В качестве радиопротектора рекомендуется использование «Гумат калия 80» в дозе 10^{-4} г/л при тритиевом воздействии.

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.Г. Основы радиохимии и радиоэкологии. М.; Баку, 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. Асаенко И.С., Навоша А.И. Радиационная безопасность: учебное пособие. Минск, 2004. 105 с.
5. Басова М.А. Дозиметрия внутреннего облучения крупного рогатого скота радиоактивными изотопами йода: магистерская дис. Обнинск, 2021. 91 с.
6. Бондарева Л.Г. Закономерности распределения и уровни воздействия антропогенных загрязнений на речную экосистему: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М., 2020. 36 с.
7. Васянович М.Е., Екидин А.А., Крышев А.И., и др. Воздействие на население радиоактивного излучения от H^3 и C^{14} , поступающего в атмосферу с выбросами АЭС России. В сб.: VIII съезд по радиационным исследованиям. М., 2021. С. 374.
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. Москва: 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. Hayashida K., Sano M., Ohsawa I., et al. Inhalation of hydrogen gas reduces infarct size in the rat model of myocardial ischemia-reperfusion injury // Biochem Biophys Res Commun. 2008. Vol. 373, № 1. P. 30–35. DOI: 10.1016/j.bbrc.2008.05.165.
11. Юхимчук А.А. Тритиевая наука и технологии в России // Химическая промышленность сегодня. 2019. № 3. С. 40–47. EDN: WRIPNQ.
12. Комочков М.М. Дозиметрия ионизирующих излучений: учебное пособие. Дубна, 2006. 76 с. EDN: QMJFGB.
13. Коротовских О.И. Влияние малых доз ионизирующего излучения на биологические объекты: магистерская дис. Екатеринбург: Уральский федер. ун-т им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, 2020. 63 с.
14. Горшкова Т.А., Комарова Л.Н., Кабакова Н.М., и др. Особенности проявления адаптивной реакции дрожжевых клеток на действие ионизирующего излучения. В сб.: Пятый съезд по радиационным исследованиям. Т. 1. М., 2006. С. 144.
15. Израэль Ю.А., ред. Атлас Восточно-Уральского и Карачаевского радиоактивных следов, включая прогноз до 2047 года. М., 2013. 140 с.
16. Жигарев А.А. Влияние ионизирующего излучения на организм кроликов. Обзор литературы. В сб.: XV Международная научно-практическая конференция молодых ученых «Инновацион-

- ные тенденции развития российской науки». Красноярск: Красноярский ГАУ, 2022. С. 155–157. EDN: REGRHT.
17. Кириллов В.Ф., Черкасов Е.Ф. Радиационная гигиена. М.: Медицина, 2012. 246 с.
 18. Baeri M., Mohammadi-Nejad S., Rahimifard M., et al. Molecular and biochemical evidence on the protective role of ellagic acid and silybin against oxidative stress-induced cellular aging // *Mol Cell Biochem*. 2018. Vol. 441, № 1-2. P. 21–33. DOI: 10.1007/s11010-017-3172-0. EDN: YDNCKT.
 19. Фокин А.Д., Лурье А.А., Торшин С.П. Сельскохозяйственная радиология: учебник. М.: Дрофа, 2005. 367 с. EDN: QKWZSN.
 20. Чеботина М.Я., Николин О.А., Мурашова Е.Л. Поступление трития на земную поверхность с дождевыми осадками // *Водное хозяйство России*. 2012. № 5. С. 77–87. EDN: PEIEWL.
 21. Бурмистров Д.Е. Влияние наночастиц оксидов металлов, заключенных в полимеры, на жизнеспособность прокариотических и эукариотических клеток: автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2023. 26 с. EDN: WVDSTU.
 22. Balonov M.I., Muksinova K.N., Mushkacheva G.S. Tritium radiobiological effects in mammals: review of experiments of the last decade in Russia // *Health physics*. 1993. Vol. 65, № 6. P. 713–726. DOI: 10.1097/00004032-199312000-00009. EDN: XOGROU.
 23. Pietrzak-Flis Z., Radwan I., Indeka L. Tritium in rabbits after ingestion of freeze-dried tritiated food and tritiated water // *Radiat Res*. 1978. Vol. 76, № 2. P. 420–428. DOI: 10.2307/3574790.
 24. Pietrzak-Flis Z., Wasilewska-Gomulka M. Effect of lifetime intake of organically bound tritium and tritiated water on the oocytes of rats // *Radiation and environmental biophysics*. 1984. Vol. 23, № 1. P. 61–68. DOI: 10.1007/BF01326737.
 25. Iketani M., Ohsawa I. Molecular hydrogen as a neuroprotective agent. *Curr Neuropharmacol*. 2017. Vol. 14, № 4. P. 24–31. DOI: 10.2174/1570159X14666160607205417. EDN: FWTLSF.
 26. Hodgson A., Scott J.E., Fell T.P., et al. Doses from the consumption of Cardiff Bay flounder containing organically bound tritium // *Journal of radiological protection*. 2005. Vol. 25, № 2. P. 149. DOI: 10.1088/0952-4746/25/2/003.
 27. Гребенюк А.Н., Легеза В.И., Гладких В.Д., и др. Практическое руководство по использованию медицинских средств противорадиационной защиты при чрезвычайных ситуациях и обеспечению ими аварийных медико-санитарных формирований и региональных аварийных центров. М.: Комментарий, 2015. 304 с.
 28. Вагин К.Н. Разработка противорадиационного защитного препарата на основе веществ микробного происхождения: дис. ... д-ра биол. наук. Чебоксары, 2020. 286 с.
 29. Li H., Li R., Yin Ya., et al. Hydrogen-rich water attenuates the radiotoxicity induced by tritium exposure *in vitro* and *in vivo* // *J Radiat Res*. 2021. Vol. 62, № 1. P. 34–45. DOI: 10.1093/jrr/rraa104. EDN: JAXIIP.
 30. Ноговицына Е. И. Активные формы кислорода и низкодозовое влияние трития на бактериальные клетки: магистерская дис. Красноярск: СФУ, 2019. 53 с.
 31. Серебряный А.М., Антошина М.М., Алещенко А.В., и др. О механизме адаптивного ответа. Оценка способности лимфоцитов крови человека к радиационному адаптивному ответу с помощью разных критериев // *Цитология*. 2008. Т. 50, № 5. С. 462–466. EDN: JSAZDJ.
 32. Булдаков Л.А., Калистратова В.С. Радиационное воздействие на организм – положительные эффекты. Москва: Информ-Атом, 2005. 247 с.
 33. Жолобова М.В., Липкович И.Э., Лемешко К.В. Средства индивидуальной защиты животных при чрезвычайных ситуациях техногенного характера // *Инновации. Наука. Образование*. 2023. № 72 (январь). С. 16–22. EDN: BNLNVM.
 34. Способ защиты животных от высокодозового ионизирующего излучения [Электронный ресурс] // Доступно по: <https://findpatent.ru/patent/270/2701155.html>. Ссылка активна на 20.05.2023.
 35. Муслимова З.Г., Азизов И.В. Влияние гуматов Na, K, Fe на активность антиоксидантной системы γ-облученных проростков пшеницы // *Известия КГТУ*. 2015. № 36. С. 126–132. EDN: TIIIN.
 36. Пухова Г.Г., Дружина Н.А., Степченко Л.М., и др. Влияние гумата натрия на животных, облученных в летальных дозах // *Радиобиология*. 1987. Т. 27, № 5. С. 650–653. EDN: XDIZIT.

37. Бельдин В.Е. Гуминовые кислоты как адсорбент микотоксинов // Птицеводство. 2021. № 7-8. С. 22–24. EDN: DUCFAQ.
38. Саенко А.Г., Лапардин М.П., Посохова А.В., и др. Экспериментальное обоснование радиопротекторного эффекта гуматов натрия из гуминовых кислот окисленного бурого угля. В сб.: Медико-биологические аспекты рационализации питания населения на Дальнем Востоке. Владивосток, 1995. С. 2–3.
39. Федотова А.С., Турицына Е.Г. Влияние малых доз ионизирующего излучения при облучении *in vitro* на показатели крови // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 9. С. 1214–1224. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-09-1214-1224. EDN: NRSDIG.
40. 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. EDN: QDESLM.
41. Федотова А.С. Изменение показателей периферической крови овец при действии малых доз ионизирующего излучения // Вестник РГАУ. 2022. Т. 14, № 4. С. 83–89. DOI: 10.36508/RSATU.2022.19.47.012. EDN: LMYBXW.
42. Смолин С.Г. Физиология системы крови: методические указания. Красноярск, 2014. С. 24–26.
43. Гуминовая кислота калия ($C_9H_8K_2O_4$) // Интернет-магазин GreenAgrolab. Доступно по: URL: <https://greenagrolab.ru/products/guminovaya-kislota-kaliya-c9h8k2o4---10-gramm>. Ссылка активна на 11.10.2024.

Reference

1. Utkin SS. *Obosnovanie reshenij po dolgovremennoj bezopasnosti krupnyh hranilisch zhidkih radioaktivnyh othodov* [dissertation]. Moscow; 2016. 220 p. (In Russ.).
2. Abramov AA. *Fundamentals of radiochemistry and radioecology: a methodological guide to the course Fundamentals of radiochemistry and radioecology*. Moscow; Baku; 2011. 138 p. (In Russ.).
3. Agdanceva EN, Baranova AA, Bazhukova IN. Issledovanie adaptivnoj reakcii populjacji drozhzhovykh kletok na dejstvie ioniziruyushhego izlucheniya. In: *IV Mezhdunarodnaya molodezhnaya nauchnaya konferenciya*. Ekaterinburg: UrFU; 2017. P. 162–163. (In Russ.).
4. Asaenok IS, Navosha AI. *Radiacionnaya bezopasnost': uchebnoe posobie*. Minsk; 2004. 105 p. (In Russ.).
5. Basova MA. *Dozimetriya vnutrennego oblucheniya krupnogo rogatogo skota radioaktivny`mi izotopami joda* [dissertation]. Obninsk; 2021. 91 p. (In Russ.).
6. Bondareva LG. *Zakonomernosti raspredeleniya i urovni vozdejstviya antropogennyh zagryaznenij na rechnuyu e`kosistemu* [abstract dissertation]. Moscow; 2020. 36 p. (In Russ.).
7. Vasyanovich ME, Ekinin AA, Kry`shev AI, et al. Vozdejstvie na naselenie radioaktivnogo izlucheniya ot  $H^3$  i  $C^{14}$ , postupayushhego v atmosferu s vy`brosami AE`S Rossii. In: *VIII s`ezd po radiacionny`m issledovaniyam*. Moscow; 2021. 374 p. (In Russ.).
8. Barchukov VG, Kochetkov OA. Formirovanie sovremenny`h podhodov k ocenke radiacionnoj bezopasnosti tritiya i ego soedinenij. In: *VIII s`ezd po radiacionny`m issledovaniyam*. Moscow: Ob`edinenny`j institut yaderny`h issledovaniy; 2021. P. 366. (In Russ.).
9. Livanczova SYu, Snakin VV. Tehnogenny`j tritij v okruzhayushhej srede. *Zhizn` Zemli*. 2014;35-36:261-269. (In Russ.). EDN: ZDIPPD.
10. Hayashida K, Sano M, Ohsawa I, et al. Inhalation of hydrogen gas reduces infarct size in the rat model of myocardial ischemia-reperfusion injury. *Biochem Biophys Res Commun*. 2008;373(1):30-35. DOI: 10.1016/j.bbrc.2008.05.165.
11. Yukhimchuk AA. Tritium science and technology in Russia. *Chemical industry today*. 2019;3:40-47. (In Russ.). EDN: WRIPNQ.
12. Komochkov MM. *Dozimetriya ioniziruyushhih izluchenij: uchebnoe posobie*. Dubna; 2006. 76 p. (In Russ.). EDN: QMJFGB.

13. Korotovskih OI. Vliyanie mal'kh doz ioniziruyushhego izlucheniya na biologicheskie ob`ekty [dissertation]. Ekaterinburg; 2020. 63 p. (In Russ.).
14. Gorshkova TA, Komarova LN, Kabakova NM, et al. Osobennosti proyavleniya adaptivnoj reakcii drozhzhevykh kletok na dejstvie ioniziruyushhego izlucheniya. In: *Pyatyj s`ezd po radiacionny'm issledovaniyam*. Moscow; 2006;1:144. (In Russ.).
15. Izrael YuA, editor. *Atlas Vostochno-Ural'skogo i Karachaevskogo radioaktivnykh sledov, vklyuchaya prognoz do 2047 goda*. Moscow; 2013. 140 p. (In Russ.).
16. Zhigarev AA. The effect of ionizing radiation on the body of rabbits. Literature review In: *XV Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya molodykh uchenykh «Innovacionny'e tendencii razvitiya rossijskoj nauki»*. Krasnoyarsk: Krasnoyarsk State Agrarian University, 23–25 March. 2022. Krasnoyarsk, 2022. P. 155–157. (In Russ.). EDN: REGRHT.
17. Kirillov VF, Cherkasov EF. *Radiacionnaya gigiena*. Moscow: Medicina; 2012. 246 p. (In Russ.).
18. Baeri M, Mohammadi-Nejad S., Rahimifard M, et al. Molecular and biochemical evidence on the protective role of ellagic acid and silybin against oxidative stress-induced cellular aging. *Mol Cell Biochem*. 2018;441(1-2):21-33. DOI: 10.1007/s11010-017-3172-0. EDN: YDNCKT.
19. Fokin AD, Lur'e AA, Torshin SP. *Sel'skohozyajstvennaya radiologiya: uchebnik*. Moscow: Drofa; 2005. 367 p. (In Russ.). EDN: QKWZSN.
20. Chebotina MY, Nikolin OA, Murashova EL. Tritium transport to the earth surface with rainfall. *Water Sector Of Russia: Problems, Technologies, Management*. 2012;5:77-87. (In Russ.). EDN: PEIEWL.
21. Burmistrov DE. *Vliyanie nanochastits oksidov metallov, zaklyuchennykh v polimery, na zhiznesposobnost' prokarioticheskikh i eukarioticheskikh kletok* [abstract dissertation]. Moscow; 2023. 26 p. (In Russ.). EDN: WVDSTU.
22. Balonov MI, Muksinova KN, Mushkacheva GS. Tritium radiobiological effects in mammals: review of experiments of the last decade in Russia. *Health physics*. 1993;65(6):713-726. DOI: 10.1097/00004032-199312000-00009. EDN: XOGROU.
23. Pietrzak-Flis Z, Radwan I, Indeka L. Tritium in rabbits after ingestion of freeze-dried tritiated food and tritiated water. *Radiat Res*. 1978;76(2):420-428. DOI: 10.2307/3574790.
24. Pietrzak-Flis Z, Wasilewska-Gomulka M. Effect of lifetime intake of organically bound tritium and tritiated water on the oocytes of rats. *Radiation and environmental biophysics*. 1984;23(1):61-68. DOI: 10.1007/BF01326737.
25. Iketani M, Ohsawa I. Molecular hydrogen as a neuroprotective agent. *Curr Neuropharmacol*. 2017;14(4):24-31. DOI: 10.2174/1570159X14666160607205417. EDN: FWTLSF.
26. Hodgson A, Scott JE, Fell TP, et al. Doses from the consumption of Cardiff Bay flounder containing organically bound tritium. *Journal of radiological protection*. 2005;25(2):149. DOI: 10.1088/0952-4746/25/2/003.
27. Grebenyuk AN, Legeza VI, Gladkih VD, et al. *Prakticheskoe rukovodstvo po ispol'zovaniyu medicinskih sredstv protivoradiacionnoj zashhity pri chrezvy'chajnykh situatsiyah i obespecheniyu imi avarijnykh mediko-sanitarnykh formirovanij i regional'nykh avarijnykh centrov*. Moscow: Kommentarij; 2015. 304 p. (In Russ.).
28. Vagin KN. *Razrabotka protivoradiacionnogo zashhitnogo preparata na osnove veshhestv mikrobnogo proishozhdeniya* [dissertation]. Cheboksary; 2020. 286 p. (In Russ.).
29. Li H, Yin Y, Liu J, et al. Hydrogen-rich water attenuates the radiotoxicity induced by tritium exposure in vitro and in vivo. *J Radiat Res*. 2021;62(1):34-45. DOI: 10.1093/jrr/rraa104. EDN: JAXIIP.
30. Nogovicyna EI. *Aktivny'e formy kisloroda i nizkodozovoe vliyanie tritiya na bakterial'ny'e kletki* [dissertation]. Krasnoyarsk: SFU; 2019. 53 p. (In Russ.).
31. Serebryanyi AM, Aleschenko AV, Antoshchina MM, et al. Mechanism of adaptive response: estimation of human lymphocyte adaptive response to radiation using various criteria. *Tsitologiya*. 2008;50(5):462-466. (In Russ.). EDN: JSAZDJ.
32. Buldakov LA, Kalistratova VS. *Radiacionnoe vozdejstvie na organizm – polozhitel'ny'e efekty*. Moscow: Inform-Atom Publ.; 2005. 247 p. (In Russ.).

33. Zholobova MV, Lipkovich IE, Lemeshko KV. Sredstva individual'noj zashhity` zhivotny`h pri chrezvy`chajny`h situacijah texnogenного haraktera. *Innovacii. Nauka. Obrazovanie*. 2023;72:16-22. (In Russ.). EDN: BNLNVM.
34. Sposob zashhity` zhivotny`h ot vy`sokodozovogo ioniziruyushhego izlucheniya. Available in: <https://findpatent.ru/patent/270/2701155.html>. Accessed: 20.05.2023. (In Russ.).
35. Muslimova ZG, Azizov IV. Vliyanie gumatov Na, K, Fe na aktivnost` antioksidantnoj sistemy` y-obluchenny`h prorostkov pshenicy. *KSTU News*. 2015;36:126-132. (In Russ.). EDN: TIIIN.
36. Pukhova GG, Druzhina NA, Stepchenko LM, et al. The influence of sodium humate on animals irradiated with lethal doses. *Radiobiologiya*. 1987;27(5):650-653. (In Russ.). EDN: XDIZIT.
37. Beldin VE. Humic acids as mycotoxin absorbent. *Ptitsevodstvo*. 2021;7-8:22-24. (In Russ.). EDN: DUCFAQ.
38. Saenko AG, Lapardin MP, Posoxova AV, et al. E`ksperimental`noe obosnovanie radioprotektnogo e`ffekta gumatov natriya iz guminovy`h kislot okislenного burogo uglya. In: *Mediko-biologicheskie aspekty` racionalizacii pitaniya naseleniya na Dal`nem Vostoke*. Vladivostok; 1995. P. 2–3. (In Russ.).
39. Fedotova AS, Turitsyna EG. Influence of low doses of ionizing radiation during *in vitro* irradiation on blood parameters. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024;24(9):1214-1224. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-09-1214-1224. (In Russ.). EDN: NRSDIG.
40. Fedotova AS, Zhigarev AA, Makarskaya GV. Radiobiological effects in peripheral blood of cattle at absorbed doses of 4 and 5 mGr. *Ucheny`e zapiski uchrezhdeniya obrazovaniya «Vitebskaya ordena «Znak pocheta» gosudarstvennaya akademiya veterinarnoj mediciny»*. 2022;58(3):65-73. (In Russ.). DOI: 10.52368/2078-0109-2022-58-3-65-73. EDN: QDESLM.
41. Fedotova AS. Change in indicators of sheep peripheral blood under the impact of low doses of ionizing radiation. *Bulletin Of The Ryazan State Agrotechnological University Named After P.A. Kostychev*. 2022;14(4):83-89. (In Russ.). DOI: 10.36508/RSATU.2022.19.47.012. EDN: LMYBXW.
42. Smolin CG. *Fiziologiya sistemy` krovi: metodicheskie ukazaniya*. Krasnoyarsk; 2014. P. 24–26. (In Russ.).
43. Guminovaya kislota kaliya (C₉H₈K₂O₄). Internet-magazin GreenAgrolab Available in: <https://greenagrolab.ru/products/guminovaya-kislota-kaliya-c9h8k2o4---10-gramm>. Accessed: 11.10.2024.

Статья принята к публикации 01.04.2025 / The article accepted for publication 01.04.2025.

Информация об авторах:

Александр Алексеевич Жигарев, аспирант, ассистент кафедры внутренних незаразных болезней, акушерства и физиологии сельскохозяйственных животных

Information about the authors:

Alexander Alekseevich Zhigarev, Postgraduate student, Assistant at the Department of Internal Non-Communicable Diseases, Obstetrics and Physiology of Farm Animals

