

Морфологическая оценка органов и тканей мелких млекопитающих, обитающих в промышленном районе Норильска

А. В. КИРЕЕВА¹, О. А. КОЛЕНЧУКОВА^{2,3}, О. В. ПЕРЕТЯТКО², А. П. САВЧЕНКО³,
В. Л. ТЕМЕРОВА³, В. И. ЕМЕЛЬЯНОВ³

¹Красноярский научный центр ФИЦ КНЦ СО РАН
660036, Красноярск, Академгородок, 50/12, корпус 2

²Институт медицинских проблем Севера ФИЦ КНЦ СО РАН
660022, Красноярск, ул. Партизана Железняка, 3Г
E-mail: kalina-chyikova@mail.ru

³Сибирский федеральный университет
660041, Красноярск, просп. Свободный, 79

Статья поступила 17.11.2022

После доработки 20.12.2022

Принята к печати 09.01.2023

АННОТАЦИЯ

Проведены мониторинговые исследования влияния разных видов промышленного загрязнения на экосистемы с использованием гистоморфологического метода. Отмечены этапы формирования и развития изменений в основных системах организма у мышевидных грызунов, обитающих около рек промышленного района Норильска. Несмотря на внешнее благополучие, обнаружены многочисленные структурные, морфологические патологии в органах и тканях обследованных мышей, обитающих на загрязненных территориях. Нарушения в органах кроветворения, дисбаланс органов эндокринной системы могут являться следствием срыва стабилизирующих механизмов, либо ускоренного истощения резервных возможностей исследуемых систем.

Ключевые слова: дизельное топливо, Норильск, мышевидные грызуны, токсическое воздействие, гистологические препараты органов и тканей.

ВВЕДЕНИЕ

В текущем столетии актуальной проблемой является увеличение антропогенной нагрузки на окружающую среду Арктических экосистем. Антропогенная нагрузка может быть следствием аварийных и контролируемых загрязнений, хозяйственно-экономической деятельности предприятий ПАО ГМК

“Норильский никель”. Наряду с несомненными достижениями в разных областях, особенно в металлургии, в условиях Крайнего Севера, Норильский промышленный район характеризуется неблагоприятной экологической обстановкой из-за продолжительного выброса в окружающую среду токсичных веществ и тяжелых металлов, приводящих к необра-

тимым экологическим последствиям, отражающихся как на здоровье населения, так и на состоянии экосистемы [Pavlova et al., 2020; Гладышев, 2021].

Влияние горно-металлургической промышленности приводит к хроническому загрязнению и, как следствие, к деградации арктических экосистем. Очевидно, что выбросы в атмосферу со временем оседают на близлежащих территориях, поступают в почвенные и водные системы, тем самым являясь источниками загрязнения наземных и водных экосистем [Базова, Кошевой, 2017].

При глобальном развитии крупных металлургических предприятий неизбежны аварии и катастрофы, которые могут приводить к выраженному загрязнению природы. Такая ситуация возникла 29 мая 2020 г. на территории Норильско-Таймырской энергетической компании. Дизельное топливо в количестве 21163 т, разлилось на значительной площади, около 6 тыс. тонн попало в грунт, остальное – в р. Амбарную и ее приток Далдыкан, которые впадают в оз. Пясино, откуда вытекает р. Пясины. Нефтепродукты попали в почву, водоемы. Общая площадь загрязнения составила 180 000 м² [Потравный, 2020; Якуцени, Соловьев, 2020].

Как при периодических нагрузках, так и при аварийных ситуациях разлива нефтепродуктов необходимо дать оценку и провести мониторинг влияния токсических веществ на экосистему. Принятие мер по ликвидации воздействий на животный мир должно быть неотъемлемой частью общего плана действий в чрезвычайной ситуации. Эффективность этих мер существенно повышается при наличии информации, собираемой в централизованном порядке, например о перемещении нефтяного пятна, о прогнозе погоды [Таран и др., 2021]. Это может дать дополнительную необходимую информацию о влиянии токсических веществ на организм животных. Таким образом, главными задачами при ликвидации аварийной ситуации, связанной с разливом нефти, являются не только очистка, восстановление территории, но и оценка влияния загрязнения на биоценоз.

Достаточно много работ посвящено изучению токсичного влияния различных компонентов нефти как на состав, так и на концентрацию углеводородов в донных отложениях

[Таран и др., 2021], гидрохимическому исследованию воды [Безматерных и др., 2021], оценке водного фитопланктона [Кравчук и др., 2021], зоопланктона [Дубовская и др., 2021], водных организмов [Moreira et al., 2014].

Значительно меньше известно о влиянии разливов нефти на сухопутных млекопитающих, чем на птиц и водные организмы. Экологическую опасность следует оценивать с учетом не только характера и силы антропогенного воздействия, но и биологических свойств реагирующей системы.

Экологический прогноз определяется способностью природных экосистем и живых организмов к самоочищению, саморегуляции и адаптации. Наиболее устойчивыми являются экосистемы, представленные наибольшим видовым разнообразием, численностью, представительством различных трофических уровней, репродуктивностью, межвидовыми соотношениями и абиотическими факторами. Реакция на стрессовые состояния может быть выражена как физиологическими, морфологическими, так и генетическими ответными реакциями [Полявина, 2019].

В оценке территории важны не сами уровни загрязнений и воздействий, а те биологические эффекты, которые они могут вызвать и о которых не может дать информацию даже самый точный химический или физический анализ.

В качестве тест-организмов в биотестировании дикой территории лучше использовать целостные организмы – мелкие млекопитающие (дикие мелкие грызуны) [Гашев, 1992].

В связи с этим крайне важным представляются исследования по оценке состояния таких территорий, используя в качестве биоиндикаторов животных и растений. Только отсутствие морфофизиологических изменений у организмов будет являться подтверждением очищения данной территории от загрязнения.

Таким образом, целью работы являлось изучение морфологических особенностей внутренних органов у диких мышевидных грызунов, обитающих на территориях, загрязненных дизельным топливом.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Отбор млекопитающих проводили с 15 по 27 августа в 2021 г. в двух локалитетах, расположенных в зоне разлива дизельного топлива:

по правому берегу р. Амбарной в районе устья (69.471270° с.ш., 87.931500° в.д.) и в районе р. Щучья (левый берег).

В исследование были отобраны 30 млекопитающих в возрасте 1–2 года, распределение по полу которых соответствовало 50 %/50 %, из которых преобладали полевка-экономка *Alexandromys oeconomus* (Pallas, 1776) и полевка Миддендорфа *Alexandromys midden-dorfii* (Poljakov, 1881). Млекопитающие были разделены на группы в зависимости от места отлова: первая группа – грызуны, отловленные по правому берегу р. Амбарной в районе устья; вторая группа – в районе р. Щучья (левый берег).

Отлов производили с помощью ловушек-суток и конусо-суток. Для отлова мелких грызунов использовали конусы и металлические универсальные давилки Геро с трапиком. В качестве приманки брали хлеб, смоченный подсолнечным маслом. Давилки выставляли в линии по 50 штук с интервалом 5 м. Через двое суток давилки регулярно переставляли в новые биотопы и таким образом охватывали участок обитания сообщества мелких млекопитающих. Конуса из оцинкованной жести (диаметр 250 мм, высота 450 мм) устанавливали в канавках и на линиях заборчиков (из линолеума или жести). При этом принимали во внимание, что канавки и заборчики обладают практически одинаковой уловистостью. Канавки и заборчики имели длину 50 м, при этом на один конус приходилось по 10 м канавки или заборчика. За единицу учета принимается универсальный относительный показатель численности – улов на 100 конусо-суток.

Для гистологического исследования у грызунов двух групп забирали образцы печени, селезенки, легких, сердца, почек, надпочечников и фиксировали в 10%-м нейтральном формалине. Проводку материала осуществляли по изопропиловому спирту с помощью автомата проводки карусельного типа STP 120 (Thermo Fisher Scientific), заливали в парафин HistoMix при помощи станции парафиновой заливки HistoStar (Thermo Fisher Scientific). Гистологические срезы толщиной 4–7 мкм получали с использованием полуавтоматического роторного микротомы HM 340E (Thermo Fisher Scientific). Парафиновые срезы окрашивали гематоксилином и эозином. Морфологическое исследование проводили с помощью

микроскопа прямой конструкции Levenhuk с цифровой камерой, подключенной к ПК.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Гистологические исследования печени у грызунов первой группы показали сохранение гистоархитектоники органа. В гепатоцитах печени происходили изменения дистрофического характера: клетки крупные с зернистой эозинофильной цитоплазмой (набухшие), базофильными крупными ядрами с четко выделенными ядрышками. В синусоидах трабекул отмечалось увеличение количества Купферовских клеток, а также клеточный детрит. Купферовские клетки увеличены в размере, набухшие (рис. 1, а). Центральные вены и сосуды триад умеренно кровенаполнены. Отмечались участки, где гепатоциты с признаками гидропической дистрофии; контуры клеток размыты, цитоплазма пеннистая (вакуолизированная), ядра увеличены, очаговое разрушение цитоплазмы и ядра (рис. 1, б). В небольшом количестве в печени встречались двуядерные гепатоциты (рис. 1, в), что указывает на регенеративные процессы в ткани.

У грызунов второй группы также отмечались изменения в печени. Контуры печеночных балок были незначительно размыты за счет дистрофических изменений клеточных мембран, при этом балочное строение печени сохранялось. В синусоидах отмечались клетки Купфера и клеточный детрит. В ткани печени у животных этой группы наблюдалась выраженная вакуолизация гепатоцитов и зернистость цитоплазмы на всем протяжении печеночных долек, за исключением центральных вен (рис. 1, г). Гепатоциты были дистрофически изменены, где большинство клеток характеризовалось выраженной зернистостью, вакуализацией гепатоцитов, помимо этого в промежуточных отделах долек выявлялись зоны фокального некроза гепатоцитов (рис. 1, д, е).

При морфологическом исследовании гистологического среза почки у грызунов первой группы обнаружено сохранение гистоархитектоники коркового и мозгового вещества. Отмечалось кровенаполнение почечных сосудов (рис. 2, а).

Сосудистые клубочки разных размеров, в юкстагломерулярной зоне отмечались клу-

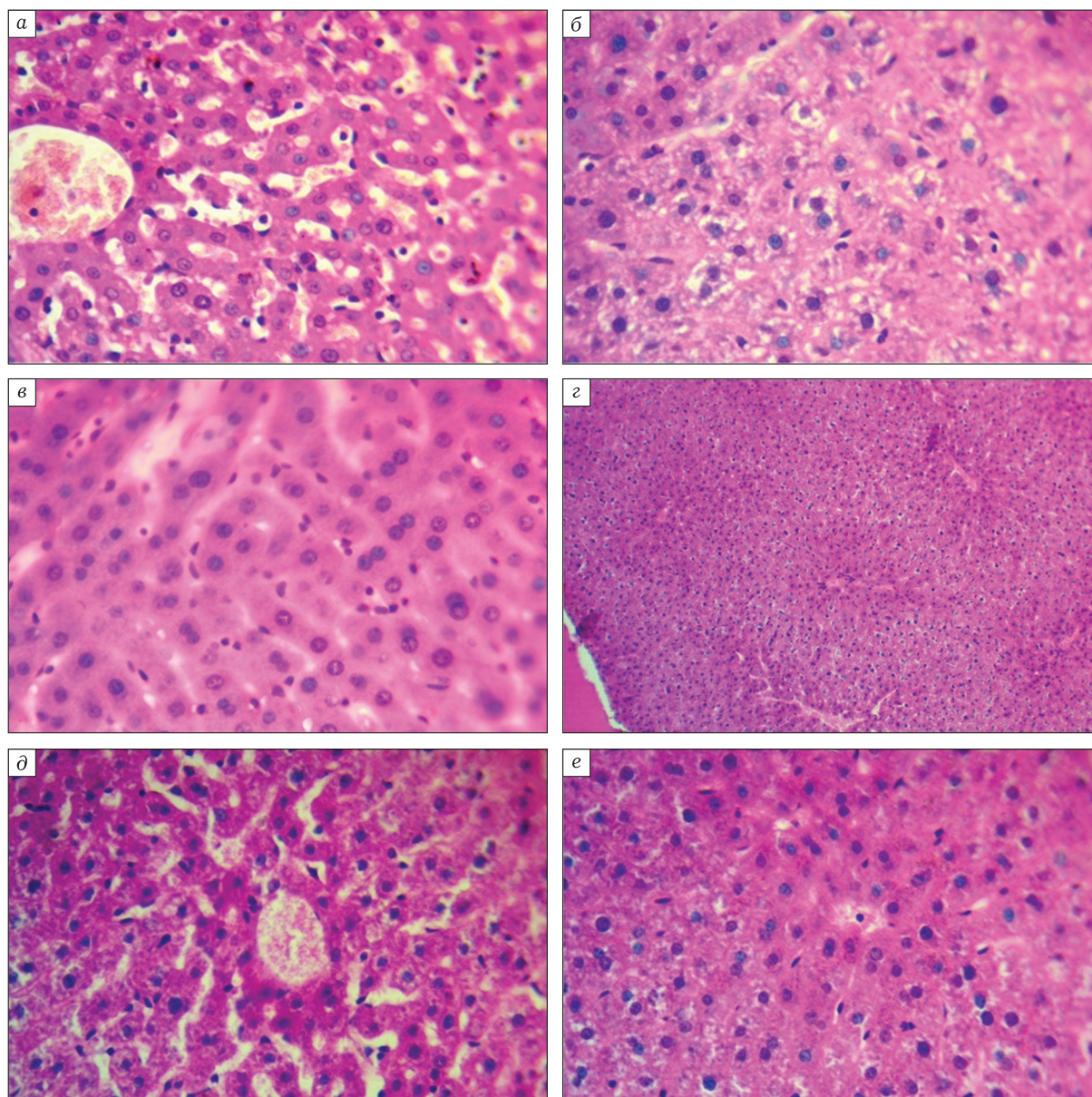


Рис. 1. Печень грызунов. Окраска гематоксилин-эозин. $\times 400$

бочки крупного размера (рис. 2, з). Единично фиксировались некротизированные сосудистые клубочки Шумлянско-Боумена, где капсула увеличена и частично отслоена, капилляры клубочка разрушены (рис. 2, б). В проксимальном нефроэпителии выявлены участки с дистрофическими изменениями, выражающиеся в увеличении эпителиальных клеток, десквамации в просвет канальцев щеточной каемки и единичных эпителиоцитов. Цитоплазма клеток нефроэпителия была зернистая, резко эозинофильная. В некоторых клетках обнаруживали признаки гидропиче-

ской дистрофии. В дистальном нефроэпителии обнаружены дистрофические изменения, где в просветах канальцев присутствовал слущенный эпителий и клеточный детрит (рис. 2, в).

Во второй группе животных в почке гистоархитектоника органа сохранялась. В собирательных трубках отмечали некробиотические изменения, десквамацию эпителия, очаги некроза (рис. 2, д). Сосудистые клубочки разных размеров, большего размера отмечались в юкстагломерулярной зоне. Также было выявлено умеренное кровенаполнение сосудов коркового и мозгового вещества. Проксимальный

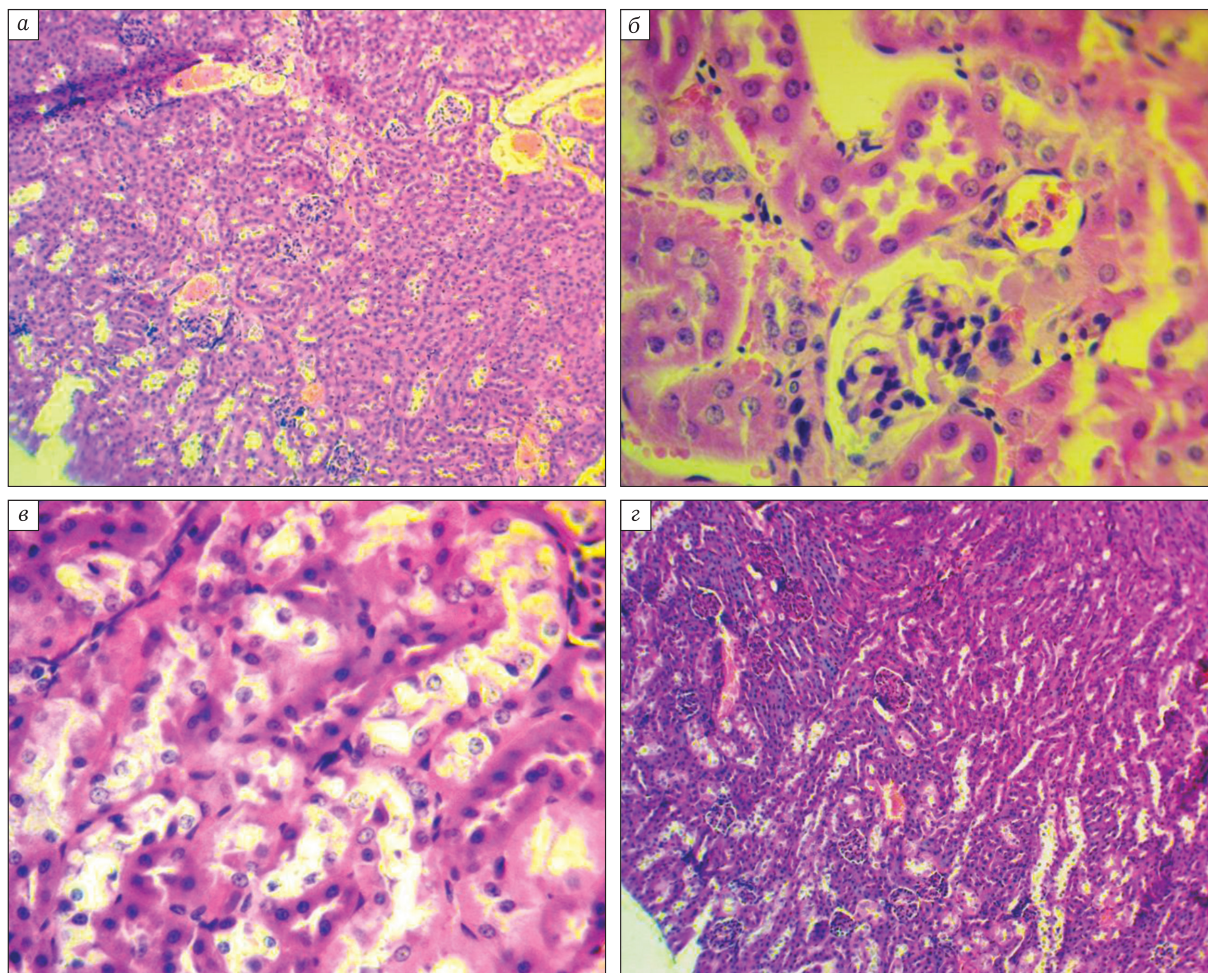


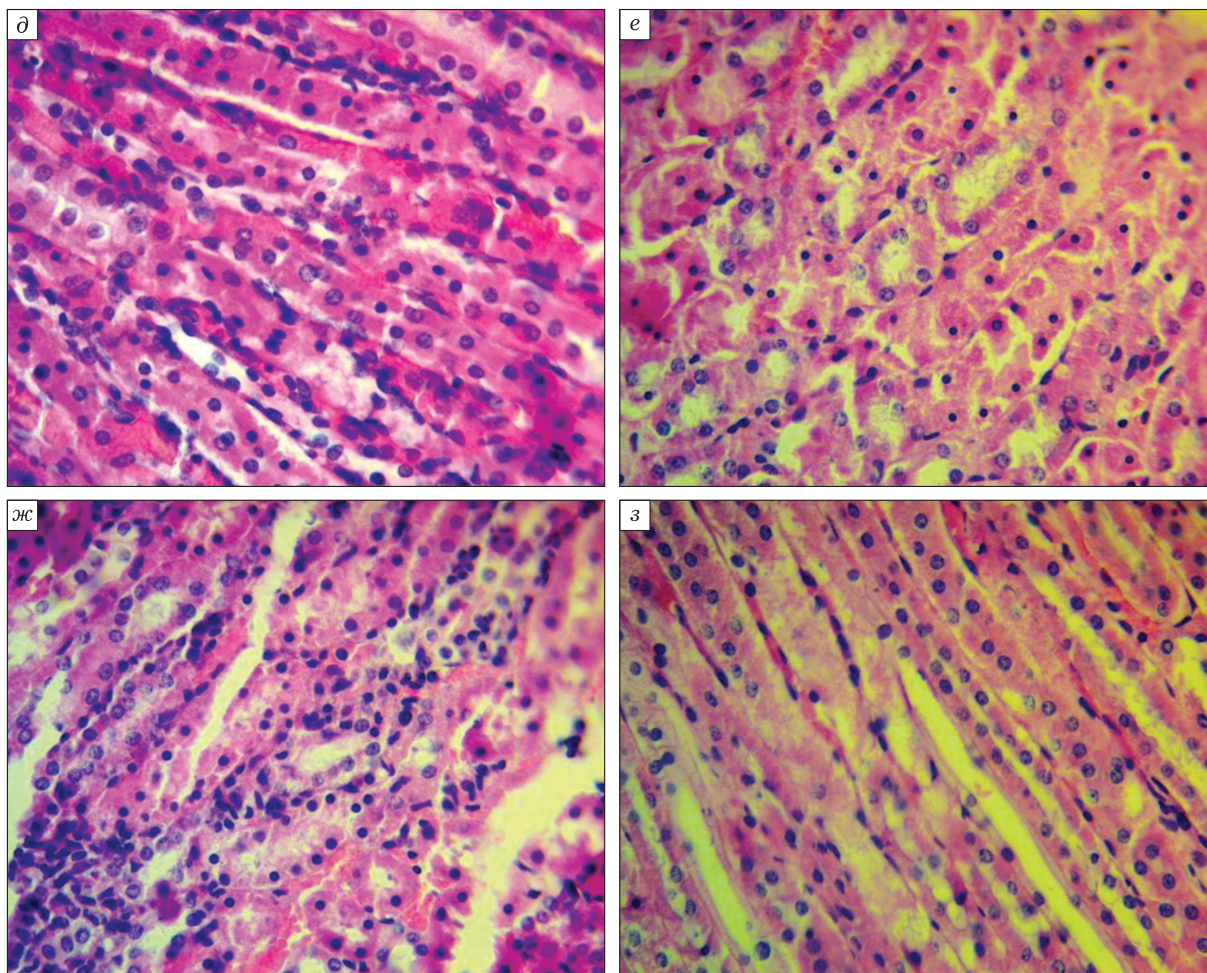
Рис. 2. Почка грызунов.

и дистальный нефроэпителии были с признаками зернистой и очагами гидропической дистрофии, характеризующихся набуханием клеток нефроэпителия, увеличенными ядрами, определялись группы безъядерных клеток (рис. 2, е). Отмечали также очаги некроза, которые диффузно распространялись по почечной ткани (рис. 2, ж). В собирательных трубках наблюдали выраженные некробиотические изменения (рис. 2, з).

Исследование гистологических срезов легкого в первой группе показало, что гистоархитектоника не нарушена. Перибронхиальные артерии, вены и микроциркуляторное русло были полнокровные (рис. 3, а). Вокруг бронхиол (перибронхиально) и кровеносных альвеолярных сосудов (перивазально) определялись лимфоидные инфильтраты (рис. 3, б). Бронхиальный эпителий был представлен преимущественно однослойным многорядным

типом. В некоторых бронхиолах наблюдали мелкие очаги пролиферации эпителиальных клеток с переходом в многослойный эпителий (рис. 3, в). Просветы бронхиол были свободны. Выявляли частичную, очаговую десквамацию бронхиального эпителия в просвет бронхиол. Стенки бронхиальных сосудов не были утолщены, но в некоторых из них наблюдались набухание и пролиферация эндотелиоцитов (см. рис. 3, в). Альвеолы были расправлены. Определялись очаги альвеолярной эмфиземы (см. рис. 3, а). Альвеолярные септы были неравномерно утолщены за счет соединительнотканного компонента и выраженной пролиферации макрофагальными клетками (рис. 3, г).

Во второй группе гистоархитектоника органа сохранена. Отмечалось увеличение толщины альвеолярных септ (рис. 3, д, и). В просветах альвеол встречались единичные слущенные эпителиоциты, альвеолярные макро-



Окраска гематоксилин-эозин. $\times 400$

фагальные клетки, небольшое количество эозинофильных масс. Отмечали наличие бурых включений в альвеолярных макрофагах. В легочной ткани вокруг кровеносных сосудов определялись мелко- и крупноочаговые лимфогистиоцитарные инфильтраты. В сосудистых стенках легочной ткани выявлены дегенеративные изменения, где стенки части сосудов утолщались за счет разрастания мышечного слоя вокруг эндотелия сосуда, эндотелиоциты набухали (см. рис. 3, д). Выявлены расширенные просветы бронхиол, однослойный многорядный бронхиальный эпителий. Бронхиальный эпителий перестраивался из однорядного в многорядный (см. рис. 3, е, ж), увеличивалось количество бокалоцитов. В просветах бронхиол выявлены слущенный бронхиальный эпителий, слизь и клеточный детрит.

Гистологические срезы селезенки грызунов первой группы показали сохранность струк-

туры. Основные структурные элементы органа в виде белой и красной пульпы хорошо различимы. Капсула органа увеличена, состоит из плотной волокнистой соединительной ткани, содержащей фибробласты и гладкомышечные клетки (рис. 4, а). Отмечалось увеличение белой пульпы, представленной лимфатическими периартериальными лимфоидными муфтами и лимфатическими узелками. В периартериальных лимфоидных муфтах, окружающих центральные артерии, фиксировалось увеличение зоны собственной периартериальной области и зоны мантии и широкой маргинальной зоны. Периартериальная область состоит преимущественно из малых лимфоцитов, а также concentрических слоев ретикулярных волокон и уплощенных ретикулярных клеток. Эндотелий центральных артерий фолликулов набухший, стенка сосуда выглядит рыхлой, сами артерии часто в состоянии гиперемии

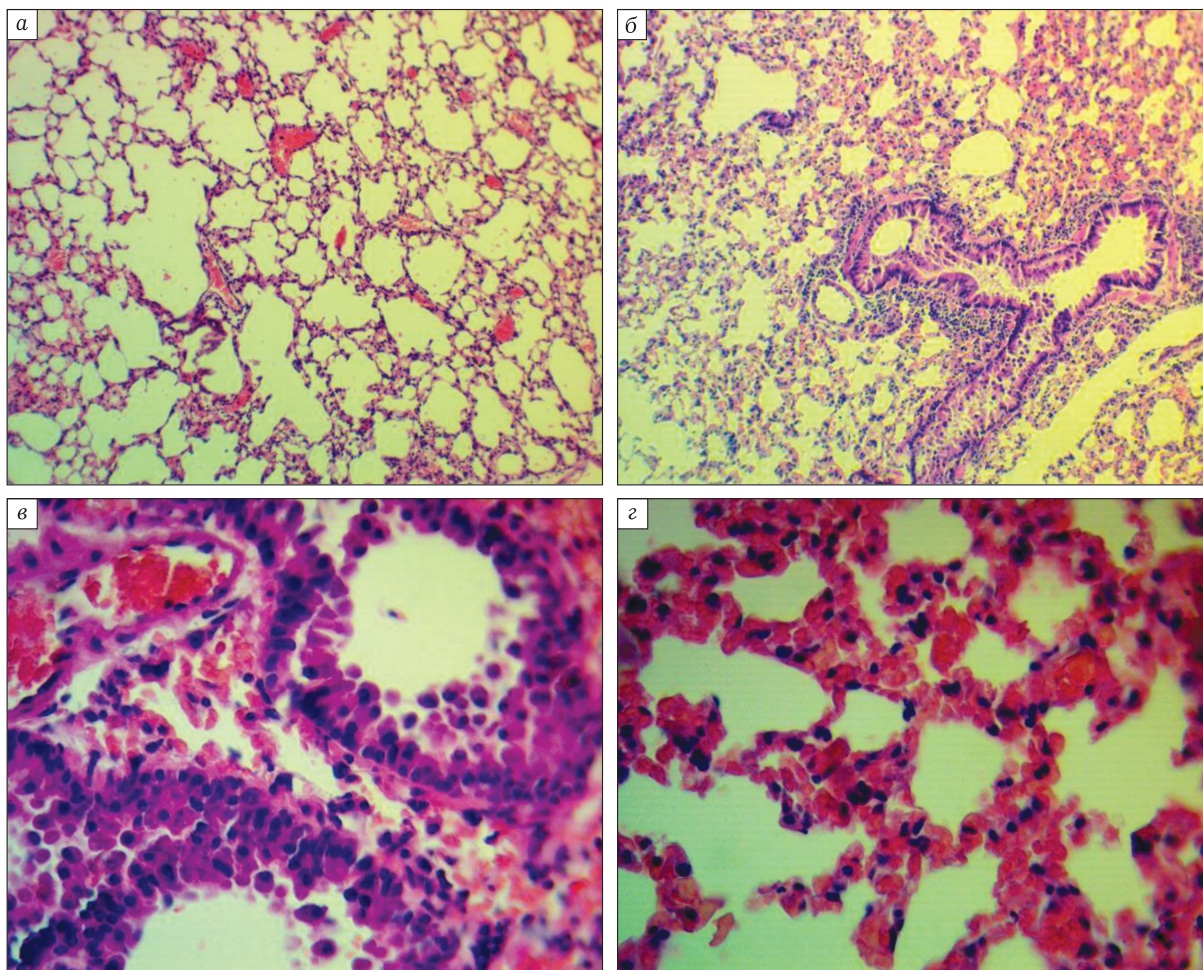


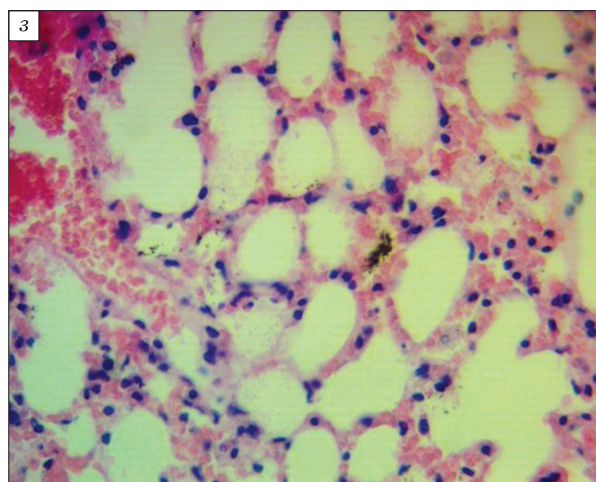
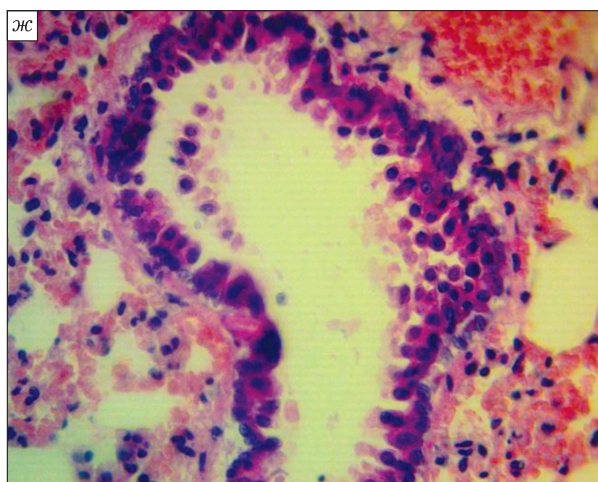
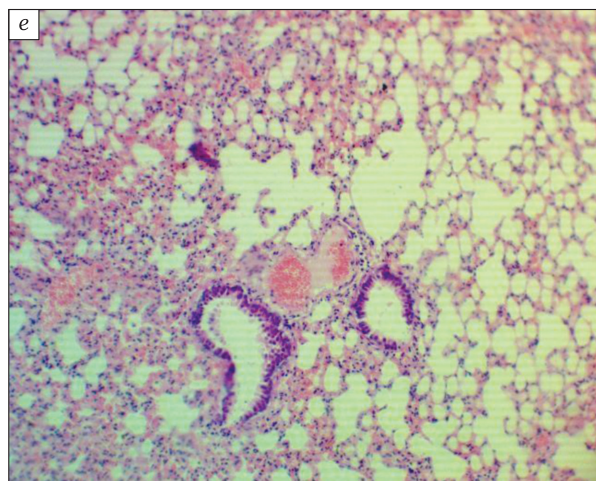
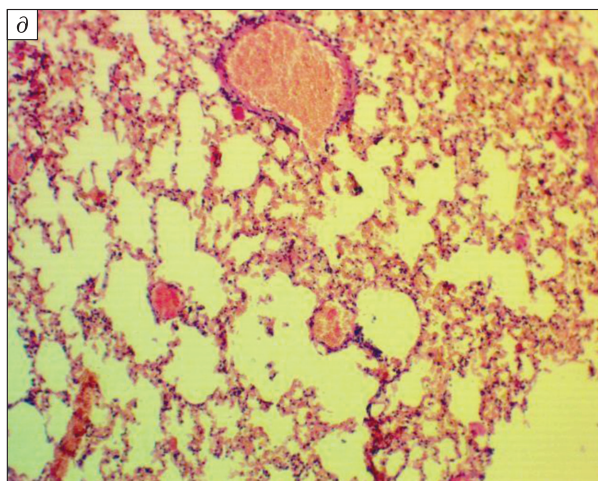
Рис. 3. Легочная ткань грызунов.

(рис. 4, в). Также выявлены выраженные герминативные центры в лимфатическом узле (рис. 4, б). Отличали фолликулы средних и крупных размеров, округлой, овальной или неправильной формы, часто сливные. Отмечалось большое количество первичных лимфоидных узлов.

Красная пульпа была хорошо выражена, она занимала большую площадь органа по сравнению с белой пульпой и была образована молодыми и зрелыми клетками крови, среди которых часто встречались мегакарициты (рис. 4, г). У животных второй группы гистоархитектоника органа сохранена. Капсула и отходящие от нее трабекулы утолщены (рис. 4, д). Основные структурные элементы органа аналогичны тем, что выявлены в органах первой группы животных. Однако в ткани селезенки отмечаются мелкие включения бурого цвета (рис. 4, е).

При анализе результатов гистологических исследований надпочечников у грызунов первой группы установлено, что граница коркового и мозгового вещества визуализировалась, соединительная капсула выражена (рис. 5, а). Отмечалась пролиферация соединительнотканых компонентов стромы. Кортикальный слой надпочечных желез имел размытое деление на клубочковую, пучковую и сетчатую зоны (рис. 5, б).

Клубочковая зона надпочечников у животных первой группы была расположена непосредственно под соединительнотканной капсулой, в которой находятся клетки с равномерно окрашенной цитоплазмой, формирующие гроздевидные, сферические фигуры. Между клетками отмечались форменные элементы крови. Клетки этого слоя преимущественно мономорфны, округлой формы с эксцентрично расположенным округло-



Окраска гематоксилин-эозин. $\times 400$

овальным ядром. Визуализировались единичные клетки с полиморфным ядром. Клетки данной зоны в состоянии зернистой дистрофии (см. рис. 5, в). Пучковая зона более объемна, преимущественно формирующая корковое вещество, которое представлено разнонаправленно ветвящимися синусоидами, между которыми расположены тяжи эозинофильных, более крупных клеток округлой, призматической и многогранной форм. Большая часть клеток вакуолизирована, ядра чаще однородные, гиперхромные. Отмечались клетки в состоянии гидропической дистрофии. В синусоидах выявлены форменные элементы крови (рис. 5, г). Граница пучковой и сетчатой зон визуализировалась. Граница сетчатой зоны коркового вещества от мозгового вещества отделялась слабо выраженной соединительнотканной прослойкой. Сетчатая зона представлена переплетающимися в разных на-

правлениях мелкими кровеносными сосудами, кровенаполненными капиллярами, между которыми располагались выраженные эпителиальные волокна и интенсивно окрашенные округлые и угловатые клетки с более мелким гиперхромным ядром, а также отмечали клетки крови (рис. 5, д). Клетки сетчатой зоны в состоянии зернистой дистрофии, отмечали единичные клетки без ядер. Мозговое вещество сформировано обширной сосудистой сетью интенсивного кровенаполнения, паренхиматозные клетки крупные, преимущественно округлые и многогранные, образуют плотные клеточные тяжи, ядро крупное и светлое, цитоплазма большей части клеток была вакуолизирована, выявлялась мелкоточечная гранулярность. Клетки находились в состоянии гидропической дистрофии (рис. 5, е).

Во второй группе грызунов гистологическое строение надпочечников было в целом сходно

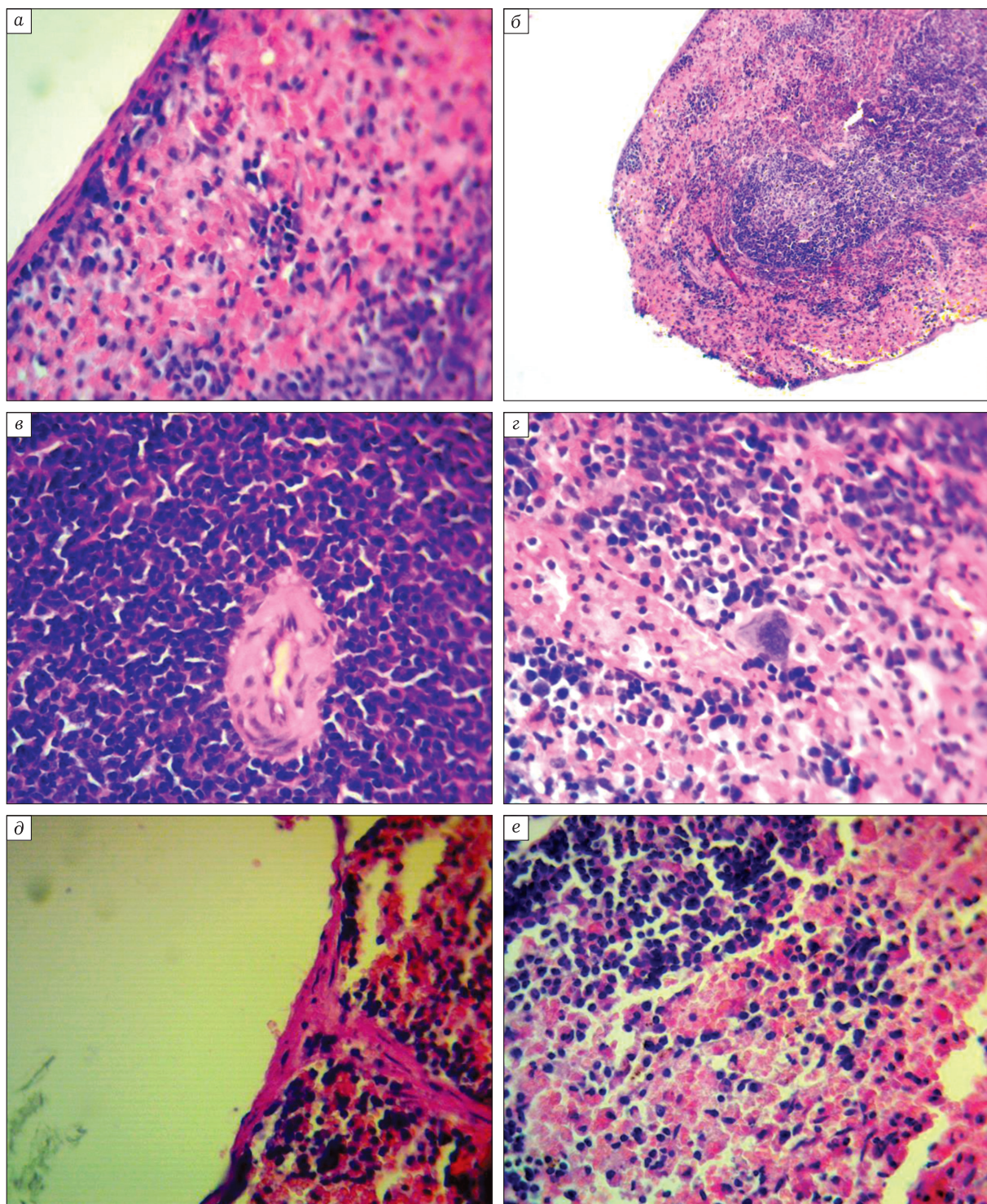


Рис. 4. Селезенка грызунов. Окраска гематоксилин-эозин. $\times 400$

с гистоструктурой первой группы. Однако у грызунов второй группы установлено визуальное увеличение размеров клеток клубочковой, пучковой и сетчатой зон и мозгового вещества, ядра клеток этой зоны более ин-

тенсивно окрашивались, количество вакуолизированных (оптически пустых) клеток было значительно снижено. Наблюдались мелкие очаги гидропической дистрофии в клетках надпочечников данной группы. В синусои-

дах коркового и мозгового вещества отмечали клетки крови. В обеих группах выявлены гемодинамические нарушения в виде застойной гиперемии, агрегации эритроцитов, явления стаза и сепарации крови (рис. 5, ж, з).

ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе работы выявлены гистопатологические изменения в печени, селезенке, легких, надпочечниках и почках у млекопитающих первой и второй групп, которые характерны для токсического воздействия нефтепродуктами и отходами предприятий (высокое содержание тяжелых металлов). Таким образом, можно отметить высокую восприимчивость мелких грызунов, проживающих в аварийно-техногенных зонах [Гашев, 1992].

В исследуемых органах происходят изменения в виде острого воспаления с тенденцией к хронизации процесса, что может быть вызвано неспецифической реакцией организма на загрязнение. В печени возникают более выраженные патологические изменения гепатоцитов, ведущие к резкому снижению регенераторных и деструктивных функций органа. В почках на фоне продуктивного воспаления фиксировались очаги некроза. В легких наблюдалась хронизация воспалительного процесса в виде деформирующего бронхита. В селезенке отмечалось разрастание лимфоидной и миелоидной ткани. Так, увеличение размеров белой пульпы происходило за счет маргинальной зоны, периартериальных лимфоидных муфт, лимфоузлов с выраженным герминативным центром. Это можно объяснить увеличенным количеством токсинов, поступающих в организм животных с током крови. В селезенке происходит их задержание в маргинальной зоне, взаимодействие как с В-лимфоцитами, так и с макрофагами, что ведет к увеличению объема данных зон. При попадании в первичный лимфоидный фолликул происходит взаимодействие на границе между зонами В- и Т-лимфоцитов с антигеном. При участии Т-лимфоцитов образуются герминативные центры, в результате чего первичные лимфоидные фолликулы превращаются во вторичные. Именно на этом этапе формируется гуморальный иммунный ответ. Исследование гистологии надпочечников показало, что одним из характерных изменений

в коре явилось ее значительное расширение, причем гипертрофия коры происходила за счет увеличения размеров пучковой зоны, вырабатывающей гормоны глюкокортикоидного типа. Обнаружены также различные дистрофические и деструктивные процессы в исследуемых органах. Выявленные нами изменения структуры надпочечников у мышевидных грызунов, обитающих в зоне аварии, во многом сходны с таковыми у животных, которые обитают на территории сбросов отходов с предприятий, но у последних все эти процессы были более выражены. Таким образом, в эндокринной системе компенсаторно-восстановительные процессы выражаются в гиперплазии и гипертрофии на клеточном и внутриклеточном уровнях. В печени отмечались цирротические изменения, что соответствует данным научной литературы [Ayalogu et al., 2001].

Проведенные исследования позволяют констатировать, что нефтепродукты и отходы промышленных предприятий, попадающие в окружающую среду, влияют на диких мелких грызунов, являются стрессовым фактором для животных, а также вызывают неспецифическую реакцию организма в ответ на загрязнение. Помимо самого стресса, последствиями воздействий могут быть различные соматические патологии, в том числе сердечно-сосудистые заболевания [Tawakol et al., 2019], эндокринные расстройства [Stefanaki et al., 2018], нарушения функции почек [Marchon et al., 2018] и другие нозологические формы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Токсические эффекты, обнаруженные у млекопитающих первой группы, подтверждаются патологическими изменениями во внутренних органах и тканях. Во второй группе это наличие в органах и тканях животных черных мелких включений, где отмечаются выраженные некробиотические изменения. Обостренный режим функционирования важнейших систем жизнеобеспечения, ярко выраженный у второй группы животных можно рассматривать лишь как положительную приспособительную реакцию организма, направленную на структурную и функциональную нормализацию исследуемых тканей и органов. Выявленные морфологические сдвиги у всех животных нельзя считать показателями

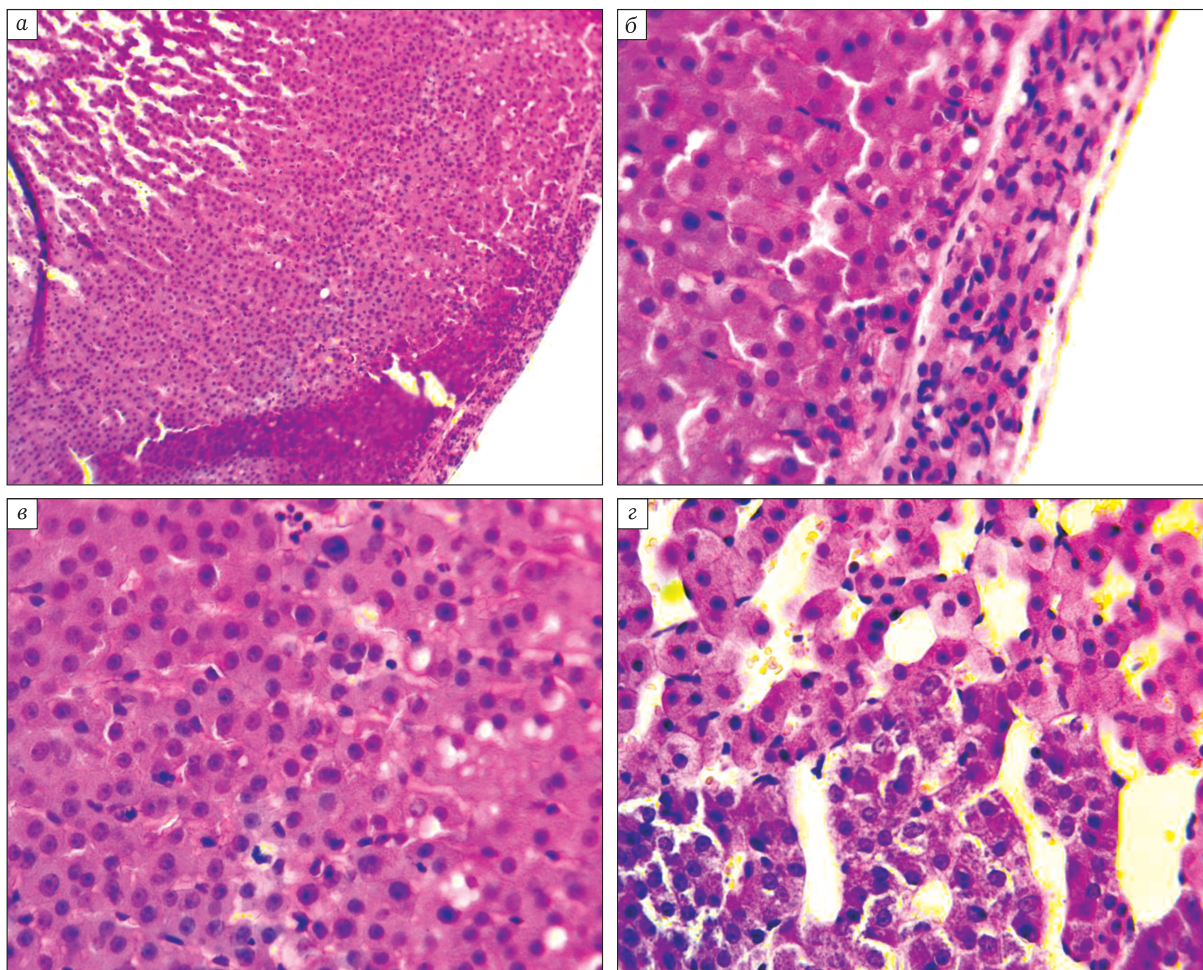


Рис. 5. Надпочечник грызунов.

истинной физиологической адаптации организма к сложившимся условиям среды обитания грызунов, а лишь реакцией организма на окружающую среду. Возникающие патологические процессы в кроветворении, выделительной системе, дисбаланс органов эндокринной системы могут являться либо следствием нарушения физиологических процессов, либо ускоренного истощения резервных возможностей систем организма.

Работа выполнена при финансовой поддержке договора № НТЭК-32-523-1/21 от 07.04.2021 г. проекта восстановительных работ для возмещения вреда объектам животного мира, а также иным компонентам окружающей среды, пострадавшим в результате аварийного разлива нефтепродуктов.

ЛИТЕРАТУРА

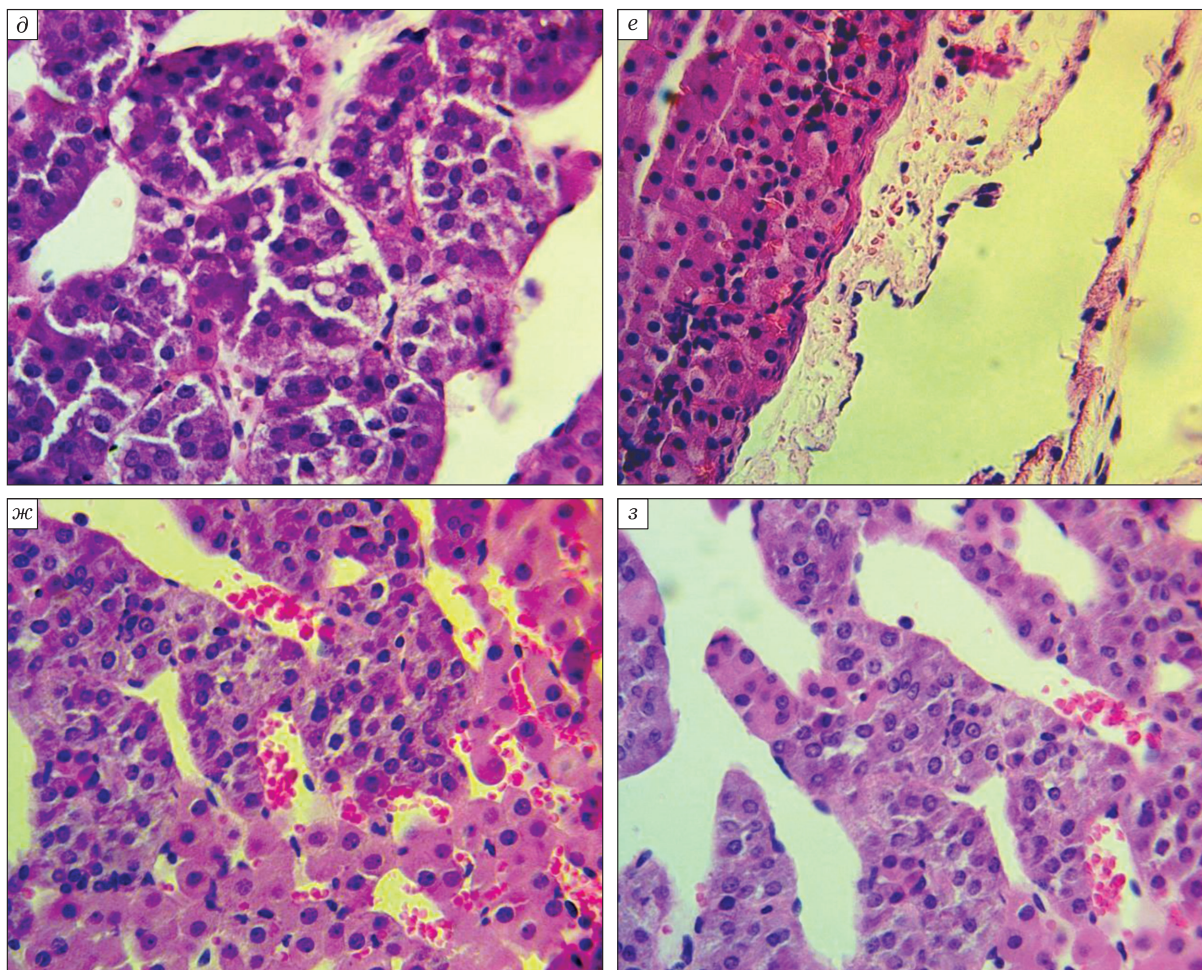
Базова М. М., Кошевой Д. В. Оценка современного состояния качества вод Норильского промышленного рай-

она // Арктика: экология и экономика. 2017. Т. 27, № 3. С. 49–60.

Безматерных Д. М., Пузанов А. В., Котовщиков А. В., Дроботов А. В., Толмеев А. П. Гидрохимические показатели качества воды Норило-Пясинской озерно-речной системы после разлива дизельного топлива на ТЭЦ-3 г. Норильск в 2020 г. // Сиб. экол. журн. 2021. Т. 28, № 4. С. 408–422. [Bezmaternykh D. M., Puzanov A. V., Kotovshchikov A. V., Drobotov A. V., Tolomeev A. P. Hydrochemical indicators of water quality in the Norilsk–Pyasino lake–river system after a diesel fuel spill at Norilsk heat and power plant 3 in 2020 // Contemporary Problems of Ecology. 2021. Vol. 14, N4. P. 335–355].

Гашев С. Н. Влияние нефтяных разливов на фауну и экологию мелких млекопитающих Среднего Приобья // Экология. 1992. № 2. С. 40–48.

Гладышев М. И. Разливы нефти в пресных водах и состояние экосистемы оз. Пясино до аварийного разлива 2020 г. // Сиб. экол. журн. 2021. Т. 28, № 4. С. 395–407. [Gladyshev M. I. Oil spills in fresh waters and the state of the lake ecosystem Pyasino before the emergency spill in 2020 // Contemporary Problems of Ecology. 2021. Vol. 14, N 4. P. 313–322.]



Окраска гематоксилин-эозин. $\times 400$

- Дубовская О. П., Елгина О. Е., Морозова И. И. Зоопланктон оз. Пясино и впадающих в него рек после разлива дизельного топлива в 2020 г. // Сиб. экол. журн. 2021. Т. 28, № 4. С. 476–487. [Dubovskaya O. P., Yolgina O. E., Morozova I. I. Zooplankton of lake pyasino and the rivers flowing into it after the diesel spill in 2020. // Contemporary Problems of Ecology. 2021. Vol. 14, N 4. P. 380–390].
- Кравчук Е. С., Котовщиков А. В., Иванова Е. А. Характеристика афитопланктона и фитоперифитона оз. Пясино и его притоков после аварийного разлива нефтепродуктов 2020 г. // Сиб. экол. журн. 2021. Т. 28, № 4. С. 462–475. [Kravchuk E. S., Kotovshchikov A. V., Ivanova E. A. Phytoplankton and phytoperiphyton characteristics of lake Pyasino and its tributaries after an accidental fuel spill in 2020 // Contemporary Problems of Ecology. 2021. Vol. 14, N4. P. 368–379.]
- Полявина О. В. Хромосомная нестабильность у мелких грызунов в зоне влияния ОАО “Высокогорский горно-обогатительный комбинат” // Наука, техника и образование. 2019. Т. 61, № 8. С. 5–10.
- Потравный И. М. Этнологическая экспертиза последствий аварийного загрязнения окружающей среды // Экология. Экономика. Информатика. Сер. Системный анализ и моделирование экон. и экол. систем. 2020. Т. 1, № 5. С. 282–286.
- Таран О. П., Скрипников А. М., Ионин В. А., Кайгородов К. Л., Кривоногов С. К., Добрецов Н. Н., Добрецов В. Н., Лазарева Е. В., Крук Н. Н. Состав и концентрация углеводородов донных отложений в зоне разлива дизельного топлива ТЭЦ-3 АО “НТЭК” (г. Норильск, Арктическая Сибирь) // Сиб. экол. журн. 2021. Т. 28, № 4. С. 423–449. [Taran O. P., Skripnikov A. M., Ionin V. A., Kaigorodov K. L., Krivonogov S. K., Dobretsov N. N., Dobretsov V. N., Lazareva E. V., Kruk N. N. Composition and concentration of bottom sediment hydrocarbons in the diesel fuel spill zone of CHP-3 JSC “NTEK” (Norilsk, Arctic Siberia) // Contemporary Problems of Ecology. 2021. Vol. 14, N 4. P. 323–334.]
- Якуцени С. П., Соловьев И. А. Расчет ущерба окружающей среде в результате аварии на складе ГСМ в Норильске // Геогр. среда и живые системы. 2020. № 4. С. 48–56.
- Ayalogu O. E., Igboh N. M., Dede E. B. Biochemical Changes in the Serum and Liver of albino rats exposed to Petroleum Samples (gasoline, kerosene, and crude Petroleum) // J. Appl. Sci. Environ. 2001. Vol. 5, N 1. P. 97–100.
- Marchon R. G., Ribeiro C. T., Costa W. S. Immediate and late effects of stress on kidneys of prepubertal and adult rats // Kidney Blood Press. Res. 2018. Vol. 43, N 6. P. 1919–1926.

- Moreira C. B., Rodrigues R. V., Romano L. A., Gusmão E. P., Seyffert B. H., Sampaio L. A., Miranda-Filho K. C. Genotoxicity and histological alterations in grey mullet *Mugil liza* exposed to petroleum water-soluble fraction (PWSF) // *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2014. N 21. P. 5565–5574.
- Pavlova M. B., Mikhaylova V. I., Malysheva M. S., Samsonova I. V., Semenova L. Sustainable development of territories of traditional environmental management in the conditions of implementation of investment projects // *E3S Web of Conferences*. 2020. Vol. 161, N 02007.
- Stefanaki C., Pervanidou P., Boschiero D., Chrousos G. Chronic stress and body composition disorders: implications for health and disease // *Hormones (Athens)*. 2018. Vol. 17, N 1. P. 33–43.
- Tawakol A., Osborne M. T., Wang Y. B. Stress-associated neurobiological pathway linking socioeconomic disparities to cardiovascular disease // *J. Am. Coll. Cardiol.* 2019. Vol. 73, N 25. P. 3243–3255.

Morphological assessment of organs and tissues of small mammals living in the industrial area of Norilsk

A. V. KIREEVA¹, O. A. KOLENCHUKOVA^{2, 3}, O. V. PERETIATKO², A. P. SAVCHENKO³,
V. L. TEMEROVA³, V. I. EMELYANOV³

*1Krasnoyarsk Scientific Center, Federal Research Center KSC SB RAS
660036, Krasnoyarsk, Akademgorodok, 50/12, building 2*

2Scientific Research Institute of Medical Problems of the North, Federal Research

*Center KSC SB RAS
660022, Krasnoyarsk, Partizan Zheleznyak str., 3g
E-mail: kalina-chyikova@mail.ru*

*3Siberian Federal University
660041, Krasnoyarsk, Svobodny av., 79*

Monitoring studies of the impact of various types of industrial pollution on ecosystems using the histomorphological method have been carried out. The stages of formation and development of changes in the main body systems in mouse-like rodents living near the rivers of the industrial district of Norilsk are noted. Despite the external well-being, numerous structural, morphological pathologies were found in the organs and tissues of the examined mice living in contaminated areas. Disorders in the organs of hematopoiesis, an imbalance of the organs of the endocrine system, may be the result of a breakdown of stabilizing mechanisms, or accelerated depletion of the reserve capabilities of the studied systems.

Key words: diesel fuel, Norilsk, mouse-like rodents, toxic effects, histological preparations of organs and tissues.