



Токсикологическая оценка интенсификатора процессов очистки сточных вод и биодеструктора отходов животноводства

Е. С. Юркевич¹✉, В. И. Иода¹, С. Н. Камлюк¹

¹Государственное учреждение «Республиканский центр гигиены, эпидемиологии и общественного здоровья», г. Минск, Беларусь,
e-mail: yrkevich.elena@gmail.com

Поступила в редакцию: 30.09.2025 г.; после доработки: 06.11.2025 г.; принята в печать: 07.11.2025 г.

Аннотация – В работе представлены результаты новых исследований продуктов микробиологического синтеза, содержащих в качестве действующего начала (далее – д. н.) микробные клетки рода *Bacillus* – интенсификатора процессов очистки сточных вод и биодеструктора навоза. Изучена клиническая картина острого отравления, установлены параметры острой токсичности при однократном внутривенном введении и подкожном нанесении белым крысам; изучено сенсибилизирующее действие на белых мышах, раздражающее действие при однократных аппликациях на неповрежденные кожные покровы белых крыс и ирритативное действие при однократном воздействии на слизистые оболочки глаз кроликов-альбиносов; изучены особенности проявления токсического действия при повторном внутривенном введении белым крысам. По результатам, полученным в условиях острого и подострого экспериментов установлено, что биодеструктор навоза (д. н. – микробные клетки рода *Bacillus* в концентрации $\geq 10^7$ КОЕ/г) и биоактиватор (д. н. – микробные клетки рода *Bacillus* в концентрации $\geq 10^9$ КОЕ/г) не оказывают общетоксического и специфического действия на организм теплокровных животных. Экспериментальные данные свидетельствуют о благоприятном профиле безопасности исследуемых биопрепаратов и позволяют классифицировать их как продукты с допустимым уровнем риска для здоровья человека при их целевом использовании в агропромышленном комплексе с соблюдением установленных гигиенических регламентов и рекомендаций по применению.

Ключевые слова: биодеструктор, биоактиватор, агропромышленный комплекс, микробиологический синтез, токсические свойства.

Chemical hazard sources. Hazardous chemical substances

Toxicological evaluation of a wastewater treatment intensifier and livestock waste biodegrader

Elena S. Yurkevich¹✉, Victoria I. Ioda¹, and Svetlana N. Kamliuk¹

¹State Institution "Republican Center for Hygiene, Epidemiology and Public Health", Minsk, Belarus, e-mail: yrkevich.elena@gmail.com

Received: September 30, 2025; Revised: November 6, 2025; Accepted: November 07, 2025

Abstract – This paper presents the results of new studies of microbiologically synthesized products containing microbial cells of the genus *Bacillus* as an active ingredient (hereinafter referred to as a. i.) – an intensifier of wastewater treatment processes and a biodegrader of manure. The clinical picture of acute poisoning was studied, and acute toxicity parameters were established following a single intragastric administration and cutaneous application to white rats. The sensitizing effect on white mice, the irritant effect following a single application to intact skin of white rats, and the irritant effect following a single application to the mucous membranes of the eyes of albino rabbits were studied. The characteristics of the toxic effect following repeated intragastric administration to white rats were also examined. Based on the results obtained under acute and subacute experimental conditions, it was established that the manure biodestructor (a. i., microbial cells of the genus *Bacillus* at a concentration of $\geq 10^7$ colony-forming unit per gram (hereinafter referred to as CFU/g) and bioactivator (a. i., microbial cells of the genus *Bacillus* at a concentration of $\geq 10^9$ CFU/g) do not have a general toxic or specific effect on the body of warm-blooded animals. Experimental data indicate a favorable safety profile of the studied biologics and allow them to be classified as products with an acceptable level of risk to human health when used for their intended purpose in the agro-industrial complex, in compliance with established hygienic regulations and application recommendations.

Keywords: biodestructor, bioactivator, agro-industrial complex, microbiological synthesis, toxic properties.

ВВЕДЕНИЕ

В условиях современного промышленного сельскохозяйственного производства актуализируется проблема охраны окружающей среды и создания экологически благоприятных условий для проживания человека. Неприятные запахи органического происхождения, возникающие в районах размещения животноводческих и птицеводческих комплексов, создают дискомфорт для работников и населения, проживающего вблизи данных объектов. Повышенная концентрация аммиака в воздухе, особенно в зоне непосредственного обитания животных и птиц, оказывает негативное влияние на их физиологическое состояние. Это проявляется в снижении аппетита, ослаблении иммунной системы, изменении поведенческих паттернов, что приводит к ухудшению показателей прироста массы тела, увеличению заболеваемости и смертности среди животных и птиц.

Одним из эффективных способов повышения эффективности очистки сточных вод на перерабатывающих предприятиях, животноводческих комплексах, птицефабриках и в жилищно-коммунальном хозяйстве является применение биотехнологий. В частности, широко используются биопрепараты, которые предназначены для обеззараживания, очистки и переработки навозных стоков и твердых отходов. Эти препараты основаны на бактериях-антагонистах, обладающих высокой антимикробной активностью против патогенных и условно-патогенных микроорганизмов, а также значительной ферментативной активностью. Микробиологическая трансформация отходов является предпочтительным методом по сравнению с химическими или физическими процессами переработки. Это объясняется тем, что микробиологические процессы происходят в естественных условиях и позволяют микроорганизмам перерабатывать большинство органических соединений [1].

Имеющееся на текущий момент разнообразие микробиологического состава биопрепаратов, при условии соблюдения их дозировок и иных регламентов использования позволяет поддерживать регулирование микробной переработки отходов, интенсифицировать минерализацию исходного субстрата и активизировать биосинтез новых соединений [1, 2]. С целью снижения химической нагрузки на теплокровных животных и человека, и обоснования безопасного применения новых составов биологических препаратов для санитарно-гигиенической обработки стоков необходимо проводить токсиколого-гигиенические исследования по выявлению опасных свойств и оценки токсикометрических параметров, а также разработку мер по безопасному обращению данной продукции [3].

Цель представленной работы состоит в оценке комплексного риска воздействия биодеструктора навоза (БДН) (д. н. (действующее начало) – микробные клетки рода *Bacillus* в концентрации $\geq 10^7$ КОЕ/г) и биоактиватора (БА) (д. н. – микробные клетки рода *Bacillus* в концентрации $\geq 10^9$ КОЕ/г) с определением способности накапливаться в организме и оказывать неблагоприятное воздействие на уровне проявления смертельных эффектов, а также в оценке влияния на функциональное состояние органов и систем подопытных животных.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Объектами исследования служили продукты микробиологического синтеза отечественного производства: БДН, состоящий из многокомпонентного комплекса живых непатогенных бактерий рода *Bacillus* и продуктов их синтеза в наполнителе, и БА, представляющий собой многокомпонентный комплекс живых непатогенных бактерий рода *Bacillus* в наполнителе (табл. 1).

БДН – сыпучий порошок от светло-серого до темно-серого цвета, со слабым специфическим запахом, без посторонних примесей и плесени. Предназначен для санитарно-гигиенической обработки стоков, подстилок и животноводческих помещений для быстрого разложения органических отходов, устранения неприятного запаха (аммиака, сероводорода, меркаптанов и др.), очистки сточных вод, подготовки места содержания животных (в том числе птицы) [4].

БА – сыпучий порошок от светло-серого до темно-серого цвета, со слабым специфическим запахом, без посторонних примесей и плесени. Предназначен для санитарно-гигиенической обработки выгребных ям, стоков, подстилок и животноводческих помещений с целью ускорения разложения органических отходов, устранения неприятного запаха (аммиака, сероводорода, меркаптанов и др.), очистки сточных вод, подготовки мест содержания животных и птицы [5].

Таблица 1. Действующее начало и нормируемые показатели БДН и БА
Table 1. Active ingredient and standardized indicators of the MBD and BA

Нормируемые показатели	Биодеструктор навоза	Биоактиватор
Количество микробных клеток рода <i>Bacillus</i> , КОЕ/г	не менее 10^7	не менее 10^9
Массовая доля влаги, %	не более 10,0	не более 12,0

Предметом исследований являлись пероральная токсичность, раздражающее действие на кожу и слизистые, сенсибилизирующее и кумулятивное действие; оценка основных токсикологических опасностей [3, 6-7].

Для оценки токсического действия исследуемых образцов применяли комплекс токсикологических методов, позволяющих оценить острые и подострые эффекты.

Объем токсикологических исследований предусматривал изучение:

- клинической картины острого отравления белых крыс при различных путях поступления с установлением параметров острой токсичности;
- сенсибилизирующего действия на белых мышах;
- раздражающего действия при однократных аппликациях на неповрежденные кожные покровы белых крыс и ирритативного действия при однократном воздействии на слизистые оболочки глаз кроликов-альбиносов;
- особенностей проявления токсического действия при повторном внутрижелудочном введении белым крысам (системная токсичность, кумулятивность).

Согласно данным литературы, штаммы микроорганизмов *Bacillus*, входящие в состав препаратов, не токсичны, не токсигенны, не обладают диссеминацией во внутренних органах и не патогенны для теплокровных животных [8–13].

Исследования проводили согласно требованиям действующих технических нормативных правовых актов [3, 6, 7].

Обращение с животными соответствовало этическим принципам надлежащей лабораторной практики и международным требованиям [14].

Для сравнения групп применялся статистический непараметрический критерий Манна – Уитни – Уилкоксона (англ. *Mann–Whitney–Wilcoxon, MWW*), используемый для оценки различий между двумя независимыми выборками по уровню какого-либо признака, измеренного количественно, позволяющий выявлять различия в значении параметра между малыми выборками [15–17].

Статистическую обработку данных проводили с использованием свободно распространяемого программного обеспечения R (версия 4.3.1, R Foundation for Statistical Computing).

Оценка БДН и БА по основным токсикологическим опасностям для процессов их производства проведена в соответствии с ГОСТ 12.1.007-76 на основании полученных в результате эксперимента данных [18].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Установление параметров острой токсичности при однократном внутрижелудочном введении

Для токсикологических исследований использовали препараты в виде 50%-ной водной взвеси.

В ходе исследования острой токсичности препараты вводили однократно интрагастрально белым крысам в дозе 3 мл на 200 г массы тела. Изучаемые вещества тестировали в следующих концентрациях: 2500,0; 3160,0; 3980,0 и

5010,0 мг/кг [3]. В первые полчаса после введения наблюдались признаки возбуждения, повышенная двигательная активность, гиперемия и увлажнение слизистых оболочек ротовой полости. В течение 1-2 часов эти симптомы сменялись вялостью. Летальных исходов не зафиксировано. В последующие 14 дней поведение подопытных животных не отличалось от контрольных, которым в аналогичных объемах вводили дистиллированную воду [3].

Статистический анализ не выявил значимых различий ($p > 0,05$) в выживаемости и клиническом состоянии животных между опытными и контрольными группами на протяжении всего 14-суточного периода наблюдения.

DL_{50} БДН и БА составляет более 5000,0 мг/кг. Следовательно, по параметрам острой внутрижелудочной токсичности БДН и БА относятся к малоопасным веществам (4 класс опасности по ГОСТ 12. 1. 007 – 76 ССБТ [3, 18, 19]).

Установление параметров острой токсичности при накожном нанесении

Эксперимент был проведен согласно Инструкции по применению № 048-1215. В эксперименте использовали половозрелых белых крыс (самцы), массой (200–260) г. Для исследований образцы БДН и БА использовали в виде 50%-ной водной взвеси. Препараты наносили однократно на выстриженные участки кожи спины белых крыс, размером 4 × 5 см, фиксировали марлевой повязкой и лейкопластырем, животных помещали в индивидуальные домики, длительность контакта составляла 24 часа.

В эксперименте исследованы препараты в следующих дозах: – 2000; 3000; 5000 мг/кг, количество животных в группе – по 5 особей. Время наблюдения 14 суток. Учитывали характер симптомов интоксикации и поведение животных [6].

В клинической картине острой интоксикации клинических симптомов интоксикации и гибели животных не отмечено.

При статистической обработке данных гибели животных и клинических симптомов не зафиксировано ($p > 0,05$).

На основании результатов исследований установлено, что значения DL_{50} для исследованных образцов БДН и составляет более 2500 мг/кг.

Следовательно, по параметрам острой накожной токсичности образцы БДН и БА относятся к малоопасным веществам [6, 7, 19].

Местно-раздражающие свойства при однократном воздействии на неповрежденные кожные покровы

Эксперимент был проведен согласно Инструкции 1.1.11-12-35-2004 (глава 6). Исследуемые образцы БДН и БА в виде 50%-ной водной взвеси наносили на лишенную шерстного покрова кожу спины белых крыс со стороны правого бока, площадью 4 × 4 см (левый бок служил контролем), в дозе 20 мг/см² при однократных 4-часовых аппликациях [3, 7].

В результате эксперимента установлено, что в условиях однократного воздействия на выстриженные участки кожи спины белых крыс исследуемые

образцы БДН и БА не характеризуются раздражающим действием на кожные покровы [3, 19].

Раздражающие свойства при однократном воздействии на слизистые оболочки

Раздражающее действие на слизистые оболочки глаз образцы БДН и БА изучали при однократном воздействии, согласно Инструкции 1.1.11-12-35-2004 (глава 5). Препараты вносили в количестве 50-100 мкл в виде 50%-ной водной взвеси в нижний конъюнктивальный свод правого глаза кроликов породы Шиншилла (3 шт.) с последующим (через 24 часа) промыванием дистиллированной водой; левый глаз при этом служил в качестве контрольного, в который закапывали 1-2 капли дистиллированной воды. Исследуемые образцы после инстилляций вызывают слезотечение и блефароспазм, которые проходят без промывания водой в течение 2–4 часов после инстилляций [3].

Следовательно, в условиях однократного воздействия на слизистые оболочки глаз исследуемые образцы БДН и БА обладают слабым раздражающим действием на слизистые оболочки со средним суммарным баллом выраженности ирритативного действия – 2,1 и 2,3, соответственно [3, 7, 19].

Сенсибилизирующее действие и иммуотоксичность

Эксперимент проведен в тесте опухания лапы мыши (ТОЛМ) согласно Инструкции 1.1.11-12-35-2004 (приложение 9). Внутрикожное введение в основание хвоста белых мышей образцов БДН и БА в виде 50%-ной водной взвеси не сопровождалось при постановке разрешающей внутрикожной пробы развитием отечно-пролиферативной реакции. Статистический анализ показателей ВТОЛ не выявил достоверных различий ($p > 0,05$) между опытными и контрольными группами животных ни по абсолютным (мм), ни по относительным (баллы) показателям (таблица 2) [3].

Таблица 2. Показатели внутрикожного теста опухания лапы (ВТОЛ) у белых мышей, сенсибилизированных БДН и БА в стандартной дозе по 100 мкг в ПАФ (полный адьювант Фрейнда)

Table 2. Intradermal paw swelling test (IPST) parameters in white mice sensitized with a of MBD and BA at a standard dose of 100 μ g in FFA (complete Freund's adjuvant)

Исследуемый образец	Группы сравнения	Исследуемые показатели, $M \pm m$	
		ВТОЛ, в мм	ВТОЛ, в баллах
Биодеструктор (д.н. микробные клетки рода <i>Bacillus</i> , $\geq 10^7$ КОЕ/г)	контроль	0,0140 \pm 0,0034	0,00 \pm 0,00
	опыт	0,0160 \pm 0,0032, $p=0,32$	0,0101 \pm 0,003 $P=0,21$
Биоактиватор (д.н. микробные клетки рода <i>Bacillus</i> , $\geq 10^9$ КОЕ/г)	контроль	0,0141 \pm 0,0033	0,00 \pm 0,00
	опыт	0,0159 \pm 0,0031, $p=0,33$	0,0101 \pm 0,002 $P=0,21$

Примечания:

- 1) M – среднее значение,
- 2) m – ошибка среднего

В результате эксперимента установлено, что изучаемые образцы БДН и БА не вызывают уплотнения и воспаления ткани, что позволяет отнести препараты к веществам, не оказывающим сенсibiliзирующего действия [3, 7, 19].

Кумулятивное действие

Эксперимент проведен согласно Инструкции 1.1.11-12-35-2004 (приложение 9). Для исследований использовали образцы БДН и БА в виде 50%-ной водной взвеси. В качестве тест-системы были выбраны рандобрендные белые крысы (самцы) массой 163-200 г, возраст 8-12 недель, собственного разведения. Общее число использованных животных – 14 (по 7 самцов в тестовой и контрольной группах) [3].

Для оценки кумулятивных свойств образцов БДН и БА выбрана доза, составляющая $\approx 1/10$ от максимально введенной дозы в остром эксперименте, и равная 500 мг/кг м.т.

Препараты вводили крысам внутрижелудочно натошак через зонд 5 дней в неделю в течение 30 дней. Объем вводимых доз рассчитывали, исходя из индивидуальной массы тела животного, разовый объем вводимой жидкости не превышал физиологической вместимости желудка (1 мл/100 г массы тела). Кормление животных осуществлялось через два часа после введения. Животным контрольной группы вводили воду в соответствующих объемах.

Для оценки биологических эффектов у животных основных подопытных групп использовали комплекс интегральных и специфических показателей [20-22].

Гематологические показатели регистрировали в конце эксперимента в цельной крови животных с использованием гематологического анализатора «Mythic18» (Швейцария). Исследовали следующие параметры: концентрация эритроцитов, тромбоцитов, лейкоцитов, гемоглобина, лимфоциты, моноциты, гранулоциты, гематокрит, средний объем эритроцитов.

Биохимические показатели крови определяли с помощью автоматического биохимического анализатора Accent200, Cormay (Польша) с использованием диагностических наборов. Исследовали следующие параметры: глюкоза, мочевины, креатинин, аланин-аминотрансфераза, аспартат-аминотрансфераза, гамма-глутамилтрансфераза и лактатдегидрогеназа, общий белок, липопротеиды высокой и низкой плотности, фосфор.

Общий анализ мочи включал следующий список исследованных параметров: суточный диурез, рН, мочевины, креатинин, фосфор, магний, глюкоза, общий белок.

Все крысы, задействованные в эксперименте, по окончании введения исследуемых препаратов были умерщвлены при помощи эфирной анестезии и подвергнуты полной, детальной некропсии. Макроскопические изменения, если таковые имелись, были записаны. Были определены относительные коэффициенты массы (ОКМ) ряда внутренних органов.

Результаты проведенных исследований были подвергнуты комплексной статистической обработке с применением непараметрических методов анализа.

Количественные параметры были представлены в виде медианы (Me) и интерквартильного диапазона (25%; 75%), что позволило обеспечить высокую точность и надежность интерпретации данных. Критический уровень значимости для проверки статистических гипотез был установлен на уровне $p \leq 0,05$, что соответствует общепринятым стандартам в области статистического анализа и гарантирует достоверность полученных выводов.

Ежедневное введение исследуемого образца не привело к гибели животных тестовой группы и развитию каких-либо клинических признаков интоксикации.

Статистический анализ гематологических показателей выявил избирательное влияние исследуемых веществ на систему крови. В то время как большинство параметров оставались без значимых изменений, было зарегистрировано статистически значимое снижение количества тромбоцитов в обеих тестовых группах по сравнению с контрольной ($p = 0,04$ и $p = 0,05$ соответственно) (рис.1).

Остальные гематологические показатели, включая лейкоциты, эритроциты, гемоглобин, лимфоциты, моноциты, гранулоциты, гематокрит и средний объем эритроцита, не показали статистически значимых различий между контрольной и тестовыми группами.

Таким образом, исследуемые образцы БДН и БА в дозе 500 мг/кг демонстрируют избирательное воздействие на тромбоцитарное звено гемостаза при сохранении стабильности других гематологических параметров, что указывает на необходимость дополнительного изучения механизмов выявленного эффекта.

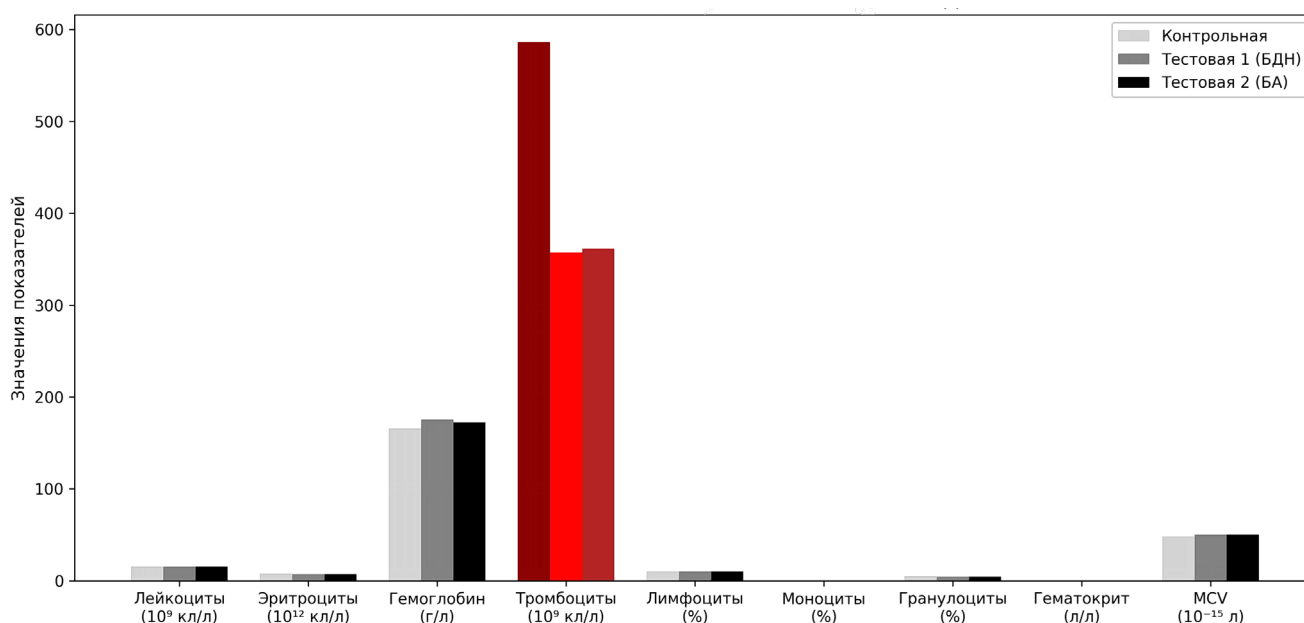


Рис. 1. Гематологические показатели крыс при повторном внутрижелудочном введении БДН и БА, данные по группам, $n=7$ (количество животных в группе)

Fig. 1. Hematological parameters of rats after repeated intragastric administration of MBD and BA, data by groups, $n=7$ (number of animals per group)

Статистический анализ биохимических параметров сыворотки крови не выявил значимых различий ($p > 0,05$) между контрольной и опытными группами по всем исследованным показателям, включая маркеры функции печени (АлАТ, АсАТ, ГГТ, ЛДГ), почек (мочевина, креатинин), а также показатели углеводного и липидного обмена (глюкоза, ЛПНП, ЛПВП). (рис. 2).

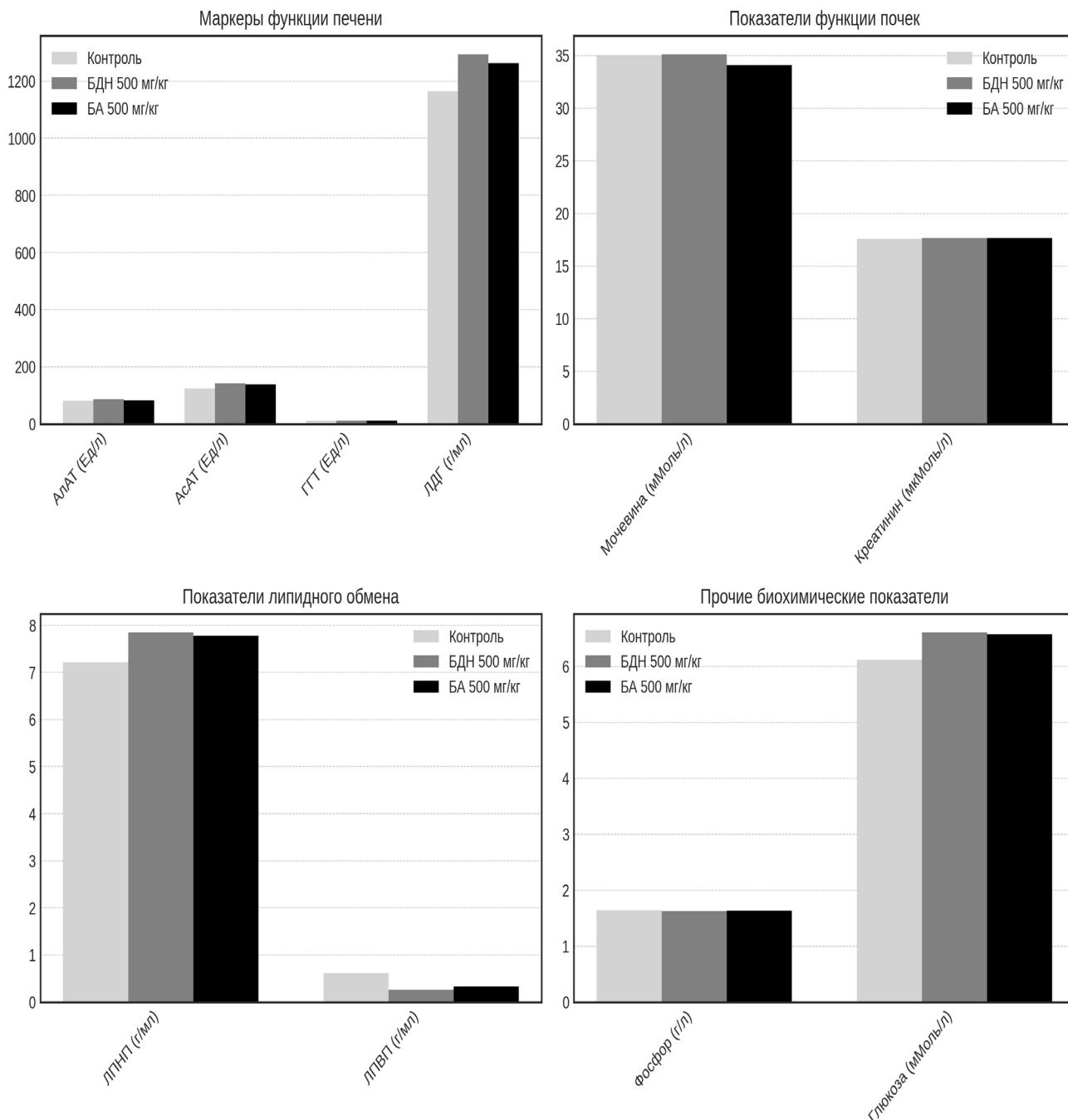


Рис. 2. Биохимические показатели сыворотки крови крыс при воздействии в течение 30 дней БДН и БА, данные по группам, n=7

Fig.2. Biochemical parameters of blood serum of rats exposed for 30 days to MBD and BA, data by group, n=7

В моче животных, подвергавшихся воздействию образцов биодеструктора и биоактиватора, в сравнении с контролем, не отмечено

статистически значимых изменений показателей функционального состояния мочевыделительной системы, выбранных в качестве тестовых (рис. 3).

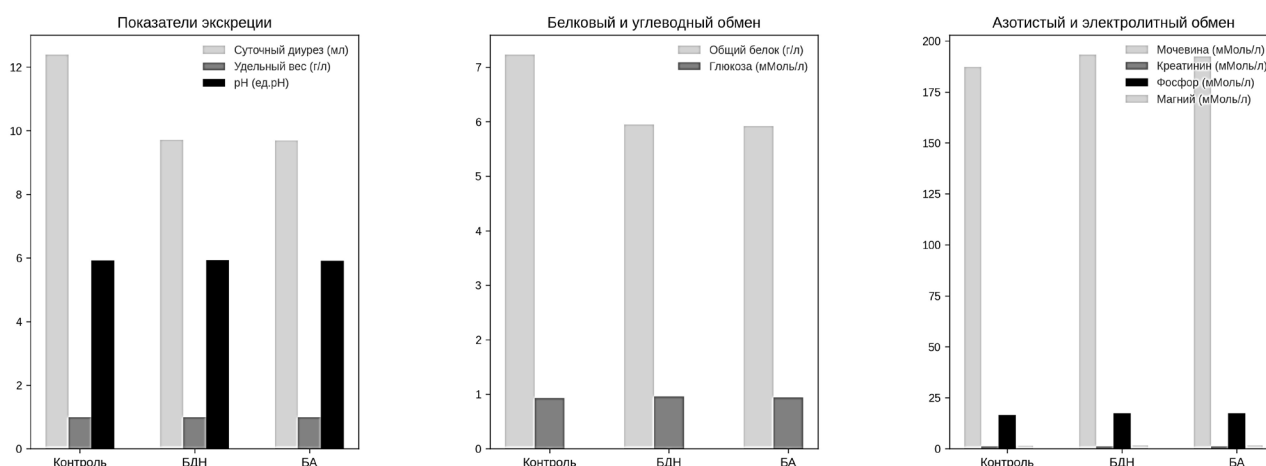


Рис. 3. Анализ мочи крыс при повторном воздействии в течение 30 дней БДН и БА, данные по группам, n=7

Fig. 3. Urine analysis of rats after repeated 30-day exposure to MBD and BA, data by group, n=7

По окончании эксперимента проведена эвтаназия всех животных с последующей макроскопией и определением относительной массы внутренних органов (ОКМ). Статистическая обработка данных, полученных по биохимическому анализу мочи, а также данные по ОКМ внутренних органов не показала наличия значимых различий ($p > 0,05$) между группами животных, получавших исследуемые образцы, и контрольной группой. Макроскопическое патолого-морфологическое исследование не выявило видимых патологических изменений во внутренних органах (табл. 3).

Таблица 3. Относительная масса внутренних органов белых крыс при повторном 30-дневном воздействии в течение 30 дней БДН и БА, данные по группам, n=7

Table 3. Relative weight of internal organs of white rats after repeated 30-day exposure to MBD and BA for 30 days, data by group, n=7

Исследуемый орган/Показатель	Группы сравнения, величины вводимых доз (мг/кг м.т./день)		
	относительная масса внутренних органов (ОКМ)		
	контрольная группа, 0 мг/кг м.т.	тестовая группа 1, 500 мг/кг м.т.	тестовая группа 2, 500 мг/кг м.т.
Печень	35,10 (30,50; 39,00)	34,43 (32,50; 39,43) P = 0,81	34,54 (32,59; 39,44) P = 0,83
Почки	8,27 (7,85; 8,84)	8,10 (7,27; 8,60) P = 0,57	8,12 (7,30; 8,65) P = 0,59
Сердце	4,01 (3,57; 4,80)	0,14 (0,12; 0,17) P = 0,69	0,15 (0,11; 0,17) P = 0,61
Селезенка	5,06 (3,54; 6,96)	6,69 (4,01; 8,38) P = 0,05	6,71 (4,09; 8,30) P = 0,06
Надпочечники	0,14 (0,11; 0,20)	3,82 (3,58; 4,60) P = 0,48	3,98 (3,66; 4,63) P = 0,51
Масса животного	225,00 (210,00; 230,00)	221,60 (204,55; 228,00) P = 0,18	221,86 (205,00; 230,00) P = 0,17

Следовательно, в принятых условиях повторного 30-суточного внутрижелудочного введения белым крысам образцы БДН и БА не проявляют кумулятивной активности на уровне проявления смертельных эффектов ($K_{\text{кум}} > 5,0$) и общетоксического характера действия [19].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании комплекса проведенных токсикологических исследований установлено, что БДН и БА характеризуются низкими показателями острой токсичности при пероральном и кожном путях поступления (4 класс опасности). Препараты не обладают раздражающим действием на кожу, проявляют слабое раздражающее действие на слизистую оболочку глаз, лишены сенсibilизирующей активности и выраженных кумулятивных свойств ($K_{\text{кум}} > 5,0$).

Результаты 30-суточного субхронического эксперимента, включавшего комплексный анализ гематологических, биохимических, патоморфологических параметров, подтвердили отсутствие у исследуемых образцов общего токсического и органоспецифического действия на организм белых крыс. Единственное статистически значимое изменение – снижение уровня тромбоцитов – не имело клинической значимости.

Таким образом, представленные экспериментальные данные свидетельствуют о благоприятном профиле безопасности исследуемых биопрепаратов и позволяют классифицировать их как продукты с допустимым уровнем риска для здоровья человека при их целевом использовании в агропромышленном комплексе с соблюдением установленных гигиенических регламентов и рекомендаций по применению.

Работа выполнена в рамках НИР, зарегистрированной в Государственном учреждении «Белорусский институт системного анализа и информационного обеспечения научно-технической сферы» (номер государственной регистрации № НИОКТР 20220490 от 11.04.2022).

ACKNOWLEDGEMENT

The work was carried out within the framework of research work registered with the State Institution «Belarusian Institute of System Analysis and Information Support of Scientific and Technical Sphere» (state registration number No. NIOKTR 20220490 dated 11.04.2022).

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

CONFLICT OF INTERESTS:

The authors declare no conflict of interests.

Список литературы:

1. Шамцян М. М., Колесников Б. А., Клепиков А. А., Касьян О. В. (2011). Биотехнологическая переработка отходов сельского хозяйства и пищевой промышленности. *Российский химический журнал*, LV(1), 17–25. EDN: NTXWHZ
2. Завьялов С. Н., Румянцева Э. Е., Петров А. М. (2019). Регулирование микробных сукцессий при анаэробном сбраживании органических отходов. *Биотехнология*. 35(3), 45–55.
3. Инструкция 1.1.11-12-35-2004. Требования к постановке экспериментальных исследований для первичной токсикологической оценки и гигиенической регламентации веществ. Утв. М-вом здравоохранения Респ. Беларусь 14.12.2004. Минск, 2004. 43 с.
4. ТУ ВУ 690667801.050-2019. Биодеструктор «БИОСАНВИТ-М». Технические условия. Введ. 16.04.2019. Столбцы: ООО «Стовек», 2019. 22 с.
5. ТУ ВУ 690667801.081-2022. Биоактиватор «Биосанвит-С». Технические условия. С извещением об изменении № 1. Введ. 16.04.2019. Столбцы: ООО «Стовек», 2019. 22 с.
6. Инструкция по применению «Определение острой токсичности химической продукции (химических веществ и их смесей) при накожном поступлении». Рег. № 048-1215. Утв. Главным государственным санитарным врачом РБ 30.08.2016 г. (OECD TG № 402 «Acute Dermal Toxicity»/ОЭСР Руководство № 402 «Острая токсичность при накожном поступлении»).
7. ГОСТ 32644-2014. Межгосударственный стандарт. Методы испытания по воздействию химической продукции на организм человека. <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293767/4293767037.pdf> (дата обращения 10.09.2025).
8. Паспорт штамма микроорганизма *Bacillus licheniformis* (Weigmann 1898) Chester 1901, № штамма 1697. Рег. № БИМ В-1687 Г. Белорусская коллекция непатогенных микроорганизмов БИМ ГНУ «Институт микробиологии НАН Беларуси». Дата депонирования: 26.07.2021.
9. Паспорт штамма микроорганизма *Bacillus paralicheniformis* (Dunlap et al., 2015) 1901, № штамма 1698. Рег. № БИМ В-1692 Г. Белорусская коллекция непатогенных микроорганизмов БИМ ГНУ «Институт микробиологии НАН Беларуси». Дата депонирования: 26.07.2021.
10. Паспорт штамма микроорганизма *Bacillus* sp. Cohn 1872 1901, № штамма 1699. Рег. № БИМ В-1691 Г. Белорусская коллекция непатогенных микроорганизмов БИМ ГНУ «Институт микробиологии НАН Беларуси». Дата депонирования: 26.07.2021.
11. Паспорт штамма микроорганизма *Bacillus* sp. Cohn 1872 1901, № штамма 1700. Рег. № БИМ В-1690 Г. Белорусская коллекция непатогенных микроорганизмов БИМ ГНУ «Институт микробиологии НАН Беларуси». Дата депонирования: 26.07.2021.
12. Паспорт штамма микроорганизма *Bacillus* sp. Cohn 1872 1901, № штамма 1701. Рег. № БИМ В-1688 Г. Белорусская коллекция непатогенных микроорганизмов БИМ ГНУ «Институт микробиологии НАН Беларуси». Дата депонирования: 26.07.2021.
13. Паспорт штамма микроорганизма *Bacillus* sp. Cohn 1872 1901, № штамма 1702. Рег. № БИМ В-1689 Г. Белорусская коллекция непатогенных микроорганизмов БИМ ГНУ «Институт микробиологии НАН Беларуси». Дата депонирования: 26.07.2021.
14. ТКП 125-2008. Надлежащая лабораторная практика. Утв. Постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь 28.03.2008 № 56. Минск, 2008. 35 с.
15. Mann, H. B. & Whitney, D. R. (1947). On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. *Annals of Mathematical Statistics*, 18, 50–60. <https://doi.org/10.1214/aoms/1177730491>.
16. Wilcoxon, F. (1945). Individual Comparisons by Ranking Methods. *Biometrics Bulletin*, 1, 80–83. <https://doi.org/10.2307/3001968>.
17. Гублер, Е. В. Генкин, А. А. (1973). *Применение непараметрических критериев статистики в медико-биологических исследованиях*. Л.: Медицина.
18. ГОСТ 12.1.007-76. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. Введ. 01.01.1977. М.: Госстандарт СССР, 1977. 22 с.

19. Юркевич, Е. С., Ильюкова, И. И., Иода, В. И. (2022). Токсикологическая оценка биодеструктора навоза «БИОСАНВИТ-М». Здоровье и окружающая среда: сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 24–25 нояб. 2022 г. (с. 487–488). Минск: Изд. центр БГУ. https://www.rspch.by/sites/default/files/sbornik_2022.pdf
20. Прозоровский, В. Б., Прозоровская, М. П., Демченко, В. М. (1978). Экспресс-метод определения средней эффективной дозы и ее ошибки. *Фармакология и токсикология*, 41(4), 497–501.
21. Беленький, М. Л. (1963). *Элементы количественной оценки фармакологического эффекта*. Л.: Медицина.
22. Рокицкий, П. Ф. (1967). *Биологическая статистика*. Минск: Вышэйшая школа.

References:

1. Shamtsyan, M. M., Kolesnikov, B. A., Klepikov, A. A., & Kasyan, O. V. (2011). Biotechnological processing of agricultural and food industry waste. *Rossiiskij khimicheskij zhurnal*, 55(1), 343–346. EDN: NTXWHZ. (in Russ.).
2. Zavyalov, S. N., Romyantseva, E. E., & Petrov, A. M. (2019). Regulation of microbial successions during anaerobic digestion of organic waste. *Biotechnology*, 35(3), 45–55 (in Russ.).
3. Instructions 1.1.11-12-35-2004. Requirements for conducting experimental studies for primary toxicological assessment and hygienic regulation of substances. Approved by the Ministry of Health of the Republic of Belarus on 14.12.2004. Minsk, 2004. 43 p. (in Russ.).
4. TU BY 690667801.050-2019. Biodestructor “BIOSANVIT-M”. Technical specifications. Introduced 16.04.2019. Stolby: ООО “Stovek”, 2019. 22 p. (in Russ.).
5. TU BY 690667801.081-2022. Bioactivator “Biosanvit-S”. Technical specifications. With change notification No. 1. Introduced 16.04.2019. Stolby: ООО “Stovek”, 2019. 22 p. (in Russ.).
6. Instructions for use “Determination of acute toxicity of chemical products (chemical substances and their mixtures) upon dermal exposure”. Reg. No. 048-1215. Approved by the Chief State Sanitary Doctor of the Republic of Belarus on 30.08.2016. (OECD TG No. 402 “Acute Dermal Toxicity”) (in Russ.).
7. GOST 32644-2014. Interstate standard. Test methods for the effects of chemical products on the human body. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293767/4293767037.pdf> (accessed 10.09.2025) (in Russ.).
8. Passport of the microbial strain *Bacillus licheniformis* (Weigmann 1898) Chester 1901, strain No. 1697. Reg. No. BIM B-1687 G. Belarusian Collection of Non-Pathogenic Microorganisms BIM SRI “Institute of Microbiology of the NAS of Belarus”. Deposit date: 26.07.2021. (in Russ.).
9. Passport of the microbial strain *Bacillus paralicheniformis* (Dunlap et al., 2015) 1901, strain No. 1698. Reg. No. BIM B-1692 G. Belarusian Collection of Non-Pathogenic Microorganisms BIM SRI “Institute of Microbiology of the NAS of Belarus”. Deposit date: 26.07.2021. (in Russ.).
10. Passport of the microbial strain *Bacillus* sp. Cohn 1872 1901, strain No. 1699. Reg. No. BIM B-1691 G. Belarusian Collection of Non-Pathogenic Microorganisms BIM SRI “Institute of Microbiology of the NAS of Belarus”. Deposit date: 26.07.2021. (in Russ.).
11. Passport of the microbial strain *Bacillus* sp. Cohn 1872 1901, strain No. 1700. Reg. No. BIM B-1690 G. Belarusian Collection of Non-Pathogenic Microorganisms BIM SRI “Institute of Microbiology of the NAS of Belarus”. Deposit date: 26.07.2021. (in Russ.).
12. Passport of the microbial strain *Bacillus* sp. Cohn 1872 1901, strain No. 1701. Reg. No. BIM B-1688 G. Belarusian Collection of Non-Pathogenic Microorganisms BIM SRI “Institute of Microbiology of the NAS of Belarus”. Deposit date: 26.07.2021. (in Russ.).

13. Passport of the microbial strain *Bacillus* sp. Cohn 1872 1901, strain No. 1702. Reg. No. BIM B-1689 G. Belarusian Collection of Non-Pathogenic Microorganisms BIM SRI “Institute of Microbiology of the NAS of Belarus”. Deposit date: 26.07.2021. (in Russ.).
14. ТКР 125-2008. Good Laboratory Practice. Approved by the Resolution of the Ministry of Health of the Republic of Belarus No. 56 on 28.03.2008. Minsk, 2008. 35 p. (in Russ.).
15. Mann, H. B. & Whitney, D. R. (1947). On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. *Annals of Mathematical Statistics*, 18, 50–60. <https://doi.org/10.1214/aoms/1177730491>.
16. Wilcoxon, F. (1945). Individual Comparisons by Ranking Methods. *Biometrics Bulletin*, 1, 80–83. <https://doi.org/10.2307/3001968>.
17. Gubler, E. V. & Genkin, A. A. (1973). *Application of nonparametric statistical criteria in biomedical research*. L.: Meditsina (in Russ.).
18. GOST 12.1.007-76. *Hazardous substances. Classification and general safety requirements*. Introduced 01.01.1977. Moscow: Gosstandart SSSR, 1977. 22 p. (in Russ.).
19. Yurkevich, E. S., Il'yukova, I. I., Ioda, V. I. (2022). Toxicological evaluation of the manure biodestructor “BIOSANVIT-M”. Health and Environment: collection of materials of the International Scientific and Practical Conference, Minsk, November 24-25, 2022 (pp. 487–488). Minsk: Izd. tsentr BGU. https://www.rspch.by/sites/default/files/sbornik_2022.pdf (in Russ.).
20. Prozorovskiy, V. B., Prozorovskaya, M. P. & Demchenko, V. M. (1978). Express-method for determining the mean effective dose and its error. *Farmakologiya i toksikologiya = Pharmacology and Toxicology*, 41(4), 497–501 (in Russ.).
21. Belen'kiy, M. L. (1963). *Elements of the quantitative assessment of the pharmacological effect*. L.: Meditsina (in Russ.).
22. Rokitskiy, P. F. (1967). *Biological Statistics*. Minsk: Vysheyshaya shkola (in Russ.).