



Никогосян К.М.¹, Сутункова М.П.^{1,2}, Минигалиева И.А.¹, Гертан Н.А.¹, Петрунина Е.М.¹, Сахаутдинова Р.Р.¹

Изменение некоторых показателей мужской половой системы крыс при токсическом действии свинца и эффект биофилактики

¹ФБУН «Екатеринбургский медицинский – научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий Роспотребнадзора», Екатеринбург, 620014, Российская Федерация;

²ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский университет Минздрава России», Екатеринбург, 620028, Российская Федерация

РЕЗЮМЕ

Введение. Разработка и модернизация стратегий биологической профилактики, позволяющих снизить риски отдалённых токсических эффектов свинца, относятся к актуальным задачам токсикологии.

Цель исследования – определение изменений некоторых биохимических и гистоморфологических показателей мужской половой системы крыс на фоне субхронического действия ацетата свинца и оценка эффективности разработанного биофилактического комплекса (далее – БПК), предназначенного для уменьшения выраженности этих токсических эффектов.

Материал и методы. Эксперимент проведён на белых беспородных крысах-самцах в возрасте от 4 до 6 месяцев. Введение осуществлялось перорально, ежедневно на протяжении 45 дней. Доза ацетата свинца составила при оральном приёме 819 мг/л. Часть животных получала витаминно-минеральный комплекс, состав которого подбирался исходя из особенностей механизмов токсического действия свинца. Эффективность БПК и токсические эффекты ацетата свинца оценивали через 21 день после окончания экспозиции.

Результаты. Согласно полученным данным, воздействие свинца привело к значимому уменьшению просвета семенных канальцев и увеличению доли клеток Сертоли с дегенеративно-дистрофическими изменениями. У крыс, получавших ацетат свинца, выявлено значимо большее количество патологических форм сперматозоидов в мазках-отпечатках семенников по сравнению с контрольными значениями. Наблюдалось увеличение активности фермента 3β-гидрокси-стероиддегидрогеназы у экспонированных крыс по сравнению с контролем.

В настоящем исследовании не было определено содержание половых гормонов в крови лабораторных животных, однако мы полагаем, что наблюдаемое повышение активности HSD3b1 является следствием компенсаторных реакций организма на разрушение и (или) дисфункцию клеток, ответственных за синтез андрогенов, а не прямым следствием токсического воздействия свинца.

Ограничения исследования. Нами не были оценены уровни половых гормонов, а также активность изоформы HSD3b2 фермента 3β-гидрокси-стероиддегидрогеназы.

Заключение. У крыс-самцов, экспонированных ацетатом свинца, наблюдалось некоторое повышение активности фермента 3β-гидрокси-стероиддегидрогеназы, играющего важную роль в регуляции синтеза половых гормонов, а также метаболизме дельта-АЛК. Выявлены гистоморфометрические изменения: уменьшение просвета семенных канальцев, увеличение количества патологических форм клеток Сертоли и дегенеративно изменённых сперматозоидов. Результаты подтверждают наличие протекторного потенциала стратегии биологической профилактики, однако сохраняется необходимость дальнейшего, более глубокого и детального изучения механизмов токсичности свинца на мужскую половую систему и эффектов БПК.

Ключевые слова: свинец; отдалённые эффекты; биофилактика; БПК; половая система; *in vivo*; 3β-гидрокси-стероиддегидрогеназа; 3bHSD; HSD3b1

Соблюдение этических стандартов. Исследование одобрено локальной комиссией по биоэтике ФБУН ЕМНЦ ПОЗРПП Роспотребнадзора (протокол ЛЭК № 1А от 03.02.2025). Условия проведения эксперимента соответствовали Европейской конвенции о защите позвоночных животных ETS N 123 и директиве Европейского парламента и Совета Европейского союза 2010/63/ЕС от 22.09.2010 г. о защите животных, используемых для научных целей.

Для цитирования: Никогосян К.М., Сутункова М.П., Минигалиева И.А., Гертан Н.А., Петрунина Е.М., Сахаутдинова Р.Р. Изменение некоторых показателей мужской половой системы крыс при токсическом действии свинца и эффект биофилактики. *Токсикологический вестник*. 2026; 34(2): 124–131. <https://doi.org/10.47470/0869-7922-2026-34-2-124-131> <https://elibrary.ru/xsvivv>

Для корреспонденции: Никогосян Карен Мерсопович, e-mail: nikoghosyankm@ymrc.ru

Участие авторов: Никогосян К.М. – сбор материала, обработка данных, написание текста, редактирование; Сутункова М.П. – дизайн исследования, редактирование; Минигалиева И.А. – концепция исследования, редактирование; Гертан Н.А. – сбор материала и обработка данных; Петрунина Е.М., Сахаутдинова Р.Р. – сбор материала. Все соавторы – утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех её частей.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Поступила в редакцию: 11 марта 2026 / Принята в печать: 27 марта 2026 / Опубликовано: 30 апреля 2026

Karen M. Nikogosyan¹, Marina P. Sutunkova^{1,2}, Ilzira A. Minigalieva¹, Natalia A. Gertan¹, Ekaterina M. Petrunina¹, Renata R. Sakhautdinova¹

Changes in some parameters of the reproductive system of male rats following lead exposure and the effect of bioprophylaxis

¹Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection of Industrial Workers of Rospotrebnadzor, Yekaterinburg, 620014, Russian Federation;

²Ural State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Yekaterinburg, 620028, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Current challenges in toxicology include the development and modernization of biological prevention strategies to reduce the risks of long-term toxic effects of lead.

The aim of this study was to determine changes in certain biochemical and histomorphological parameters of the reproductive system of male rats following subchronic exposure to lead acetate and to establish efficacy of a bioprophylactic complex (hereinafter referred to as BPC) specially developed to reduce the severity of toxic effects.

Material and methods. The experiment was conducted on albino outbred male rats aged from 4 to 6 months. The administration was carried out orally, daily for 45 days. The dose of lead acetate was 819 mg/L. Some of the animals received a vitamin and mineral complex, the composition of which was selected based on the mechanisms of lead toxicity. The effectiveness of BPC and the toxic effects of lead acetate were evaluated 21 days after the end of the exposure.

Results. According to the obtained data, lead exposure resulted in a significant decrease in the lumen of the seminiferous tubules and an increase in the proportion of Sertoli cells with degenerative and dystrophic changes. A significantly higher number of abnormal spermatozoa in testicular smears was detected in rats treated with lead acetate compared with control. An increase in the activity of the enzyme 3β -hydroxysteroid dehydrogenase was observed in exposed rats compared to controls.

Although this study did not measure sex hormone levels in the blood of laboratory animals, we believe that the observed increase in HSD3b1 is more likely a consequence of compensatory responses to the destruction and/or dysfunction of cells responsible for androgen synthesis than a direct consequence of lead toxicity.

Limitations. We did not assess sex hormone levels or the activity of the HSD3b2 isoform of the 3bHSD enzyme.

Conclusion. Male rats exposed to lead acetate showed a slight increase in the activity of 3β -hydroxysteroid dehydrogenase, an enzyme that plays an important role in regulating sex hormone synthesis and delta-ALA metabolism. The observed histomorphometric changes included a decrease in the lumen of the seminiferous tubules, an increase in the number of abnormal Sertoli cells and degenerated spermatozoa. Our findings prove the protective potential of biological prevention strategies but highlight the importance of further profound studies of the mechanisms of lead toxicity on the male reproductive system and the effects of BPC.

Keywords: lead; long-term effects; bioprophylaxis; BPC; reproductive system; in vivo; 3β -hydroxysteroid dehydrogenase; 3bHSD; HSD3b1

Compliance with ethical standards. The study was approved by the local Bioethics Committee of the Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection of Industrial Workers of Rospotrebnadzor (protocol 1A of February 3, 2025) and conducted in compliance with the European Convention for the Protection of Vertebrate Animals used for Experimental and other Scientific Purposes (ETS No. 123) and Directive 2010/63/EC of the European Parliament and of the Council of September 22, 2010 on the protection of animals used for scientific purposes.

For citation: Nikogosyan K.M., Sutunkova M.P., Minigalieva I.A., Gertan N.A., Petrunina E.M., Sakhautdinova R.R. Changes in some parameters of the reproductive system of male rats following lead exposure and the effect of bioprophylaxis. *Toxicologicheskii vestnik / Toxicological Review*. 2026; 34(2): 124–131. <https://doi.org/10.47470/0869-7922-2026-34-2-124-131> <https://elibrary.ru/xsvivv> (in Russian)

For correspondence: Karen M. Nikogosyan, e-mail: nikoghosyankm@ymrc.ru

Authors' contribution: Nikogosyan K.M. – data collection and processing, writing, editing of the article; Sutunkova M.P. – study design and editing; Minigalieva I.A. – study conception and editing; Gertan N.A. – data collection and processing; Petrunina E.M., Sakhautdinova R.R. – data collection. All co-authors approved the final version of the article and are responsible for the integrity of all its parts.

Conflict of interest. The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest in connection with the publication of this article.

Funding. The study had no sponsorship.

Received: March 11, 2026 / Accepted: March 27, 2026 / Published: April 30, 2026

Введение

Среди причин низкого демографического потенциала России существенное место занимает воздействие вредных химических факторов различного происхождения. Население регионов с развитым производством традиционно подвергается высокой комплексной химической нагрузке в среде обитания и рабочей зоне¹. При этом свинец выступает в роли одного из самых распространённых промышленных поллютантов, загрязняющих среду обитания, вследствие чего возникают риски для здоровья и самого человека, и его потомства. Изучению токсического действия соединений свинца неорганического происхождения посвящены многие исследования, однако отдалённые эффекты как серьёзная угроза здоровью будущих поколений изучены недостаточно.

Существенную роль в борьбе с высокой химической нагрузкой играет стратегия биологической профилактики на население, повышающая устойчивость организма, его адаптационные и элиминационные возможности. Разработанные биопротекторные комплексы (далее – БПК), в состав которых входят безвредные вещества, обладающие протекторными свойствами, продемонстрировали свою эффективность в предыдущих экспериментах, реализованных на базе ФБУН ЕМНЦ ПОЗРПП Роспотребнадзора [1–3]. Необходимость разработки и модернизации мер биологической профилактики, позволяющих снижать риски отдалённых токсических эффектов свинца, относятся к актуальным задачам токсикологии.

Цель работы – выявление изменений некоторых биохимических и гистоморфологических показателей мужской половой системы крыс на фоне субхронического действия ацетата свинца и оценка эффективности разработанного биопротекторного комплекса (далее – БПК), предназначенного для уменьшения выраженности этих токсических эффектов.

Материал и методы

Исследование одобрено локальным комитетом по биоэтике ФБУН ЕМНЦ ПОЗРПП Роспотребнадзора (протокол ЛЭК № 1А от 03.02.2025). Эксперимент проведён на белых беспородных крысах-самцах в возрасте от 4 до 6 месяцев (филиал «Андреевка» ФГБУН НЦБМТ ФМБА

России, Московская область, Солнечногорск, рп. Андреевка. Сертификат № 181164, дата выдачи 09.12.2024). Перед проведением эксперимента крысы содержали в карантине, после чего они были допущены до зоны содержания в виварии, условия которого соответствовали ГОСТ 33216–2014². Крысы получали специализированный корм, соответствующий ГОСТ Р 50258–92³, и очищенную питьевую воду. Температура, влажность и подвижность воздуха соответствовали комфортным и безопасным для лабораторных животных условиям на протяжении всего эксперимента. В помещениях содержания лабораторных животных был искусственно создан режим «день – ночь» с имитированием заката и рассвета. На протяжении всего эксперимента проводили ежедневный ветеринарный контроль животных.

Для реализации эксперимента были сформированы четыре группы, каждая из которых состояла из восьми крыс-самцов:

1. *Контрольная* группа не подвергалась экспозиции.
2. Группа *Pb* получала ацетат свинца перорально на протяжении 45 дней в дозе 819 мг/л).
3. Группа *Pb + БПК* получала биопротекторный комплекс на фоне экспозиции ацетатом свинца.
4. Группа *БПК* получала биопротекторный комплекс без экспозиции ацетатом свинца.

Состав биопротекторного комплекса и дозировки для лабораторных животных представлены в **таблице**.

Через 21 день после окончания экспозиции у крыс отбирали цельную кровь для последующей оценки активности изоформы HSD3b1 полового фермента 3β-гидроксистероиддегидрогеназы (далее – 3bHSD) в сыворотке, а также семенники для морфометрического исследования гистологических препаратов (окраска гематоксилином и эозином) и цитоморфологического анализа мазков-отпечатков (окраска по Лейшману). Активность изоформы HSD3b1 определяли методом иммуноферментного анализа в соответствии с инструкцией к диагностическому набору. В рамках гистоморфологического анализа оценивали изменение просвета семенных канальцев, угла головки сперматозоидов, проводили подсчёт патологических форм сперматозоидов и клеток Сертоли с дегенеративно-дистрофическими изменениями.

¹ О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2024 году: Государственный доклад. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2025. 424 с.

² ГОСТ 33216–2014 Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. Правила содержания и ухода за лабораторными грызунами и кроликами.

³ ГОСТ Р 50258–92 Комбикорма полнорационные для лабораторных животных. Технические условия.

Состав и дозировка биопрофилактического комплекса
Composition and dosage of the bioprophylactic complex

Препарат Preparation	Доза на 1 крысу в сутки Dose per rat a day
Кальций, мг / Calcium, mg	160
Железо, мг / Iron, mg	1
Йод, мкг / Iodine, µg	4
Глицин, мг / Glycine, mg	12
Глутаминовая кислота, мг / Glutamic acid, mg	160
Рыбий жир с содержанием 35% ПНЖК класса омега-3, мг Fish oil containing 35% omega-3 PUFAs, mg	133
Пектин, мг / Pectin, mg	200
Витамин А, мкг / Vitamin A, µg	35.2
Витамин С, мг / Vitamin C, mg	3.0
Витамин Е, мг / Vitamin E, mg	0.27
Витамин В1, мг / Vitamin B1, mg	0.038
Витамин В2, мг / Vitamin B2, mg	0.08
Витамин РР, мг / Vitamin PP, mg	0.3
Витамин В6, мг / Vitamin B6, mg	0.08
Витамин В9, мкг / Vitamin B9, µg	4
Витамин В12, мкг / Vitamin B12, µg	0.12
Витамин D3, мкг / Vitamin D3, µg	1.7

Статистический анализ проведён с использованием *T*-критерия Стьюдента и *U*-критерия Манна – Уитни. Нормальность данных оценивалась с помощью теста Шапиро – Уилка. Различия считались статистически значимыми, если вероятность различия не превышала 5% ($p < 0,05$).

Результаты

По результатам исследования наблюдалась тенденция к увеличению активности изоформы HSD3b1 фермента 3bHSD у крыс группы *Pb* в 1,5 раза по сравнению с *Контрольной*, тем не менее изменения не достигали статистической значимости. Крысы групп *Pb + БПК* и *БПК* продемонстрировали значения этого показателя на уровне контроля (рис. 1).

Сравнение гистологической картины семенников группы *Контроль* и группы *БПК* продемонстрировало отсутствие существенных различий. В обеих группах отсутствовали какие-либо мор-

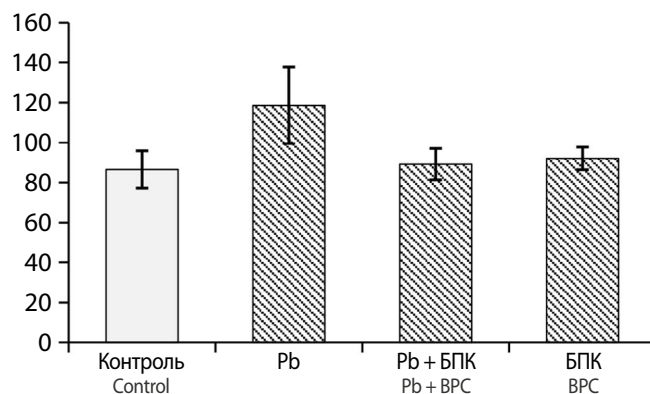


Рис. 1. Активность фермента HSD3b1 в крови экспериментальных лабораторных животных, пг/мл

Fig. 1. Activity of the HSD3b1 enzyme in blood of experimental animals, pg/mL.

фологические изменения, носящие патологический характер. По результатам микроскопирования гистологических препаратов установили, что фиброзная оболочка семенников представлена тонким слоем соединительной ткани, паренхима органа – извитыми семенными канальцами округлой и (или) эллипсоидной формы в зависимости от особенностей проходящего среза (прямой и тангенциальный). Внешняя оболочка канальцев представляет собой очень тонкий слой соединительной ткани кольцевидной формы, по внутреннему контуру которой располагается ровный слой миоидных клеток, включающий внутренний миоидный слой, непосредственно расположенный на базальной мембране, и слой фибробластоподобных клеток. Слой сперматогенного эпителия выражен равномерно. В зависимости от уровня срезов наблюдались разные стадии сперматогенеза. Тем не менее практически во всех канальцах сохранялись все слои: в наибольшем количестве были представлены сперматозоиды и поздние формы сперматид, по периферии кровеносных сосудов определялись клетки Лейдига в количестве 3–5 штук в одном поле зрения.

При гистологическом исследовании препаратов группы *Pb* выявлено, что количество сперматозоидов и сперматоцитов несколько уменьшено по сравнению с группой *Контроль*, на основании чего можно предполагать несколько сниженный уровень сперматогенеза. В отличие от групп *Контроль* и *БПК* в интерстиции наблюдалось меньшее количество клеток Лейдига: 2–3 в одном поле зрения. Вместе с тем в группе *Pb + БПК* изменения были выражены в меньшей степени по сравнению с группой *Pb*. При гистологическом

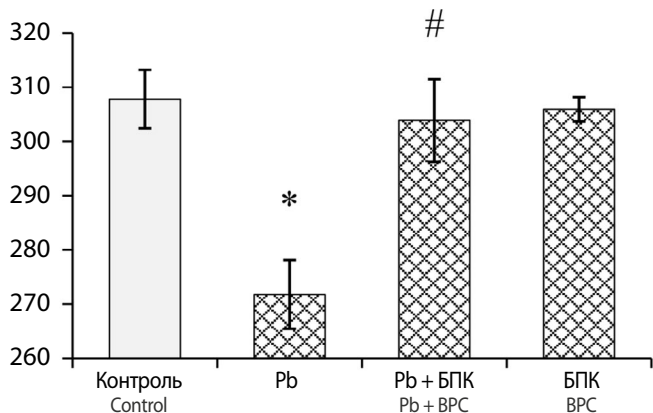


Рис. 3. Морфометрическая оценка просвета семенных канальцев, мкм. * – статистически значимое изменение по сравнению с группой *Контроль*; # – статистически значимое изменение по сравнению с группой *Pb*.

Fig. 3. Morphometry of the lumen of the seminiferous tubules, μm . * – statistically significant difference compared to the Control group; # – statistically significant difference compared to the Pb exposure group.

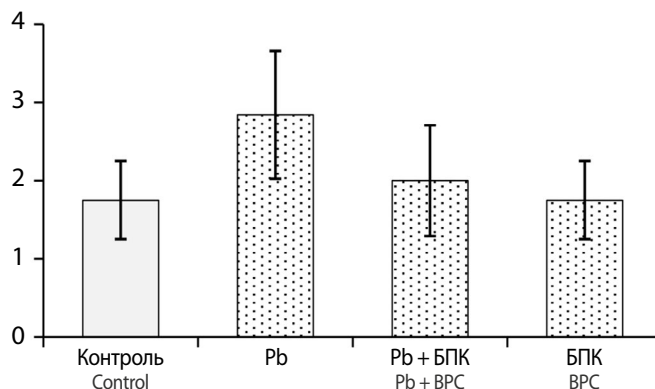


Рис. 4. Результаты подсчета патологических форм клеток Сертоли с дегенеративно-дистрофическими изменениями в мазке-отпечатке семенников, ед. в 10 полях зрения. * – статистически значимое изменение по сравнению с группой *Контроль*.

Fig. 4. Results of counting pathological forms of Sertoli cells with degenerative dystrophic changes in a testicular smear, units per 10 fields of view. * – statistically significant difference compared to the Control group.

исследовании выявлено, что количество сперматозоидов и сперматоцитов несколько уменьшено по сравнению с группой *Контроль*, однако их больше, чем в экспериментальной группе. Также отмечено большее по сравнению с группой *Pb* количество клеток Лейдига: 3–5 в одном поле зрения (рис. 2, а, б, см. на вклейке).

Согласно полученным данным, воздействие свинца привело к значимому уменьшению просвета семенных канальцев в группе *Pb*. В группе *Pb+БПК* изменения были незначительны и соответствовали контролю и группе *БПК* (рис. 3).

При анализе мазков-отпечатков семенников в группе *Pb* выявлена тенденция к увеличению дегенеративно-изменённых клеток Сертоли. Значения в группах *Pb + БПК* и *БПК* находились на уровне контроля (рис. 4).

В группе *Pb* выявлено значимое увеличение патологических форм сперматозоидов, в частности клеток с изменением угла головки по сравнению с контролем. Вместе с тем изменения в группе *Pb + БПК* носили менее выраженный характер или вовсе не отличались от контрольных значений (рис. 5, а, б).

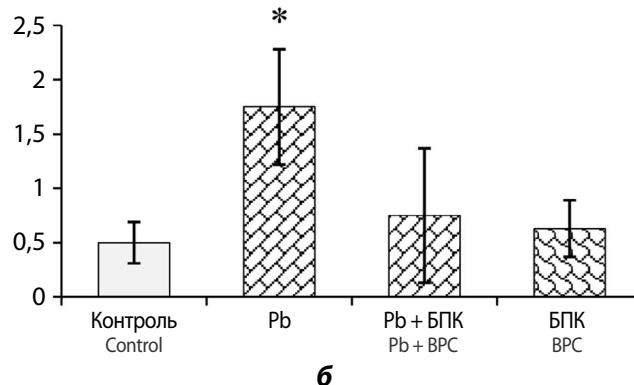
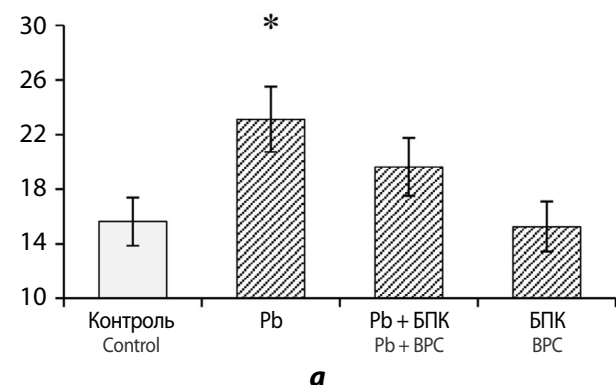


Рис. 5. Результаты подсчёта патологических форм клеток в мазке-отпечатке семенников (ед./200 кл): а – общее количество патологических форм сперматозоидов; б – количество сперматозоидов с изменением угла головки. * – статистически значимое изменение по сравнению с группой *Контроль*.

Fig. 5. Abnormal cell count in a testicular smear (U/200 cells): а – total number of abnormal spermatozoa; б – number of spermatozoa with a change in head angle. * – statistically significant difference compared to the Control group.

Обсуждение

Одним из ключевых регуляторов синтеза половых гормонов является мембраносвязанный фермент 3 β HSD из класса оксидоредуктаз [4]. Согласно данным научной литературы, для каждого полового гормона существует своя изоформа 3 β HSD, характеризующаяся окислительной (оксидазы) или восстановительной (редуктазы) активностью, в зависимости от чего данный фермент может либо преобразовывать высокоактивный гормон в неактивный метаболит, либо наоборот. В настоящее время у крыс известны две изоформы 3 β HSD – HSD3 β 1 и HSD3 β 2 [5]. В данном исследовании нами была оценена активность изоформы HSD3 β 1, отвечающей за синтез андрогенов преимущественно за пределами гонад. Выявленное в настоящем исследовании увеличение активности изоформы HSD3 β 1 у крыс-самцов группы *Pb* косвенно свидетельствует об усилении синтеза мужских половых гормонов. Вопрос влияния свинца на активность HSD3 β 1 остается спорным в научной литературе. Многие исследования свидетельствуют о том, что воздействие неорганических соединений свинца приводит к снижению уровня фермента 3 β HSD [6–8], однако авторы зачастую не раскрывают информации о его конкретных изоформах, что затрудняет сопоставление и интерпретацию данных. В научной литературе также имеются данные, показывающие, что воздействие свинца и других токсичных металлов несколько повышает активность этого фермента [9].

В настоящем исследовании не было определено содержание половых гормонов в крови лабораторных животных, но мы полагаем, что наблюдаемое повышение HSD3 β 1 является следствием компенсаторных реакций организма на разрушение и (или) дисфункцию клеток, ответственных за синтез андрогенов, а не прямым следствием токсической экспозиции к свинцу. В таком случае эти изменения будут носить временный характер. Также немаловажным фактором, повлиявшим на изменение активности HSD3 β 1, был существенный (\approx 4 недели) период отсутствия экспозиции лабораторных животных свинцом непосредственно перед забором крови. Такая модель исследования открывает возможности для оценки отдаленных эффектов и в то же время позволяет организму экспериментальных животных восстановить функциональные резервы и задействовать компенсаторные механизмы. Очевидно, определенную роль в изменении метаболизма

этого фермента играют не только само действующее вещество, но и сроки, пути экспозиции и объект исследования.

Известно, что клетки Лейдига ответственны за синтез мужских половых гормонов, в частности тестостерона [10, 11]. Наибольшее количество клеток Лейдига наблюдается в период половой зрелости, однако с возрастом их число постепенно снижается. Тестостерон относится к основным регуляторам сперматогенеза и половой функции в целом [12, 13]. В настоящем исследовании мы не определяли уровни половых гормонов, что не даёт возможности объективно судить о нарушении синтеза андрогенов. Тем не менее результаты гистоморфометрического анализа позволяют предположить положительное влияние БПК на функциональную активность механизмов сперматогенеза экспонированных крыс-самцов.

Стоит отметить, что изменение показателей сперматогенеза, вероятно, связано не только прямым действием ацетата свинца на клетки семенных желез, но и с нарушениями, вызванными в гипоталамо-гипофизарной системе, ответственной за нейроэндокринную регуляцию половой системы. Известно, что свинец ингибирует синтез лютеинизирующего гормона [14, 15] в аденогипофизе, одной из главных функций которого является стимуляция синтеза тестостерона. Также в пользу этой гипотезы свидетельствуют результаты наших предыдущих исследований, показавших выраженное токсическое воздействие ацетата свинца на центральную нервную систему лабораторных животных и нейропротекторный эффект БПК [16, 17]. Выявленные изменения позволяют лишь косвенно судить о нарушении нейрогуморальной регуляции, а для подтверждения этой гипотезы требуется определение уровня половых гормонов. При этом по изученным показателям разработанный БПК продемонстрировал протекторный эффект на фоне экспозиции к ацетату свинца.

Ограничения исследования. Нами не были оценены уровни половых гормонов, а также активность изоформы HSD3 β 2 фермента 3 β HSD. Для полноты исследования и обоснования генотоксических рисков изучаемого фактора целесообразно определение экспрессии генов *HSD3B1* и *HSD3B2*. Для установления причин некоторого повышения активности фермента HSD3 β 1 необходимы оценка его уровня в крови в динамике эксперимента, а также в восстановительный период, так как кратковременные компенсаторные реакции могут временно усиливать механизмы

поддержания гомеостаза гормонов. Мы были ограничены в использовании одного исследуемого вещества, пути введения и сроков экспозиции.

Заключение

По результатам исследования у крыс-самцов, экспонированных ацетатом свинца, наблюдалось некоторое компенсаторное повышение активности фермента 3β -гидроксистероиддегидрогеназы, играющего важную роль в регуляции синтеза половых гормонов. Выявлены гистоморфометрические изменения: уменьшение просвета се-

менных канальцев, увеличение количества патологических форм клеток Сертоли и дегенеративно-измененных сперматозоидов. В совокупности полученные экспериментальные подтвердили протекторный эффект биопрофилактического комплекса по гистоморфометрическим показателям. Полученные данные выявили потенциал стратегии биологической профилактики, однако необходимо более глубокое и детальное изучение механизмов токсического воздействия свинца на мужскую половую систему и эффектов разработанного биопрофилактического комплекса.

ЛИТЕРАТУРА

(п.п. 4–10, 12–15 см References)

1. Сутункова М.П., Минигалиева И.А., Гертан Н.А., Петрунина Е.М., Цыпушкина Е.Е., Никогосян К.М. Биопрофилактика репротоксического действия серной кислоты (экспериментальное исследование). *Медицина труда и экология человека*. 2025; (2): 111–24. <https://doi.org/10.24412/2411-3794-2025-10208> <https://elibrary.ru/mgnaah>
2. Привалова Л.И., Клинова С.В., Минигалиева И.А., Рябова Ю.В., Сутункова М.П., Макеев О.Г. и др. Экспериментальная апробация эффективности биопрофилактического комплекса, направленного на снижение токсических эффектов комбинированного действия свинца и кадмия. *Гигиена и санитария*. 2020; 99(1): 85–9. <https://elibrary.ru/yzqcos>
3. Клинова С.В., Минигалиева И.А., Сутункова М.П., Привалова Л.И., Герцен О.П., Рябова Ю.В. и др. Влияние свинца и/или кадмия на сократительную функцию миокарда крыс при субхронической интоксикации и ее ослабление комплексом биопротекторов. *Здоровье населения и среда обитания* – *ЗНУСО*. 2021; 29(6): 25–33. <https://elibrary.ru/lmoozq>
11. Бахтукоев А.А., Шпаков А.О. Молекулярные механизмы регуляции стероидогенеза в клетках Лейдига. *Цитология*. 2016; 58(9): 666–78. <https://elibrary.ru/wjllej>
16. Минигалиева И.А., Никогосян К.М., Сутункова М.П., Кунгурцева А.К., Петрунина Е.М., Батенева В.А. Экспериментальная оценка биопрофилактического комплекса, направленного на повышение устойчивости к нейротоксическому действию наночастиц оксида свинца. *Токсикологический вестник*. 2025; 33(2): 86–92. <https://doi.org/10.47470/0869-7922-2025-33-2-86-92> <https://elibrary.ru/bgxhph>
17. Рябова Ю.В., Кунгурцева А.К., Петрунина Е.М., Никогосян К.М., Минигалиева И.А., Сутункова М.П. Изменение действия свинца на фоне физической нагрузки и эффект биологической профилактики на центральную нервную систему крыс. *Медицина труда и экология человека*. 2024; (2): 191–210. <https://doi.org/10.24412/2411-3794-2024-10213> <https://elibrary.ru/swxmma>

REFERENCES

1. Sutunkova M.P., Minigalieva I.A., Gertan N.A., Petrunina E.M., Tsypushkina E.E., Nikogosyan K.M. Bioprophylaxis of the reprotoxic effect of sulfuric acid: an experimental study. *Meditsina truda i ekologiya cheloveka*. 2025; (2): 111–24. <https://doi.org/10.24412/2411-3794-2025-10208> <https://elibrary.ru/mgnaah> (in Russian)
2. Privalova L.I., Klinova S.V., Minigalieva I.A., Ryabova Yu.V., Sutunkova M.P., Makeev O.G., et al. An experimental trial of bioprophylactic formula designed to minimize combined toxicity of both lead and cadmium. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2020; 99(1): 85–9. <https://elibrary.ru/yzqcos> (in Russian)
3. Klinova S.V., Minigalieva I.A., Sutunkova M.P., Privalova L.I., Gerzen O.P., Riabova Yu.V., et al. Effects of lead and/or cadmium on the contractile function of the rat myocardium following subchronic exposure and its attenuation with a complex of bioprotectors. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya* – *ZNIS0*. 2021; 29(6): 25–33. <https://elibrary.ru/lmoozq> (in Russian)
4. Simard J., Ricketts M.L., Gingras S., Soucy P., Feltus F.A., Melner M.H. Molecular biology of the 3β -hydroxysteroid dehydrogenase/delta5-delta4 isomerase gene family. *Endocr. Rev.* 2005; 26(4): 525–82. <https://doi.org/10.1210/er.2002-0050>
5. Simard J., Couet J., Durocher F., Labrie Y., Sanchez R., Breton N., et al. Structure and tissue-specific expression of a novel member of the rat 3β -hydroxysteroid dehydrogenase/delta 5-delta 4 isomerase (3 beta-HSD) family. The exclusive 3 beta-HSD gene expression in the skin. *J. Biol. Chem.* 1993; 268(26): 19659–68. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(19\)36567-6](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(19)36567-6)
6. Anjum M.R., Sainath S.B., Suneetha Y., Reddy P.S. Lead acetate induced reproductive and paternal mediated developmental toxicity in rats. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2011; 74(4): 793–9. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2010.10.044>
7. Sainath S.B., Meena R., Supriya Ch., Reddy K.P., Reddy P.S. Protective role of Centella asiatica on lead-induced oxidative stress and suppressed reproductive health in male rats. *Environ. Toxicol. Pharmacol.* 2011; 32(2): 146–54. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2011.04.005>
8. Khafaji S.S. Antioxidant, anti-inflammatory, and anti-reprotoxic effects of kaempferol and vitamin E on lead acetate-induced testicular toxicity in male rats. *Open Vet. J.* 2023; 13(12): 1683–95. <https://doi.org/10.5455/OVJ.2023.v13.i12.17>
9. Tomita T., Sato T., Saito K., Takakuwa E. Effects of lead and arsenic on the formation of 5β -H steroids. *Toxicol. Lett.* 1979; 3(5): 291–7. [https://doi.org/10.1016/0378-4274\(79\)90006-7](https://doi.org/10.1016/0378-4274(79)90006-7)
10. Zirkin B.R., Papadopoulos V. Leydig cells: formation, function, and regulation. *Biol. Reprod.* 2018; 99(1): 101–11. <https://doi.org/10.1093/biolre/iy059>
11. Bakhtyukov A.A., Shpakov A.O. The molecular mechanisms of steroidogenesis regulation in Leydig cells. *Tsitologiya*. 2016; 58(9): 666–78. <https://elibrary.ru/wjllej> (in Russian)
12. Grande G., Barrachina F., Soler-Ventura A., Jodar M., Mancini F., Marana R., et al. The role of testosterone in spermatogenesis: lessons from proteome profiling of human spermatozoa in testosterone deficiency. *Front. Endocrinol. (Lausanne)*. 2022; 13: 852661. <https://doi.org/10.3389/fendo.2022.852661>
13. Smith L.B., Walker W.H. The regulation of spermatogenesis by androgens. *Semin. Cell Dev. Biol.* 2014; 30: 2–13. <https://doi.org/10.1016/j.semcdb.2014.02.012>
14. Al-Megrin W.A., Alomar S., Alkharji A.F., Metwally D.M., Mohamed S.K., Kassab R.B., et al. Luteolin protects against testicular injury induced by lead acetate by activating the Nrf2/HO-1 pathway. *IUBMB Life*. 2020; 72(8): 1787–98. <https://doi.org/10.1002/iub.2311>
15. Khalaf M.A.M., Younis R.H.A., El-Fakahany H. Effect of low-level environmental lead exposure on the onset of male puberty. *Int. J. Toxicol.* 2019; 38(3): 209–14. <https://doi.org/10.1177/1091581819848411>
16. Minigalieva I.A., Nikogosyan K.M., Sutunkova M.P., Kungurtseva A.K., Petrunina E.M., Bateneva V.A. Experimental evaluation of a bioprophylactic complex aimed at increasing resistance to neurotoxic effects of lead oxide nanoparticles. *Toksikologicheskii vestnik*. 2025; 33(2): 86–92. <https://doi.org/10.47470/0869-7922-2025-33-2-86-92> <https://elibrary.ru/bgxhph> (in Russian)
17. Ryabova Yu.V., Kungurtseva A.K., Petrunina E.M., Nikogosyan K.M., Klinova S.V., Minigalieva I.A., et al. Changes in health effects of lead exposure caused by exercise and the impact of biological prophylaxis on rats' central nervous system. *Meditsina truda i ekologiya cheloveka*. 2024; (2): 191–210. <https://doi.org/10.24412/2411-3794-2024-10213> <https://elibrary.ru/>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Никогосян Карен Мерсопович – научный сотрудник отдела токсикологии и биопрофилактики ФБУН «ЕМНЦ ПОЗРПП» Роспотребнадзора, 620014, Екатеринбург, Россия. E-mail: nikoghosyankm@ymlrc.ru

Сутункова Марина Петровна – доктор медицинских наук, директор ФБУН «ЕМНЦ ПОЗРПП» Роспотребнадзора, 620014, Екатеринбург, Россия; ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России, 620028, Екатеринбург, Россия. E-mail: sutunkova@ymlrc.ru

Минигалиева Ильзира Амировна – доктор биологических наук, заведующий отделом токсикологии и биопрофилактики ФБУН «ЕМНЦ ПОЗРПП» Роспотребнадзора, 620014, Екатеринбург, Россия. E-mail: ilzira@ymrc.ru

Гертан Наталья Александровна – младший научный сотрудник отдела токсикологии и биопрофилактики ФБУН «ЕМНЦ ПОЗРПП» Роспотребнадзора, 620014, Екатеринбург, Россия. E-mail: gertanna@ymrc.ru

Петрунина Екатерина Михайловна – младший научный сотрудник отдела токсикологии и биопрофилактики ФБУН «ЕМНЦ ПОЗРПП» Роспотребнадзора, 620014, Екатеринбург, Россия. E-mail: ekaterina_b89@list.ru

Сахаутдинова Рената Рашидовна – кандидат медицинских наук, заведующий диагностическим лабораторным отделением научно-производственного отдела «Лабораторно-диагностические технологии» ФБУН «ЕМНЦ ПОЗРПП» Роспотребнадзора, 620014, Екатеринбург, Россия. E-mail: sahautdinova@ymrc.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Karen M. Nikogosyan – Researcher at the Department of Toxicology and Bioprophylaxis, Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection of Industrial Workers of Rosptrebnadzor, Yekaterinburg, 620014, Russian Federation, <https://orcid.org/0009-0003-0780-5733> E-mail: nikoghosyankm@ymrc.ru

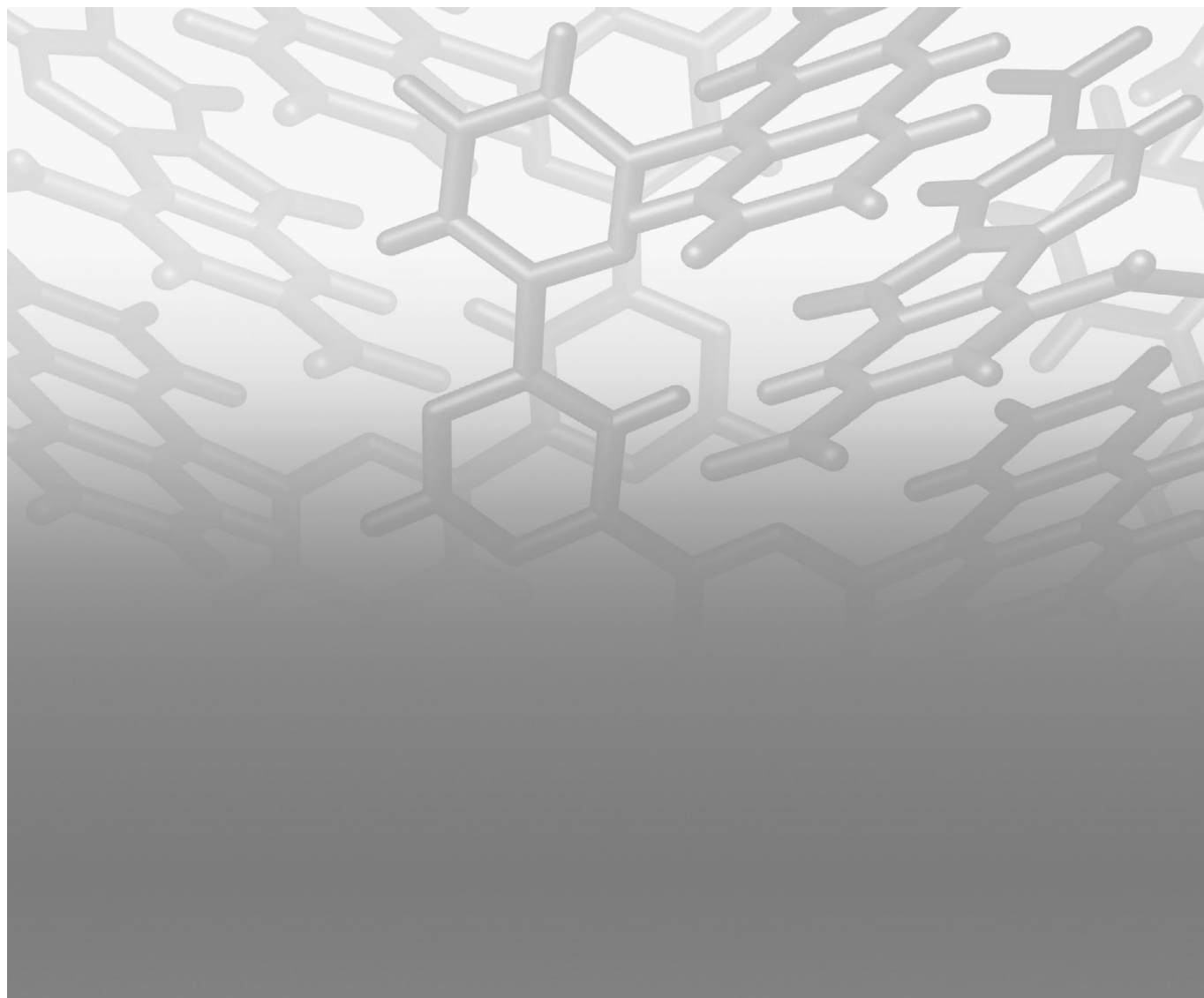
Marina P. Sutunkova – Doctor of Medical Sciences, Director of the Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection of Industrial Workers of Rosptrebnadzor, Yekaterinburg, 620014, Russian Federation; Head of the Department of Occupational Hygiene and Medicine, Ural State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Yekaterinburg, 620028, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-1743-7642> E-mail: sutunkova@ymrc.ru

Ilzira A. Minigalieva – Doctor of Biological Sciences, Head of the Department of Toxicology and Bioprophylaxis, Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection of Industrial Workers of Rosptrebnadzor, Yekaterinburg, 620014, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-1871-8593> E-mail: ilzira@ymrc.ru

Natalia A. Gertan – Junior Researcher at the Department of Toxicology and Bioprophylaxis, Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection of Industrial Workers of Rosptrebnadzor, Yekaterinburg, 620014, Russian Federation, <https://orcid.org/0009-0008-3239-5998> E-mail: gertanna@ymrc.ru

Ekaterina M. Petrunina – Junior Researcher at the Department of Toxicology and Bioprophylaxis, Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection of Industrial Workers of Rosptrebnadzor, Yekaterinburg, 620014, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-1106-4301> E-mail: ekaterina_b89@list.ru

Renata R. Sahautdinova – Candidate of Medical Sciences, Head of the Department of Laboratory and Diagnostic Technologies, Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection of Industrial Workers of Rosptrebnadzor, Yekaterinburg, 620014, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-2726-9259> E-mail: sahautdinova@ymrc.ru



К статье К.М. Никогосян и соавт.
To the article by Karen M. Nikogosyan et al.

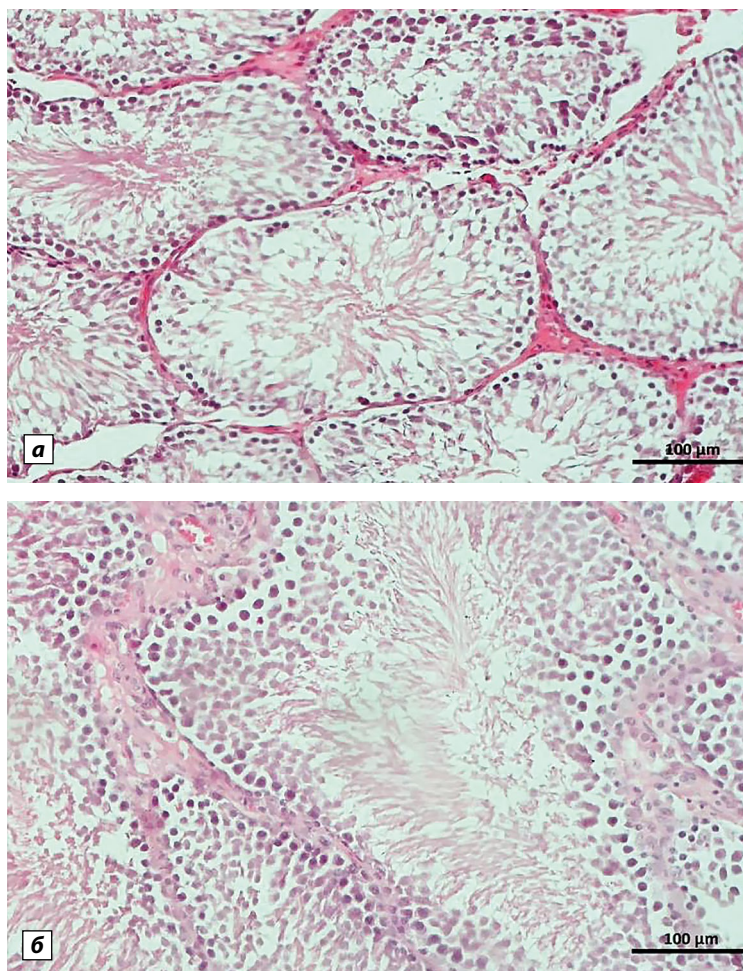


Рис. 2. Семенники крыс группы *Pb* (a) и группы *Pb* + БПК (b).
Окраска гематоксилином и эозином. Увеличение $\times 200$.
Fig. 2. Testes of the rats from the *Pb* exposure (a) and *Pb* + BPC (b) groups.
Hematoxylin and eosin staining; $\times 200$ magnification.