

Обзорная статья

УДК 574.24:632.958/574.21

<https://doi.org/10.35885/1684-7318-2023-2-148-178>

СОВРЕМЕННЫЕ РОДЕНТИЦИДЫ И НЕЦЕЛЕВЫЕ ВИДЫ

Е. В. Ерофеева¹, Ю. Е. Суркова², А. В. Шубкина[✉]

¹ Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН
Россия, 119071, г. Москва, Ленинский проспект, д. 33

² Московский педагогический государственный университет
Россия, 119991, г. Москва, ул. Малая Пироговская, д. 1, с. 1

Поступила в редакцию 27.02.2023 г., после доработки 28.03.2023 г., принята 28.03.2023 г., опубликована 21.06.2023 г.

Аннотация. Общеизвестно, что загрязнение окружающей среды химическими веществами, используемыми в агротехнических мероприятиях, является крупнейшей проблемой сохранения биологического разнообразия и пищевой безопасности человека, хотя полностью исключить их применение невозможно. Особое значение принадлежит современным родентицидам – суперварфаринам, предназначенным для сокращения численности грызунов, наносящих ущерб сельскому хозяйству, т.е. уничтожения животных. Однако эти препараты высоко токсичны и передаются по пищевым цепям. Провести грань между агроценозами в их классическом понимании и естественной или мало измененной средой практически невозможно. Отсутствие явных, физических границ агроценозов означает, что процессы, происходящие в них, влияют на биологическое разнообразие сопредельных территорий, считающихся естественными. Животные используют как поля, так и пространства, прилегающие к ним. Помимо того, происходит водообмен между обрабатываемыми полями и прилегающими к ним естественными территориями и водоемами. Современные изменения структуры агроценозов (повышение доли полей, на которых проводят обработку родентицидами) и распахка приовражий (благодаря улучшению качества техники) облегчают попадание родентицидов в водоемы. Представлены данные о последствиях применения суперварфарина в некоторых антропогенных биоценозах южных регионов РФ. Приведены факты массовой гибели консументов 1 и 2 порядка (так называемые нецелевые виды), прямо связанные с их применением. Впервые в РФ выполнены комплексные патоморфологические и токсикологические исследования животных, погибших в природе. Подтверждено наличие бромадиолона в пробах тканей, сделан анализ описаний вскрытий погибших птиц. Подготовлены рекомендации по особенностям сбора и хранения материалов, направляемых для исследований.

Ключевые слова: родентициды, антикоагулянты, нецелевые виды, дикие животные, природные системы

Для цитирования. Ерофеева Е. В., Суркова Ю. Е., Шубкина А. В. Современные родентициды и нецелевые виды // Поволжский экологический журнал. 2023. № 2. С. 148 – 178. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2023-2-148-178>

✉ Для корреспонденции. Лаборатория поведения и поведенческой экологии млекопитающих Института проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН.

ORCID и e-mail адреса: Ерофеева Екатерина Владимировна: <https://orcid.org/0009-0006-0062-2119>, canis92@mail.ru; Суркова Юлия Евгеньевна: u.sura.sura@yandex.ru; Шубкина Анна Владимировна: <https://orcid.org/0000-0002-6857-3812>, annashubkina@rambler.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Химические обработки лежат в основе современной агрокультуры. Они включают уничтожение нежелательной растительности, стимуляцию развития растений, сокращение численности животных, признаваемых нежелательными производителями сельхозпродукции. Вещества, применяемые для химической обработки, присутствуют не только в продукции агроценозов, но и в дикорастущей растительности, грунте и водоемах (Yadav et al., 2015). Ни одна часть человеческой популяции не защищена полностью от влияния агрохимических препаратов, воздействующих на общее состояние и развитие заболеваний (Aktar et al., 2009; Thomson, Darwish, 2019).

Особое значение принадлежит препаратам для уничтожения грызунов. Как описано нами ранее (Ерофеева и др., 2021), при их использовании в некоторых случаях происходят массовые отравления диких животных, обусловленные передачей токсикантов по пищевым цепям.

Родентициды – препараты для уничтожения грызунов, остальные животные, на которых они могут влиять, называются нецелевыми объектами. В список нецелевых объектов входят млекопитающие, птицы, рептилии и амфибии, рыбы и, конечно, человек. Отравления людей родентицидами происходят обычно случайно и не всегда бывают зарегистрированы; отравления диких и домашних животных часто сопровождаются их гибелью (Berny et al., 2010).

Наблюдения, лежащие в основе данной работы, сделаны преимущественно в Волгоградской области, одном из регионов Нижнего Поволжья. Поволжье включает несколько физико-географических зон: границу зоны широколиственных лесов — лесостепь на севере региона, обширные степные пространства с оврагами и лесополосами в центральной части, сухие степи и полупустыни на юге. Это один из крупнейших сельскохозяйственных регионов России, включающий более 48 млн га сельскохозяйственных угодий, составляющих более 70% территории. Агротехническая нагрузка здесь неодинакова: на юге преобладает мясное скотоводство, в центральной части и на севере – зерновые и масличные культуры. Типичный ландшафт – поля, ограниченные оврагами и лесополосами. Соотношение зон сельского хозяйства и «условно нетронутых» показывает, что воздействие веществ, применяемых при агротехнических мероприятиях, не ограничено пределами собственно агроценозов. Поэтому особенности агротехники стали доминирующим антропогенным воздействием.

В последние 20 лет произошло существенное (более чем на 10%) увеличение площадей зерновых и масличных за счет снижения доли кормовых культур (Российский рынок сельхозсырья..., 2021). Возросла доля площадей зерновых, зернобобовых и масличных (мы объединяем эту группу культур, так как при севообороте неизбежно их чередование), а доля иных полей снижается. Обработка полей кормовых культур, естественных и обновляемых сенокосов, залежей, пастбищ и пр.¹ родентицидами не проводится, в отличие от зерновых и масличных, поэтому

¹ Типы полей приведены по «Неугодья земель сельскохозяйственного назначения» (<https://freespravochnik.net/info/neugodja-zemel-selskohozjajstvennogo-naznachenija/>).

такие изменения ведут к повышению доли угодий, в которые вносят родентициды. Исследования в Краснодарском крае показывают, что в 1999 – 2007 гг. площади родентицидных обработок более чем удвоились (Яковлев и др., 2007), пропорционально снижению доли полей с кормовыми культурами. По Волгоградской и Саратовской областям таких данных нет, но, по личным наблюдениям, существует такая же тенденция.

По данным ИКАР (Института конъюнктуры аграрного рынка), к 2020 г. доли обрабатываемых полей в южных регионах возросли почти четырехкратно по сравнению с 2000 г. (http://www.agrospeaker.ru/var/fck/image/RUS_GO-2019-01-2.jpg). Это позволяет полагать, что к настоящему времени интенсивной обработке агрохимикатами и родентицидами подвергается большая часть зон интенсивного земледелия. Таким образом, количество вносимых препаратов разного состава существенно возросло.

Следует учитывать, что количество вносимых препаратов не только возросло – изменилась структура водосборных зон. Зона водосбора – водосборный бассейн и надпойменные террасы – включает распахиваемые поля, традиционно называемые агроценозами, и прилегающие к ним территории (участки леса, лесополосы, приовражья). Благодаря повышению качества техники происходит распашка склонов оврагов, снижающая площадь участков, отделявших ранее обрабатываемые поля от зон водостока. Исторически прилегающие территории отделяли зоны водосбора от зон водостока, выполняя функцию естественных фильтров как для плодородного грунта, так и вносимых химикатов. Они выполняли буферную функцию, задерживая смывы с полей, т.е. производя частичную фильтрацию и пролонгируя период от внесения токсикантов до их попадания в водоемы. Изменение структуры посевов и зон распашки приводит к тому, что в припойменной зоне возрастает загрязнение продуктами агрохимии, попадающими в водоемы.

Существуют две формы воздействия родентицидов: прямое отравление и передача по пищевым цепям. Прямое отравление направлено на грызунов, но обработки нередко проводятся с грубыми нарушениями регламента пользования, которые, иногда, удается выявить. Как биологов, нас больше всего интересует возможность передачи токсикантов по пищевым цепям, т.е. их воздействие при переходах между трофическими уровнями. Такой эффект находится вне поля зрения Минсельхоз и Минприроды РФ и, тем более, не может контролироваться сельхозпроизводителями. Однако его значение для поддержания биоразнообразия, полевых зоологических и экологических исследований, охотничьего хозяйства и безопасности населения переоценить невозможно.

В массовом сознании преобладает ошибочное убеждение о безвредности современных родентицидов. Цель этой статьи – привлечь внимание биологов к реальным последствиям их применения для диких животных и человека.

Проблема применения

Регламенты использования родентицидов вне населенных пунктов весьма размыты (Иваницкая и др., 2011), а неоднозначные эффекты накопления и передачи изучены недостаточно (Morgan, 2006; Berny et al., 2010).

Принято подразделять родентициды на две группы: короткоживущие и длительного действия, преимущественно антикоагулянты, называемые в англоязычной литературе LAAR (longacting anticoagulant rodenticides) (Рыльников и др., 2011; Caravati et al., 2007). Особенностью антикоагулянтов длительного действия является способность к накоплению в организме – кумуляции (Галлямова, 2013; Войцеховский и др., 2020). Даже если оно не приводит к летальному исходу, происходит снижение сопротивляемости к иным повреждающим факторам.

Родентициды-антикоагулянты вошли в обиход в середине прошлого века, а в наши дни стали общеприняты. Они включают антикоагулянты первого поколения (кумариновый ряд: наиболее известен зоокумарин; индандиононовый ряд: этилфенацин, дифацинон, трифенацин, хлорфацинон, тетрафенацин и др.), называемые часто варфаринами.

С конца XX в. все шире применяют антикоагулянты второго поколения, называемыми суперварфаринами (дифенакум, бромадиолон, флокумафен, бродифакум, дифетиалон). Определение их присутствия методически сложно и требует специальной аппаратуры² и квалифицированного персонала. При хранении в тепле и на воздухе они распадаются. Период полураспада (ДТ) бромадиолона при температуре +20°C составляет в среднем 14 суток. В зависимости от условий ДТ₅₀ (период распада 50%) колеблется от 3 до 269 дней, ДТ₉₀ от 14 до 658 дней (Бромадиолон, 2021).

Инструкции по применению противоречивы: отмечена кумуляция и возможность отравления через кожу и дыхательные пути, но основой принято считать пищевое отравление – для которого и рассчитывается летальная доза (например, Березовский, 1998). Признана особая опасность суперварфарина для домашних кроликов и птиц, поэтому приманки рекомендуют размещать в емкостях, что также должно снижать загрязнение почвы и смыв в водоемы (Иваницкая и др., 2011). В последние годы нередки сообщения о случаях массовой гибели рыбы в прудах и крупных реках, но тесты на присутствие антикоагулянтов никогда не проводили. Однако есть данные, свидетельствующие о загрязнении родентицидами не только рек и озер, но и морских экосистем (Masuda et al., 2015).

Согласно принятым в РФ правилам обращения ядохимикатов и пестицидов государство регулирует их оборот и применение, используя названия производителей. Единый, ежегодно обновляемый реестр (Государственный каталог, 2020, 2021) включает коммерческие названия, но не действующие вещества, их концентрации, уровни очистки; поэтому оценка соответствия концентраций и состава заявленному не проводится. Способы применения на местах различны, далеко не всегда соответствуют инструкциям, часто проходят с грубыми нарушениями регламента. Торговое название выбирает фирма-производитель, поэтому не исключено неумышленное превышение вносимой дозы токсикантов за счет использования разных препаратов разных фирм и разного состава. Некоторые препараты исключают из применения и возвращают вновь. Например, фосфид цинка (как и его

² Определение присутствия суперварфарина основано на измерении массовой доли методом обращенно-фазной жидкостной хроматографии с УФ-детектированием, с количественной оценкой методом внешнего стандарта (Андреев и др., 2019).

аналоги, фосфид магния и фосфид алюминия) несколько лет был запрещен по некоторым данным³ (Яковлев, Бабич, 2011). В настоящее время вещество входит в Каталог разрешенных препаратов РФ с различными коммерческими названиями. Последние десятилетия в России никак не отслеживается производство, реализация, хранение и применение агрохимикатов при обработке полей.

Комплекс сведений о возможностях и результатах применения современных родентицидов позволяет утверждать, что в свободной продаже находятся отравляющие вещества, вероятность диагностики которых крайне ограничена.

Наблюдения за применением родентицидов в некоторых природных системах РФ

Отравления нецелевых видов возможны во всех регионах, но опыт показывает, что наибольшую угрозу их применение представляет в лесостепных и степных зонах, превосходящих прочие по агроклиматическим ресурсам.

Ранее (Ерофеева и др., 2021; Erofeeva et al., 2022) мы подробно описали результаты применения родентицидов в Новониколаевском районе Волгоградской области в 2019 г. Совместные действия местного населения (сообщения о гибели животных в полях), дирекции унитарного предприятия «Новониколаевский охотник», администрации района и охотинспекции позволили собрать образцы (тушки мертвых зайцев-русаков) и передать их в районную Станцию по борьбе с болезнями животных (СББЖ). Вскрытие показало наличие черно-красного экссудата в грудной полости, при нормальной упитанности павших животных и отсутствии как внешних повреждений, так и повреждений желудочно-кишечного тракта. Инфекционные заболевания домашних кроликов, спектр которых пересекается с таковым у зайцев, летом и осенью 2019 г. в Новониколаевском районе не зарегистрированы, что подтверждало предположение о токсической природе причин падежа. Трупы зайцев находили в разных местах, но в полях, граничащих с зонами их обнаружения, численность животных этого вида не сократилась и примерно соответствовала наблюдавшемуся ранее, что также свидетельствует об отсутствии инфекционного заболевания.

Было установлено, что дератизацию проводили путем разбрасывания обработанного препаратом зерна с помощью самодельных устройств в конце сентября – начале октября. Название препарата и график обработок не был предоставлен агрофирмой, на полях которой был отмечен падеж, со ссылкой на коммерческую тайну. Использовали самодельные механические приспособления для рассыпания в поле зерна красноватого цвета, протравленного водным раствором, что нарушает регламент применения данной группы препаратов. Под давлением администрации района агрофирма прекратила использование самодельных механических устройств для разбрасывания зерна в 2019 г. и не применяла их в 2020 – 2022 гг.

³ Фосфид цинка, (Zn_3P_2) – по некоторым данным, был официально запрещен в нашей стране, но активно используется в производстве других пестицидов (<https://fb.ru/article/277941/fosfid-tsinka-opisanie-deystvie-simptomyi-otpravleniya-mojno-li-primenyat-fosfid-tsinka>; <https://geradez.ru/5-insekticidov-zapreshhennyx-v-evrope>).

СОВРЕМЕННЫЕ РОДЕНТИЦИДЫ И НЕЦЕЛЕВЫЕ ВИДЫ

Обследование полей с собаками через 40 – 60 дней после обработки позволило найти более двадцати мацерированных тушек зайцев и 1 барсука. Подсчет числа следов на обработанных полях воспроизводственного участка зайца-русака, проведенный в декабре по пороше, показал, что на значительной части участка признаки активности зайца отсутствовали.

В январе 2020 г. в нескольких районах Краснодарского края специалисты Министерства природных ресурсов Краснодарского края установили массовые (собрано более 3000 тушек на маршруте 7 км) падежи птиц и зайцев-русов на отдельных участках. Это было и остается единственным полным сбором отравленных животных до настоящего времени. Часть собранных тушек отправили на исследование в Кропоткинскую краевую ветеринарную лабораторию, исключившую инфекционные заболевания представленных птиц.

Из собранных животных зерноядными (консументами 1-го порядка) являются голуби и зайцы, сорока и сойка – всеядные, а еще 6 видов птиц (№ 6 – 11) – хищные (табл. 1). Отравление консументов 1-го порядка могло происходить при поедании животными отравленного зерна либо при контакте с ним. Однако хищные птицы – консументы 2-го порядка – могли получить токсиканты только при поедании зерноядных птиц и мышевидных грызунов – консументов 1-го порядка, либо при вдыхании препарата, рассыпанного по растениям и по земле.

Таблица 1. Возможность перорального отравления птиц и млекопитающих, собранных в Краснодарском крае 24 – 25 января 2020 г.

Table 1. Possibility of oral poisoning of birds and mammals collected in the Krasnodar region, 24–25 January, 2020

№ п/п / No.	Вид / Species	Кол-во / Amount	Порядок консумента / Level of the consumer	Возможность отравления при поедании зерна / Poisoning possibility when eating grain
1	Вяхрь <i>Columba palumbus</i>	2998	1	Высокая / High
2	Клинтух <i>Columba oenas</i>	35	1	Высокая / High
3	Заяц-русак <i>Lepus europaeus</i>	5	1	Высокая / High
4	Сорока <i>Pica pica</i>	5	1 – 2	Низкая / Low
5	Сойка <i>Garrulus glandarius</i>	3	1 – 2	Низкая / Low
6	Канюк <i>Buteo buteo</i>	11	2	Отсутствует / Absent
7	Зимняк <i>Buteo lagopus</i>	4	2	Отсутствует / Absent
8	Курганник <i>Buteo rufinus</i>	2	2	Отсутствует / Absent
9	Обыкновенная пустельга <i>Falco tinnunculus</i>	2	2	Отсутствует / Absent
10	Болотная сова <i>Asio flammeus</i>	3	2	Отсутствует / Absent
11	Ушастая сова <i>Asio otus</i>	2	2	Отсутствует / Absent

Примечание. Данные по сбору тушек в местах массовой гибели представлены Мин-природы (МПР) и полицией Краснодарского края.

Note. Data on the collection of carcasses in the places of mass death were presented by the Ministry of Natural Resources and the police of the Krasnodar region.

Как и в Волгоградской области, агрофирмы рассыпали протравленное зерно с помощью самодельных устройств (сообщение сотрудников МПР). Отличие в том, что с самого начала заявление о массовом падеже поступило в МЧС. Специалисты МПР обратились в полицию, возбуждено уголовное дело. Для патологоанатомического вскрытия и исследования на токсиканты в местах массового падежа собраны тушки животных 11 видов, преимущественно птиц (см. табл. 1). Повторных обследований местности не проводили, т.е. факты отсроченной гибели не оценивали.

Результаты патологоанатомических и токсикологических исследований

Для патологоанатомического обследования была собрана комиссия ветеринарных врачей и биологов в соответствии с приказом по Институту проблем экологии и эволюции Российской академии наук (ИПЭЭ РАН). Тушки всех птиц, представленных для вскрытия, принадлежали животным хорошей упитанности, без признаков истощения и дегидратации. В табл. 2 представлены визуально различимые отклонения состояния и подтверждающий их патологоанатомический диагноз, выполненный с использованием гистологических исследований.

Таблица 2. Краткая сводка результатов патологоанатомического исследования

Table 2. A brief summary of the results of our pathoanatomical research

Визуальные нарушения / Visual deviations	Патанатомический диагноз / Pathanatomical diagnosis	Зона поражения / Damage zone
1	2	3
1. Вяхирь, ♂, 291 г / <i>Columba palumbus</i> , ♂, 291 g		
Слизистая ротовой полости красного цвета, киль грудины бордового цвета, легкие кровенаполнены, равномерно бордового цвета / The mucous membrane of the oral cavity is red, the carina of the sternum is burgundy, the lungs are blood-filled, uniformly burgundy	Массированные кровоизлияния в легких, киле грудины. Системное расстройство гемодинамики по типу неравномерного кровенаполнения внутренних органов с явлениями стазов и тромбообразования, нарушением проницаемости сосудистых стенок и наличием диapedических кровоизлияний, очаговых некробиотических изменений в паренхиматозных органах. Очаговая эмфизема, очаговый геморрагический отек легкого. Очаговый некронефроз. Отек, геморрагии мягких мозговых оболочек, отек вещества головного мозга. Морфологические признаки постгипоксической энцефалопатии / Massive hemorrhages in the lungs, hernia of the sternum. Systemic disorder of hemodynamics by the type of uneven blood filling of internal organs with the phenomena of stasis and thrombosis, violation of the permeability of vascular walls and the presence of diapedic hemorrhages, focal necrobiotic changes in parenchymal organs. Focal emphysema, focal hemorrhagic pulmonary edema. Focal necronephrosis. Edema, hemorrhages of soft meninges, swelling of the brain substance. Morphological signs of posthypoxic encephalopathy	Система кровообращения и гемостаза; дыхательная система; головной мозг; костные ткани / Circulatory system and hemostasis; respiratory system; brain; bone tissue
2. Вяхирь, ♀, 418 г / <i>Columba palumbus</i> , ♀, 418 g		
В ротовой полости кровь, киль грудины бордового цвета. Кости черепа с кровоизлияниями округлой формы. Мышечная стенка справа снизу локально пропитана кровью. В просвете трахеи сгусток крови. С вентральной поверхности легкие темно-вишне-	Множественные кровоизлияния в легких, трахее, ротовой полости, тонком кишечнике, киле грудины, костной ткани черепа / Multiple hemorrhages in the lungs, trachea, oral cavity, small intestine, sternal hernia, bone tissue of the skull	Система кровообращения и гемостаза; дыхательная система; пищеварительная система; костные ткани / Circulatory system and hemostasis; respiratory system; digestive system; bone tissue

СОВРЕМЕННЫЕ РОДЕНТИЦИДЫ И НЕЦЕЛЕВЫЕ ВИДЫ

Продолжение табл. 2
Table 2. Continuation

1	2	3
вого цвета. В ротовой полости – кровь. В просвете тонкого кишечника жидкое содержимое бордового цвета. / There is blood in the oral cavity, burgundy sternum carina. Bones of the skull with hemorrhages of a rounded shape. The muscular wall on the lower right is locally soaked with blood. A blood clot in the lumen of the trachea. From the ventral surface, the lungs are dark cherry in color. There is blood in the oral cavity. In the lumen of the small intestine, the liquid content is burgundy		
3. Вяхирь, самец, 304 г / <i>Columba palumbus</i> , ♂, 304 g		
На шее с дорсальной стороны кровоизлияние на коже. На центральной части и полностью с правой стороны гематома бордового цвета. Киль грудины бордового цвета. В полости тела небольшое количество замороженной кровянистой жидкости. Легкие темно-вишневого цвета, краевая часть – розового цвета. Гематома в левом воздухоносном мешке, на шее частично затронула зоб / Hemorrhage on the skin on the dorsal side of the neck. Hematoma of burgundy color in the central part and completely on the right side. The keel of the sternum is burgundy. There is a small amount of frozen bloody fluid in the body cavity. The lungs are dark cherry in color, the marginal part is pink in color. Hematoma in the left air sac, the neck was partially affected by the goiter	Множественные кровоизлияния: кожа дорсальной стороны шеи, грудные мышцы, киль грудины, легкие, воздухоносный мешок, частично зоб; жидкость в полости тела. Системное расстройство гемодинамики по типу неравномерного кровенаполнения внутренних органов с явлениями стазов и тромбообразования, нарушением проницаемости сосудистых стенок и наличием диапедезных кровоизлияний, очаговых некробиотических изменений в паренхиматозных органах. Очаговая эмфизема, очаговый геморрагический отек легкого. Очаговый некронефроз. Отек, геморрагии мягких мозговых оболочек, отек вещества головного мозга. Морфологические признаки постгипоксической энцефалопатии. Кровоизлияния в легких, киле грудины / Multiple hemorrhages: Skin of the dorsal side of the neck, pectoral muscles, sternal carina, lungs, air sac, partial goiter; liquid in the body cavity. Systemic disorder of hemodynamics by the type of uneven blood filling of internal organs with the phenomena of stasis and thrombosis, violation of the permeability of vascular walls and the presence of diapedic hemorrhages, focal necrobiotic changes in parenchymal organs. Focal emphysema, focal hemorrhagic pulmonary edema. Focal necronephrosis. Edema, hemorrhages of soft meninges, swelling of the brain substance. Morphological signs of posthypoxic encephalopathy. Hemorrhages in the lungs, hernia of the sternum	Система кровообращения и гемостаза; дыхательная система; головной мозг / Circulatory system and hemostasis; respiratory system; brain
4. Сойка, пол не определен, 218 г / <i>Garrulus glandarius</i> , gender not specified, 218 g		
Киль грудины бордового цвета. С дорсальной стороны легкие розового цвета, краевые участки – темно-вишневого цвета / The keel of the sternum is burgundy. The dorsal side is light pink, the marginal areas are dark cherry	Кровоизлияния в легких, киле грудины / Hemorrhages in the lungs, hernia of the sternum	Система кровообращения и гемостаза; дыхательная система; костные ткани / Circulatory system and hemostasis; respiratory system; bone tissue
5. Обыкновенная пустельга, самка, 232 г / <i>Falco tinnunculus</i> , ♀, 232 g		
Киль грудины бордового цвета. Легкие с вентральной стороны – с участками темно-вишневого цвета / The keel of the sternum is burgundy. Lungs from the ventral side – with areas of dark cherry color	Кровоизлияния в легких, киле грудины / Hemorrhages in the lungs, hernia of the sternum	Система кровообращения и гемостаза; дыхательная система; костные ткани / Circulatory system and hemostasis; respiratory system; bone tissue

Продолжение табл. 2
Table 2. Continuation

1	2	3
6. Канюк, самка, 874 г / <i>Buteo buteo</i> , ♀, 874 g		
В ротовой полости кровь. Киль грудины бордового цвета. В полости тела – жидкость, сгустки и лед темно-вишневого цвета. Стенка воздухоносных мешков красная. Трахея пропитана кровью, просвет свободен. В хоанах жидкая кровь. Легкие вишневого цвета, левые доли окрашены более интенсивно. Практически лишены участков воздухоносной ткани. В ротовой полости жидкая кровь / There is blood in the mouth. The keel of the sternum is burgundy. In the body cavity – liquid, clots and dark cherry-colored ice. The wall of the air bags is red. The trachea is saturated with blood, the lumen is free. There is liquid blood in the choanae. The lungs are cherry-colored, the left lobes are more intensely colored. They are practically devoid of areas of vesic-breathing tissue. Liquid blood in the oral cavity	Множественные кровоизлияния в ротовой полости, трахеях, киле грудины, легких, воздушных мешках, сосудах костей черепа, в полости тела. Токсический шок в виде системного расстройства гемодинамики по типу неравномерного кровенаполнения внутренних органов с явлениями микротромбообразования и сладжа эритроцитов, нарушения проницаемости сосудистых стенок с крупно- и мелкоочаговыми кровоизлияниями во внутренних органах, дистрофии и некробиотических изменений паренхиматозных органов / Multiple hemorrhages in the oral cavity, trachea, sternal hernia, lungs, air sacs, vessels of the bones of the skull, in the body cavity. Toxic shock in the form of a systemic disorder of hemodynamics in the form of uneven blood filling of internal organs with microthromboformation and erythrocyte sludge, vascular wall permeability disorders with large- and small-focal hemorrhages in internal organs), dystrophy and necrobiotic changes in parenchymal organs	Система кровообращения и гемостаза; дыхательная система; костные ткани / Circulatory system and hemostasis; respiratory system; bone tissue
7. Зимняк, самец, 977 г / <i>Buteo lagopus</i> , ♂, 977 g		
На брюшной стенке локальное кровоизлияние вишневого цвета. На киле очаговые кровоизлияния бордового цвета. В полости тела содержится жидкая кровь, сгустки и лед темно-вишневого цвета. Под жиром в полости тела обнаружен крупный сгусток крови вишневого цвета, заполняющий всю полость тела в каудальной части. Стенка воздухоносных мешков прозрачная, часть, прилегающая к ЖКТ, пропитана кровью). Желудок пуст, на разрезе серозный и мышечный слои пропитаны кровью. Кутикула не снимается. Слизистая тонкого кишечника гиперемирована. Участки печени, прилегающие к желудку, пропитаны кровью / Local cherry-colored hemorrhage on the abdominal wall. On the hernia, focal hemorrhages of burgundy color. The body cavity contains liquid blood, clots and dark cherry-colored ice. Under the fat in the body cavity, a large cherry-colored blood clot was found, filling the entire body cavity in the caudal part. The wall of the air sacs is transparent, the part adjacent to the gastrointestinal tract	Системное расстройство гемодинамики по типу неравномерного кровенаполнения внутренних органов с явлениями стазов и тромбообразования, нарушением проницаемости сосудистых стенок и наличием диapedических кровоизлияний и развитием дистрофических изменений в паренхиматозных органах. Кровоизлияния инфильтрирующего характера в сердце, слизистой и серозной оболочках желудка, жировой клетчатке средостения / Systemic disorder of hemodynamics by the type of uneven blood filling of internal organs with the phenomena of stasis and thrombosis, violation of the permeability of vascular walls and the presence of diapedic hemorrhages and the development of dystrophic changes in parenchymal organs. Hemorrhages of an infiltrative nature in the heart, mucous and serous membranes of the stomach, fatty tissue of the mediastinum	Система кровообращения и гемостаза; дыхательная система; пищеварительная система; костные ткани / Circulatory system and hemostasis; respiratory system; digestive system; bone tissue

Окончание табл. 2
Table 2. Continuation

1	2	3
is soaked with blood). The stomach is empty, on cross-section the serous and muscular layers are soaked with blood. The cuticle is not removed. The mucous membrane of the small intestine is hyperemic. The areas of the liver adjacent to the stomach are soaked with blood		
8. Курганник, самец, данные по весу утраты / <i>Buteo rufinus</i> , ♂, weight data is lost		
Желудок. Очагово-диффузный некроз, кровоизлияние слизистой, отёк всех слоев желудка, инфильтрирующее кровоизлияние в мышечном и серозном слоях. Легкое полнокровие сосудов различных калибров, ... сепарация крови. Мелкоочаговые множественные кровоизлияния... Массы жидкости в просветах отдельных бронхов / Stomach Focal-diffuse necrosis, mucosal hemorrhage, edema of all layers of the stomach, infiltrating hemorrhage in the muscular and serous layers. Light full-blooded vessels of various calibers, ... separation of blood. Small focal multiple hemorrhages... Liquid masses in the lumens of individual bronchi	Токсический шок – некроз слизистой оболочки желудка, кровоизлияния в слизистый, мышечный и серозный слой желудка, кровоизлияния по ходу мочеточника, малокровие миокарда, очаги некротического нефроза в почках, моноцеллюлярные некрозы паренхимы печени / Toxic shock – necrosis of the mucous membrane of the stomach, hemorrhages in the mucous, muscular, and serous layers of the stomach, hemorrhages along the course of the ureter, anemic myocardium, foci of necrotic nephrosis in the kidneys, monocellular necrosis of the liver parenchyma	Система кровообращения и гемостаза; пищеварительная система; дыхательная система / Circulatory system and hemostasis; digestive system; respiratory system

Представленные в табл. 2 данные свидетельствуют, что установлены изменения: 8/8 – системы кровообращения и гемостаза; 8/8 – дыхательной системы; 7/8 – костных тканей; 3/8 – пищеварительной системы; 2/8 – головного мозга.

Соотношение (см. табл. 2) частот поражения разных систем органов позволяет утверждать, что признаки реакции на токсикант присутствуют не только в кровеносной, но и в дыхательной системе: у всех 8 животных отмечены отклонения ее состояния, на фоне нарушений системы кровообращения и гемостаза и, у 7 особей, кровоизлияний в костные ткани. Поражения органов желудочно-кишечного тракта отмечены только у 3 особей (как зерноядных, так и хищных), т.е. в большинстве случаев яд не достигал желудка и кишечника до наступления смерти. Совокупность данных позволяет полагать, что для гибели птиц необходимо и достаточно поступление препарата в носовую и ротовую полости, а попадание в желудок и кишечник не обязательно. Таким образом, у птиц основным путем воздействия токсиканта является дыхательная система, но не пищеварительная. Число вскрытых зайцев недостаточно велико, но, напомним, что у 4 особей, исследованных в СББЖ Новониколаевского района, отмечено наличие черно-красного экссудата в грудной полости при отсутствии геморрагий желудка и кишечника, т.е. также через дыхательную систему (ротовая и носовая полость с поступлением в кровеносную систему). Разумеется, нельзя исключить попадание некоторых количеств яда при прикосновении языком с последующей абсорбцией и попаданием в кровенос-

ную систему. Но такой путь отравления не объясняет присутствие нарушений именно в дыхательной системе у всех животных.

Механизмом появления такого эффекта является общий для диких животных стереотип кормового поведения: как звери, так и птицы едят не все подряд (не как однородную пищу из кормушки), а прикасаются, перебирают, выбирая подходящее. Разумеется, при этом они многократно вдыхают препараты, попавшие на зерно и/или траву и/или тушки мышевидных. Из анализа результатов вскрытия следует, что расчет LD_{50} для диких животных нужно производить исходя из преобладания поступления токсиканта через дыхательную систему, а не пищеварительную.

Мы убеждены, что важнейшим фактом, который удалось установить благодаря многочисленным вскрытиям погибших животных, является недостаточная изученность путей поступления токсиканта. Результаты патанатомических вскрытий доказывают возможность отравления диких животных и собак (см. ниже) именно при вдыхании и слизывании токсиканта – при этом дозы, получаемые животными, намного ниже тех, которые могут поступить при поедании приманки.

Наличие бромациолона подтверждено химическим анализом в Лаборатории химических исследований дезинфекционных средств ФБУН НИИ Дезинфектологии Роспотребнадзора (табл. 3). Его присутствие установлено в тканях внутренних органов погибших птиц (курганник, ушастая сова, канюк, клинтух, полёвка из зоба совы). Средние значения (0.005 – 0.05 мг/г, что соответствует 0.005 – 0.05 мг/кг) у птиц очень малы и вдвое ниже наблюдавшегося у полёвки из той же выборки (0.09 мг/г, соответствует 0.09 мг/кг). Учитывая, что до химического анализа трупы более 6 месяцев хранили в замороженном состоянии (карантин 2020 г.), нельзя исключить частичный распад токсиканта. В то же время исследования кабанов, поедавших отравленные приманки (Morriss et al., 2005), показало, что концентрации токсикантов в тканях печени варьировали от 0.005 до 0.46 мг/кг. Однако при специальном отравлении кабанов варфариноподобными соединениями (вещество не указано) в составе твердых приманок их содержание в тканях (не указано каких) погибших животных было существенно выше и варьировало от 0.93 до 8.06 мг/кг (Poché et al., 2018).

Немногочисленные данные о количестве антикоагулянтов в тканях погибших животных соответствуют полученным нами или превосходят их. Разумеется, распределение токсикантов в тканях разных органов не может быть одинаково даже у представителей одного вида и, тем более, должно зависеть от типа приманок (твердые или порошкообразные) и вида токсиканта.

При исследовании варфариноподобных соединений в крови человека (Захарова и др., 2019) предел обнаружения составлял 0.2 мг/л при диапазоне концентраций 0.5 – 2.0 мг/л. В целом тот факт, что полученные для птиц значения оказываются ниже, чем для человека, можно объяснить более высокой чувствительностью некоторых представителей авифауны к наличию токсикантов. Так, например, исследования отравлений хищных птиц (американская или воробьиная пустельга, *Falco sparverius*) позволяет говорить об их большей чувствительности к дифацинону, чем у краковых уток (*Anas platyrhynchos*) (Rattner et al., 2011).

СОВРЕМЕННЫЕ РОДЕНТИЦИДЫ И НЕЦЕЛЕВЫЕ ВИДЫ

Таблица 3. Концентрация бромадиолона в тканях, отобранных для химического исследования при вскрытии

Table 3. Bromadiolone concentration in tissues selected for chemical analysis at autopsy

№ / No.	Вид / Species	Концентрация / Concentration			Место в пищевых цепях / Place in food chains
		Измерения C, mg/l / Measured C, mg/L	Среднее C ср, mg/l / Mean C, mg/L	X, мкг/г / X, µg/g	
1	Курганник <i>Buteo rufinus</i>	0.04758	0.05120	0.015	
		0.04859			
		0.05208			
		0.04859			
		0.05916			
2	Канюк <i>Buteo buteo</i>	0.02286	0.02006	0.012	Консументы 2-го порядка нецелевые виды / Consumers 2nd order non-target species
		0.01339			
		0.01750			
		0.02315			
		0.02338			
3	Ушастая сова <i>Asio otus</i>	0.08001	0.07644	0.047	
		0.06968			
		0.07814			
		0.08005			
		0.07431			
4	Полёвка из желудка совы / Vole from the stomach of an owl	0.10430	0.08470	0.093	Консумент 1-го порядка целевой вид / Consumer of the 1st order target species
		0.10621			
		0.10100			
		0.00072			
		0.09311			
5	Клинтух <i>Columba oenas</i>	0.10286	0.01043	0.005	Консумент 1-го порядка нецелевой вид / Consumer of the 1st order non-target species
		0.01071			
		0.01052			
		0.01086			
		0.01396			
		0.00923			
		0.00727			

Таким образом, (1) факт отравления бромадиолоном был подтвержден на птицах двух трофических уровней, (2) полученные данные позволяют предполагать, что летальные дозы для птиц существенно ниже описанных для грызунов, что, согласно приведенному выше анализу протоколов вскрытий, может быть связано с поступлением препарата через дыхательную систему.

Еще в 2006 – 2011 гг. на территории Ботанического сада Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова ИПЭЭ РАН зафиксировал факты нерегламентного применения родентицидов (Ерофеева и др., 2021). В протоколах вскрытий 8 погибших собак из коллекции Института не упомянуты кровоизлияния в пищевод, желудке, кишечнике, но описаны геморрагии в легких, крованистая жидкость в легочной полости, обширные сосудистые изменения, иногда отек мозга. Это позволяет утверждать, что, как и у части птиц и зайцев, поступление токсиканта происходило либо прямо в систему кровообращения (всасывание через слизистую ротовой и носовой полостей), либо в дыхательные пути. Ответ-

ственность⁴ за не соответствующее правилам применение препаратов на основе бромадиолона приняла на себя государственная дератизационная станция. Однако запрета на обращение ядов не было, разъяснительную работу с сотрудниками не вели, и еще три года происходило нерегламентное применение ядов (сыпали их на грунт) для сокращения поголовья мышевидных грызунов. После гибели еще 4 собак удалось добиться прекращения применения ядов, благодаря ссылке на действовавший тогда Сан-Пин (СП 3.5.3.1129-02)⁵ – подозрение на отравление почвы рассматривалось как чрезвычайная ситуация. В современном Сан-Пин (СП 1.2.2584-10) (Гигиенические требования..., 2010) такие определения и нормы действий отсутствуют.

Таким образом, результаты патологоанатомических исследований требуют особого внимания к изучению путей поступления антикоагулянтов в организмы животных и, что не исключено, ревизии современных представлений об оценке летальных доз.

Обсуждение – история и современность применения родентицидов

До начала широкого применения антикоагулянтов наиболее распространенным родентицидом был фосфид цинка (магния, алюминия) – при смачивании выделяется фосфин, опасный для всех животных, включая насекомых. Фосфиды ведут к быстрой гибели животных, но они обладают резким вкусом и запахом, что делает возможным адаптацию к их применению: грызуны, получившие малые дозы, могут выжить и начинают избегать приманки. Помимо того, работа с ними требует профессионализма и строгого соблюдения правил техники безопасности при хранении и использовании (они легко активируются при увлажнении и портятся), в отличие от антикоагулянтов, поэтому в настоящее время применяются реже.

Детальный анализ результатов применения разных видов родентицидов сделан почти два десятилетия назад Эриксоном и Урбаном (Erickson, Urban, 2004). В работе «Потенциальный риск 9 родентицидов для птиц и нецелевых млекопитающих», выполненной по заказу Агентства охраны природы США, проведен анализ первичного (прямое поедание) и вторичного (поедание добычи или падали) рисков применения токсикантов. Изучали антикоагулянты разных поколений и иные препараты. Использовали птиц (более 80 видов) и млекопитающих (более 50 видов). Проведено сравнение смертности в зависимости от способа потребления, дозы, концентрации в приманках. Как и следовало ожидать, максимальный первичный риск и у птиц, и у млекопитающих наблюдался для фосфида цинка. А вот с позиций вторичного риска фосфид цинка оказался менее опасен (быстрый распад), в отличие от бродифакума и дифетиалона (Erickson, Urban, 2004). Сравнение пер-

⁴ В 2008 г. для государственной дератизационной станции было достаточно описаний вскрытий животных, погибших в зоне применения токсиканта.

⁵ В случаях возникновения чрезвычайных ситуаций, связанных с отравлением (подозрением на отравление) людей, загрязнением помещений, атмосферного воздуха, почвы, немедленно извещается орган, уполномоченный осуществлять федеральный государственный санитарно-эпидемиологический надзор.

вичного и вторичного риска оказалось весьма интересным и требует особого подхода при анализе биологического эффекта родентицидов.

Токсиканты различаются по выраженности первичных и вторичных рисков. Эти различия необходимо учитывать при планировании и проведении обработок от грызунов. Представляется весьма вероятным, что для сохранения естественных экосистем более важным является не прямая токсичность препаратов, а скорость их распада, т.е. снижение рисков вторичных отравлений. Нельзя забывать, что еще двадцать лет назад были работы, доказывавшие преимущество фосфидов по сравнению с суперварфаринами (Staples et al., 2003). Таким образом, первичный риск, особенно для млекопитающих, достаточно высок во всей линейке перечисленных веществ. Но риски вторичного отравления несопоставимо выше при применении антикоагулянтов 2-го поколения.

На территории США и Европейского Союза введены ограничения по применению родентицидов, чтобы снизить риск для нецелевых видов (Risk Mitigation Decision for Ten Rodenticides, 2008). Обсуждается полный запрет на применение антикоагулянтов второго поколения в Великобритании (Wade, 2021).

В 2011 г. в РФ были разрешены 18 препаратов – антикоагулянтов 2-го поколения на основе производных оксикумарина (бродифакума, бромадиолона и флумафена), производных и изомеров фенацина (Яковлев, Бабич, 2011). Антикоагулянты 1-го поколения также находятся в свободной продаже. В настоящее время список разрешенных дополнен препаратами на основе фосфидов цинка, алюминия и магния, относящимися к препаратам быстрого действия.

Напомним, что подтверждение наличия антикоагулянтов 2-го поколения требует специального оборудования, отсутствующего в большинстве клиник и токсикологических лабораторий РФ. Химико-аналитические исследования в нашей стране до настоящего времени посвящены оценке соотношения различных суперварфаринов в приманках (Андреев и др., 2019). Отечественных работ по изучению содержания этих препаратов у человека и животных в WoS (Web of Science) не найдено, хотя Г. М. Галстян с соавторами (2020) упоминают о токсикологическом исследовании больных при массовом отравлении. Присутствие суперварфаринов в пробах крови человека обсуждается Г. В. Захаровой с соавторами (2019).

Наиболее распространены препараты на основе бромадиолона и бродифакума. Их принято считать препаратами кишечного действия, сочетающими комбинированный механизм с острым эффектом. По острой токсичности при введении в желудок относятся к чрезвычайно опасным веществам. Как и у варфарина, отмечено кожно-резорбтивное действие (Иваницкая и др., 2011). ЛД₅₀ (летальная доза) бромадиолона у млекопитающих варьирует на порядки: для кабана составляет 3 мг/кг, а для крыс 150 мг/кг (Poché et al., 2018). В последние годы принято учитывать хроническое ЛД₅₀: оно составляет для кролика – 1 мг/кг, для домашней свиньи – 3 мг/кг, для цыплят – 5 мг/кг, а для домашней кошки 25 мг/кг (Галлямова, 2022; Бромадиолон, 2021).

Последние данные свидетельствуют о возможности воздействия на ЦНС при отсутствии выраженного гемолитического синдрома (Feinstein et al., 2017; Wang et al., 2017; Zuo et al., 2019), что соответствует нашим наблюдениям при гибели собак

питомника в 2006 – 2011 гг. и результатам вскрытий – в двух случаях были установлены патоморфологические признаки поражения головного мозга.

Что еще известно про практику и следствия применения антикоагулянтов 2-го поколения?

Еще в девяностых годах (с расширением применения этих родентицидов) описаны отравления голубей и куропаток, серых цапель, водоплавающих и хищных птиц (Lamarque et al., 1999; цит. по: Guitart et al., 2009), лисиц и расклевывающих их орлов (Antonioni et al., 1996; цит. по: Guitart et al., 2009). Отравление признано причиной гибели половины (52.6%) диких птиц, поступивших на токсикологический анализ в Греции за 6 лет (Antonioni et al., 2005; цит. по: Guitart et al., 2009). Второй по распространению группой животных, систематически гибнущих при применении родентицидов, принято считать зайцеобразных (Edwards et al., 2000; цит. по: Guitart et al., 2009).

Передачу антикоагулянтов в пищевых цепях упоминали неоднократно, в разных странах и на разных континентах (Morriss et al., 2005). Наиболее емкой представляется работа G. Joermann (1998), включающая собственные данные и обзор работ в разных странах за 40-летний период (1955 – 1995 гг.). Сравнивали летальность родентицидов для хищников и падальщиков при поедании грызунов, получавших отравленные приманки. Результаты исследования оказались парадоксальны. Наименее опасным для хищников и падальщиков оказался фосфид цинка: не было выявлено гибели подопытных животных при поедании ими грызунов, отравленных этим родентицидом, хотя и регистрировались случаи интоксикации, что подтверждают и современные работы (Hinds et al., 2023). Напротив, антикоагулянты 2-го поколения (бродифакум, бромадиолон, дифенакум и флокумафен) вызывали гибель подопытных птиц после их питания отравленными грызунами в течение всего нескольких дней, в исключительных случаях – 1 дня, а млекопитающих спустя 3 дня (Joermann, 1998).

Современные исследования подтверждают факты передачи родентицидов по пищевым цепям. Антикоагулянты, преимущественно второго поколения, обнаружены у 68% из 344 исследованных хищных птиц и млекопитающих в Испании (López-Perea et al., 2015), найденных мертвыми или агонизирующими. Бромадиолон и бромадифакум, использовавшиеся для борьбы с грызунами, определены как причина гибели койотов (*Canis latrans*), рысей (*Lynx rufus*) и пумы (*Puma concolor*) (Riley et al., 2007; Uzal et al., 2007; Serieys et al., 2013; цит. по: Poessel et al., 2015).

Многолетние исследования куных на содержание антикоагулянтов-родентицидов 2-го поколения проведены в Дании (Elmeros et al., 2018). Изучали ткани животных, сбитых автомашинами и уничтоженных при защите домашней птицы (внутри помещений и в радиусе 25 м от них). Установлено, что следы этих веществ присутствуют в тканях у 99% каменных куниц (*Martes foina*, $n = 71$) и 90% лесных хорьков (*Mustela putorius*, $n = 69$). В Испании встречаемость суперварфаринов в тканях диких животных – консументов 2-го порядка, положительно коррелирует с урбанизацией (López-Perea et al., 2019), т.е. с их использованием городскими жителями и фермерами.

Таким образом, опасность антикоагулянтов для нецелевых видов тесно связана со сложившейся практикой их применения и отсутствием профессионального контроля. Это также означает, что находящиеся в открытой продаже широкодоступные токсиканты поступают в продукты питания и переходят к человеку.

Суперварфарины и человек

Прямое токсическое воздействие суперварфарина на человека менее выражено, чем на собак (Ruiz-Suárez et al., 2015), что не исключает кумуляции и отложенных эффектов. Существует передача бромадиолона в пищевые продукты человека – они могут присутствовать в молоке. В Швейцарии разрабатываются методы их детекции в культурах йогурта путем подбора бактериальных культур, прекращающих рост в присутствии бромадиолонов (Nathurusinghe, Ibrahim, 2012, 2016).

В 2000 – 2003 гг. Центры отравления США сообщили о 65891 случае различных отравлений антикоагулянтами – родентицидами длительного действия, 96% из которых были случайными. Преобладали отравления детей – в 89% (Caravati et al., 2007). В других странах зарегистрированы прямые отравления людей родентицидами – но, до последних двух-трех лет, анализ был ограничен случаями суицидов и случайных отравлений, при которых установление токсиканта не требуется и не проводится. Анализ изменения частоты использования родентицидов в качестве яда при суициде в провинции Хубей показал возрастание числа случаев от 5.6% в 1957 – 1982 до 19.7% в 1999 – 2008 гг. Отравления людей родентицидами составляют существенную долю причин смерти не только в Китае, но и в Северной Индии (Liu et al., 2009). Подробно описаны клинические симптомы в период пребывания в стационаре, лечение (Зобнин и др., 2013). Сделано патологоанатомическое описание изменений головного мозга при отравлении родентицидами (Ивлева и др., 2018), есть описание методами магнитно-резонансной томографии (Wang et al., 2017). Правильное определение отравления родентицидами-антикоагулянтами осложняется как отсутствием легкого доступа к необходимому высокоточному оборудованию, так и недостаточной осведомленностью медиков о возможности отравления (Chong, Mak, 2019).

Отравления родентицидами зарегистрированы на всех континентах. Центр отравлений в Иллинойсе описывает резкое возрастание числа пациентов с кровоточивостью разной этиологии: у всех обследованных отмечены сублетальные дозы бродифакума, и/или дифенакума, и/или бромадиолона (Devgun et al., 2020). В Самарской и Ульяновской областях произошло массовое (80 установленных пациентов в 2019 г.) отравление подсолнечным маслом (Галстян и др., 2020). Масло было изготовлено с использованием семян подсолнечника, обработанных родентицидами. У всех пациентов наблюдался геморрагический синдром разной выраженности. Анализы, сделанные у части пациентов, подтвердили наличие антикоагулянтов в крови и использованном масле.

Сравнительный анализ отравлений показывает, что препараты, кажущиеся не остро действующими – антикоагулянты второго поколения, в практике применения гораздо опаснее. Это связано со способностью к накоплению и длительностью их выведения. Так, например, полувыведение варфарина у крысы происходит за

40 часов, а бродифакума достигает 180 дней – 4320 часов (Erickson, Urban, 2004). У человека период полувыведения бродифакума колеблется от 10 до 69 суток (243 – 1656 часов) (Галстян и др., 2020).

Современные данные показывают высокую опасность суперварфариннов: по лимитирующему показателю токсичности опасности родентицидов – кумулятивному эффекту – средства относятся к 1-му классу чрезвычайно опасных по действующей классификации токсичности и опасности родентицидов. Бромациолон остро токсичен в низких дозах (<https://biopax.ru/articles/bromdialon/>). Однако системные исследования присутствия этих препаратов не проводятся – Госстандарт (ГОСТ Р 58481-2019) предназначен для определения физико-химических показателей препаратов на основе бромациолонов, но не для оценки отравления ими животных и человека.

Представленный краткий обзор показывает сочетание высокой опасности антикоагулянтов второго поколения с крайне низкой вероятностью их своевременно обнаружения. Особые опасения вызывает отсутствие научно обоснованных тактик, стратегии и контроля применения токсикантов, включая родентициды и другие химически активные вещества, влияющие на представителей животного мира и человека.

Практические аспекты

Использование родентицидов в природных системах включает два основных направления: обработку полей от мышевидных грызунов и контроль численности носителей возбудителей особо опасных инфекций (чумы, туляремии и др.) и зоонозов (сальмонеллез, лептоспироз, геморрагических лихорадок и др.). Проблема в том, что контролем численности видов-носителей занимаются специалисты противочумных учреждений Роспотребнадзора, а обработки полей проводят сельхозпроизводители по своему усмотрению. Деятельность специалистов направлена на предотвращение вспышек особо опасных природных заболеваний, включает «организацию и проведение санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий при возникновении чумы и других особо опасных (ООИ), природно-очаговых и зоонозных инфекционных заболеваний, их лабораторную диагностику; соблюдение требований специальной техники безопасности работ с микроорганизмами I – II групп патогенности (опасности)» (Положение об организации..., 2015)). В РФ существует 19 Федеральных противочумных учреждений, чьи задачи включают противоэпидемические мероприятия, но отнюдь не сбор и доставку материалов для установления токсикантов. Важной частью мероприятий, препятствующих возникновению ООИ, является контроль и ограничение численности грызунов. Его выполняют как государственные предприятия, так и частные фирмы и индивидуальные предприниматели. Современный регламент изложен в новых «Санитарных правилах по профилактике инфекционных болезней» (СанПиН 3.3686-21). Однако объектом нового СанПиНа являются зоны рекреации, лесопарки, прилегающие к населенным пунктам и собственно населенные места (п. 112), где формируются и функционируют природные, природно-антропогенные и антропогенные очаги инфекций (пп. 112 – 124). Не упомя-

нуты миллионы гектаров полей зерновых и масличных культур, составляющие основную площадь зон водосбора. Завершающее положение современного регламента о дератизационных мероприятиях – «трупы отловленных животных утилизируются в соответствии с законодательством в области ветеринарии» (с. 37) в принципе не выполнимо в лесопарках, агроценозах и сопредельных с ними территориях.

Деятельность сельхозпроизводителей направлена на повышение рентабельности и получение прибыли. Работу с токсикантами выполняют наемные работники, не имеющие специального образования и, в лучшем случае, прошедшие лишь общий инструктаж. Специализированные обследования и мониторинг состояния их здоровья отсутствуют.

Возможности исследователей, прежде всего дикой природы и естественных биосистем, крайне ограничены: сельхозпроизводители наиболее активно используют родентициды после уборки, до наступления холодов. Это приводит к тому, что обнаружение, сбор и доставка для исследований погибших животных затруднительны (мало реальны). При случайном сборе приходится выполнять анализ частично разложившихся тканей, в которых концентрация токсикантов снижена за счет естественного распада.

Токсикологические лаборатории не лицензированы для вскрытий и изъятия проб – это должны делать иные организации. Поэтому даже при оперативной работе охотнадзора, охотников, местного населения не ясно, куда следует отправлять собранный материал. При привлечении органов внутренних дел ситуация не улучшается – у них отсутствуют условия и оборудование для хранения, нормативы и разрешения. Станции по борьбе с болезнями животных не обязаны принимать и обеспечивать сохранность материалов, даже если они не поддадутся давлению местных агропроизводителей, не заинтересованных в установлении нарушений регламента применения токсикантов. Для перевозки биоматериалов в другие регионы требуется заключение об отсутствии их инфицированности (Об утверждении Правил транспортировки..., 2017) – следовательно, количество собираемых образцов (тушек) должно быть достаточно для проведения первичных исследований в пределах района и для передачи на исследования и изъятие проб для анализов. Наконец, не установлено, какие именно организации могут производить анализы и устанавливать конкретные токсиканты – если не считать единичные коммерческие фирмы, обеспечивающие сопровождение материалов при судебных спорах по очень высоким ценам, недоступным для сельских районов.

За время подготовки этой статьи поступили новые данные: в ноябре – декабре 2021 г. в Крыму установлен падеж дрофы после обработки полей родентицидами. По некоторым данным, речь идет о десятках найденных и захороненных птиц, по другим – об отдельных особях (Шакирова, 2021; Росохотрыболовсоюз..., 2022). Установлено отсутствие фосфида цинка в остатках мацерированных тушек (впрочем, там уже ни его, ни антикоагулянтов и быть не могло), но сбор погибших животных, вскрытия и токсикологический анализ не проводили. В 2022 г. в Ростовской области, установив факты падежа, Общество охотников смогло организовать токсикологические исследования, доказавшие наличие суперварфаринов в тканях

погибших животных. В 2022 г. в Ставропольском крае зарегистрировали многочисленные факты гибели зайцев-русаков и лисицы обыкновенной, но нам не известны результаты токсикологических исследований.

Приведенные факты показывают, что в РФ не контролируется практическое использование родентицидов в природных системах, сопряженных с агроценозами. Вследствие этого происходит прямое воздействие на фауну диких и домашних животных, а население не защищено от случайных отравлений. К сожалению, даже быстрое обнаружение отравлений людей и животных не гарантирует своевременного и правильного определения причин этих событий.

Рекомендации по сбору и хранению материалов, направляемых для исследования

1. Учитывая вероятность проникновения варфаринов и суперварфаринов через кожу, сбор погибших животных следует проводить в перчатках, заходя со стороны ветра, с обильным умыванием перед отдыхом и приемами воды, с обязательной стиркой одежды после завершения.

2. Все пробы (тушки животных, зерно и грунт) следует сразу складывать в отдельные пластиковые пакеты, лучше вакуумные.

3. Пробы необходимо как можно быстрее замораживать, хранить и перевозить без оттаивания.

4. Вскрытия могут проводить СББЖ – макропатологические изменения, указывающие на отравления антикоагулянтами, достаточно характерны. Следует обращать внимание на гемorragии внутренних органов и наличие крови или кровянистой жидкости в полостях тела, при отсутствии внешних повреждений. Локализация кровоизлияний наблюдается чаще в дыхательной системе, в киле грудины и костях черепа, нередко сопровождается отеком мозга, реже в желудочно-кишечном тракте.

5. Для химического анализа отбирать пробы внутренних органов с признаками макропатологических изменений. Пробы для химического анализа (допустимая масса от 30 – 50 г) надо замораживать в пробирках. Перевозить без размораживания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В российских законах о применении родентицидов до 2021 г. применялась устаревшая классификация животных – их подразделение на полезных и вредных. В последнем СанПин (3.3686-21) эти понятия убраны. Однако в нем четко определено, что действия с агрохимикатами и прямыми ядами – родентицидами никак не регулируются на огромных территориях водосбора, включающих агроценозы, примыкающие к ним участки неугодий и водоемы. Применение готовых приманок (парафиновые блоки, гранулы и т.п.), возможно, может снижать величину ущерба для нецелевых видов, но не прерывает передачу по пищевым цепям. Поэтому отравление различными дозами агрохимикатов и родентицидов является фактором системного воздействия на популяции диких животных и, несомненно, ждет своих исследователей.

Гибель хищных птиц (консументов 2-го порядка) свидетельствует о сохранении токсических доз веществ в организмах травоядных (консументов 1-го порядка), то есть о передаче по пищевым цепям. Человек также является консументом 2-го порядка. Таким образом, отравление хищных (летающих и наземных) доказывает возможность поступления токсикантов в организм человека с пищей. Отравления птиц, связанных с водоемами, свидетельствует о поступлении токсикантов в воду – и о риске отравления человека. Передача ядов по трофическим цепям среди животных доказывает их способность поступать в пищу человека. Факты, упомянутые выше (присутствие в молоке, растительном масле), подтверждают, что эта перспектива реализована на практике. Реакция хищников – гибель – означает недопустимый уровень использования, нарушение регламента либо непригодность применяемых препаратов.

Таким образом, применение современных родентицидов в Российской Федерации контролируется лишь отчасти. Изучение литературы и практики применения доказывает существование угрозы биологической безопасности в области, сочетающей воздействие химических и биологических факторов.

Необходима организация системы полевого мониторинга и лабораторных исследований применения родентицидов. Они должны включать несколько тесно взаимосвязанных направлений:

- 1) целенаправленный сбор данных о результатах применения родентицидов в природных системах, включающих агроценозы и природные биоценозы;
- 2) доступную государственную экспертизу на современном оборудовании для определения/исключения фактов поступления токсикантов в организмы диких и домашних животных, людей и сельскохозяйственной продукции;
- 3) программы лабораторных и полевых исследований влияния сублетальных доз родентицидов разного типа на животных и человека;
- 4) подтверждение либо опровержение факта отравления суперварфаринами до поступления в желудок и кишечник, что может потребовать изменения подхода к применению и системы оценки летальных доз варфаринов и суперварфаринов;
- 5) апробацию и внедрение химических маркеров присутствия родентицидов и других агрохимикатов;
- 6) разработку и внедрение системы информирования специалистов и населения о фактах применения и долговременных следствиях родентицидов;
- 7) особое внимание следует уделять антикоагулянтам второго поколения, необходима жесткая регуляция их оборота, вплоть до полного запрещения.

Первичный сбор материала организован администрацией Новоиколаевского района Волгоградской области и сотрудниками Министерства природных ресурсов Краснодарского края. Патологоанатомические исследования выполнены в Институте проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН при участии специалистов: патоморфолога Е. В. Барановой, ветеринарных врачей М. В. Токуновой, Э. Г. Вольф. Токсикологический анализ выполнен под руководством С. В. Андреева в лаборатории химических исследований дезинфекционных средств ФБУН НИИ Дезинфектологии Роспотребнадзора. При подготовке статьи неоценимую помощь оказали замечания и рекомендации Д. Б. Вержужского.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Андреев С. В., Беляев Е. С., Ищенко А. А. Новый универсальный метод для определения антикоагулянтов второго поколения в родентицидах // Известия вузов. Химия и химическая технология. 2019. Т. 62, № 1. С. 85 – 90. <https://doi.org/10.6060/ivkkt.20196201.5719>

Березовский О. И. Санитарно-токсикологическая оценка родентицидных средств из группы антикоагулянтов: автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1998. 19 с.

Бромадиолон // RuPest.ru. 2021. URL: <http://rupest.ru/ppdb/bromadiolone.html> (дата обращения: 17.01.2023).

Войцеховский В. В., Пивник А. В., Филатова Е. А., Есенина Т. В., Мишкурова К. М., Федорова Н. А. Коагулопатия при интоксикации родентицидами – антагонистами витамина К // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. 2020. Вып. 78. С. 161 – 177. <https://doi.org/10.36604/1998-5029-2020-78-161-177>

Галлямова О. В. Антикоагулянты крови // Пестициды.ru. 2013. URL: https://www.pesticide.ru/group_substances/anticoagulants (дата обращения: 17.01.2023).

Галлямова О. В. Бромадиолон // Пестициды.ru. 2022. URL: https://www.pesticide.ru/active_substance/bromadiolon (дата обращения 18.04.2023).

Галстян Г. М., Давыдкин И. Л., Николаева А. С., Вехова Н. И., Павлова Ж. Е., Пономаренко И. С., Клебанова Е. Е., Савченко В. Г. Случай массового отравления антикоагулянтными родентицидами // Гематология и трансфузиология. 2020. Т. 65, № 2. С. 174 – 189. <https://doi.org/10.35754/0234-5730-2020-65-2-174-189>

Гигиенические требования к безопасности процессов испытаний, хранения, перевозки, реализации, применения, обезвреживания и утилизации пестицидов и агрохимикатов: Санитарные правила и нормативы. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2010. 71 с.

Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации 2020, 2021 // Минсельхоз России. М., 2022. URL: <http://mcx.ru/ministry/departments/departament-rasteniievodstva-mekhanizatsii-khimizatsii-i-za-shchity-rastenyi/industry-information/info-gosudarstvennaya-usluga-po-gosudarstvennoy-registratsii-pestitsidov-i-agrokhimikatov/> (дата обращения: 12.02.2022).

ГОСТ Р 58481-2019. Средства родентицидные. Методы определения физико-химических показателей. М.: Стандартинформ, 2019. 10 с.

Ерофеева Е. В., Суркова Ю. Е., Шубкина А. В. Родентициды и гибель диких животных // Успехи современной биологии. 2021. Т. 141, № 5. С. 496 – 507. <https://doi.org/10.31857/S0042132421050021>

Захарова Г. В., Пашиовкина Р. Н., Краснова Р. Р. Варфарин и его аналоги – антикоагулянты кумаринового ряда в судебно-химическом и химико-токсикологическом анализе // Судебная медицина. 2019. Т. 5, № 1. С. 120 – 121.

Зобнин Ю. В., Кутателадзе Р. Г., Малых А. Ф., Пазюков Е. А., Провало И. П., Тетерина И. П. Острые отравления антикоагулянтами по данным Иркутского токсикологического центра // Сибирский медицинский журнал. 2013. Т. 120, № 5. С. 131 – 134.

Ивлева Е. А., Богомолов Д. В., Путинцев В. А., Букешов М. К. Особенности морфологических проявлений переживания отравления родентицидом // Декабрьские чтения по судебной медицине: сборник материалов международной научно-практической конференции / под ред. Д. В. Сундукова. М.: Российский ун-т дружбы народов, 2018. С. 38 – 41.

Иваницкая Е. Г., Кочергина-Никитская Е. В., Шастова Л. А. Инструкция № 45-11 от 21.02.2011 г. по применению средства родентицидного «Бромодид-Флюид» / ЗАО «Научно-коммерческая фирма «РЭТ», Россия: М.: НЧНОУ «Институт пест-менеджмента», 2011. 8 с. URL: https://dez-sredstva.com/svidet_instruct/rodent_concentr/bromocid-fljuidin.pdf (дата обращения: 18.01.2022).

СОВРЕМЕННЫЕ РОДЕНТИЦИДЫ И НЕЦЕЛЕВЫЕ ВИДЫ

Об утверждении Правил транспортировки биологического материала, клеток для приготовления клеточных линий, клеточных линий, предназначенных для производства биомедицинских клеточных продуктов, и биомедицинских клеточных продуктов (Приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации от 28.08.2017 № 564н). М., 2017. 5 с. URL: <https://cdnstatic.rg.ru/uploads/attachments/149/21/10/49385.pdf> (дата обращения: 22.12.2021).

Положение об организации деятельности системы противочумных учреждений Роспотребнадзора (утв. приказом Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека от 1 апреля 2015 г. № 274). М., 2015 24 с. URL: https://www.rospotrebnadzor.ru/upload/iblock/dd0/prikaz-pchu-ot-01.04.15-n-274_-zaregistr.-minyustom-26.06.15.pdf (дата обращения: 22.12.2021).

Росохотрыболовсоюз пытается найти виновных в гибели дроф в Крыму // Охотники.ру. М., 2022. URL: <https://www.ohotniki.ru/hunting/society/society/article/2022/02/20/660116-rosohotrybолоvsoyuz-pytaetsya-nayti-vinovnyih-v-gibeli-drof-v-kryimu.html> (дата обращения: 22.02.2022).

Российский рынок сельхозсырья и продовольствия в 2001 – 2020 гг. (обновление на декабрь 2020) / Экспертно-аналитический центр агробизнеса «АБ-Центр». 2021. URL: <https://ab-centre.ru/dbase/rossiyskiy-rynok-selhozsyrya-i-prodovolstviya-v-2001-2020-gg-obnovlenie-na-dekabr-2020?ysclid=lgmhrqznpv779126512> (дата обращения 15.02.2022).

Рыльников В. А., Матросов А. Н., Кузнецов А. А., Яковлев А. А., Бабич Н. В., Слудский А. А., Тарасов М. А., Тоцигин Ю. В., Кадиров А. Ф. Управление численностью проблемных биологических видов. Т. 3. Дератизация: учебное пособие / под ред. В. А. Рыльникова. М.: Институт пест-менеджмента, 2011. 220 с.

СанПиН 3.5.3.1129-02. СП 3.5.3.1129-02. Санитарно-эпидемиологические требования к проведению дератизации (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 12.07.2002). М., 2002. 20 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/9e2/4294845736.pdf> (дата обращения: 22.12.2021).

Шакирова Г. На западе Крыма погибли около 70 краснокнижных дроф // Российская газета. М., 2021 URL: https://rg.ru/2021/12/20/reg-ufo/na-zapade-kryma-pogibli-okolo-70-krasnoknizhnyh-drof.html?fbclid=IwAR0IwxXucT7cYUoE4E3YW-o7_hRBxcdO7jYnapJU8Fz--X2Qm2yAmzg0 (дата обращения: 22.12.2021).

Яковлев А. А., Бабич Н. В., Драгомиров К. А. Как защитить урожай от мышевидных грызунов? // Защита и карантин растений. 2007. №. 9. С. 9 – 10.

Яковлев А. А., Бабич Н. В. Родентициды // Защита и карантин растений. 2011. № 10. С. 42 – 44.

Aktar M. W., Sengupta D., Chowdhury A. Impact of pesticides use in agriculture: Their benefits and hazards // Interdisciplinary Toxicology. 2009. Vol. 2, № 1. P. 1 – 12. <https://doi.org/10.2478/v10102-009-0001-7>

Antoniou V., Zantopoulos N., Skartsi D., Tsoukali-Papadopoulou H. Pesticide poisoning of animals of wild fauna // Veterinary and Human Toxicology. 1996. Vol. 38, iss. 3. P. 212 – 213.

Antoniou V., Zantopoulos N., Samouris G., Ioannidou M. Impacts of toxic substances in animals of wild fauna in Northern Greece // Proceedings of the 2nd Environmental Conference of Macedonia. Thessaloniki, 2005. P. 1 – 6.

Berny Ph., Velardo J., Pulce C., D'amico A., Kammerer M., Lasseur R. Prevalence of anticoagulant rodenticide poisoning in humans and animals in France and substances involved // Clinical Toxicology. 2010. Vol. 48, iss. 9. P. 935 – 941. <https://doi.org/10.3109/15563650.2010.533678>

Caravati E. M., Erdman A. R., Scharman E. J., Woolf A. D., Chyka P. A., Cobaugh D. G., Wax P. M., Manoguerra A. S., Christianson G., Nelson L. S., Olson K. R., Booze L. L., Troutman W. G. Long-acting anticoagulant rodenticide poisoning: An evidence-based consensus guide-

line for out-of-hospital management // *Clinical Toxicology*. 2007. Vol. 45, iss. 1. P. 1 – 22. <https://doi.org/10.1080/15563650600795487>

Chong Y.-K., Mak T. W.-L. Superwarfarin (long-acting anticoagulant rodenticides) poisoning: from pathophysiology to laboratory-guided clinical management // *Clinical Biochemical Review*. 2019. Vol. 40, № 4. P. 175 – 185. <http://doi.org/10.33176/AACB-19-00029>

Devgun J. M., Rasin A., Kim T., Mycyk M. B., Bryant S. M., Wahl M. S., Lauriers C. D., Navon L., Moritz E. D., Thompson T. M., Swoboda H. D., Lu J., Aks S. E. An outbreak of severe coagulopathy from synthetic cannabinoids tainted with long-acting anticoagulant rodenticides // *Clinical Toxicology*. 2020. Vol. 58, iss. 8. P. 821 – 828. <https://doi.org/10.1080/15563650.2019.1690149>

Edwards P. J., Fletcher M. R., Berny P. Review of the factors influencing the decline of the European brown hare, *Lepus europaeus* (Pallas, 1778) and the use of wildlife incident data to evaluate the significance of paraquat // *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2000. Vol. 79, iss. 2 – 3. P. 95 – 103. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00153-X](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00153-X)

Elmeros M., Lassen P., Bossi R., Topping C. J. Exposure of stone marten (*Martes foina*) and polecat (*Mustela putorius*) to anticoagulant rodenticides: Effects of regulatory restrictions of rodenticide use // *Science of the Total Environment*. 2018. Vol. 612. P. 1358 – 1364. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.0340048-969>

Erofeeva E. V., Surkova Ju. E., Shubkina A. V. Rodenticides and wildlife extermination // *Biology Bulletin Reviews*. 2022. Vol. 12, № 2. P. 178 – 188. <https://doi.org/10.1134/S2079086422020025>

Erickson W., Urban D. Potential Risks of Nine Rodenticides to Birds and Nontarget Mammals: A Comparative Approach. Washington: United States Environmental Protection Agency, 2004. 225 p.

Feinstein D. L., Akpa B. S., Ayee M. A., Boullerne A. I., Braun D., Brodsky S. V., Gidalevitz D., Hauck Z., Kalinin S., Kowal K., Kuzmenko I., Lis K., Marangoni N., Martynowycz M. W., Rubinstein I., Breemen R. van, Ware K., Weinberg G. The emerging threat of superwarfarins: History, detection, mechanisms, and countermeasures // *Annals of New-York Academy of Sciences*. 2017. Vol. 1374, iss. 1. P. 111 – 122. <https://doi.org/10.1111/nyas.13085>

Guïart R., Sachana M., Caloni F., Croubels S., Vandenbroucke V., Berny Ph. Animal poisoning in Europe. Part 3: Wildlife // *Veterinary Journal*. 2009. Vol. 183, iss. 3. P. 260 – 265. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2009.03.033>

Hathurusinghe M. H., Ibrahim S. A. Survival and growth of yogurt culture in MRS broth in the presence of selected rodenticides // *Milchwissenschaft*. 2012. Vol. 67, № 1. P. 51 – 54.

Hathurusinghe M. H., Ibrahim S. A. Influence of brodifacoum and bromadiolone on growth of yoghurt cultures in milk // *International Journal of Dairy Technology*. 2016. Vol. 69, iss. 1. P. 51 – 56. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12205>

Hinds L. A., Henry Y. S., Van De Weyer N., Robinson F., Ruscoe W. A., Brown P. R. Acute oral toxicity of zinc phosphide: an assessment for wild house mice (*Mus musculus*) // *Integrative Zoology*. 2023. Vol. 18, iss. 1. P. 63 – 75. <https://doi.org/10.1111/1749-4877.12666>

Joermann G. A review of secondary-poisoning studies with rodenticides // *OEPP EPPO Bulletin*. 1998. Vol. 28, iss. 1/2. P. 157 – 176. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2338.1998.tb00717.x>

Lamarque F., Artois M., Berny P., Hatier C. Le réseau SAGIR, réseau national de suivi sanitaire de la faune sauvage Française // *Bulletin Mensuel Office National de la Chasse*. 1999. Vol. 246. P. 18 – 26.

Liu Q., Zhou L., Zheng N., Zhuo Luo, Liu Y., Liu L. Poisoning deaths in China: Type and prevalence detected at the Tongji Forensic Medical Center in Hubei // *Forensic Science International*. 2009. Vol. 193. P. 88 – 94. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2009.09.013>

López-Perea J. J., Camarero P. R., Molina-Lopez R. A., Parpal L., Obon E., Sola J., Mateo R. Interspecific and geographical differences in anticoagulant rodenticide residues of predatory wild-

life from the Mediterranean region of Spain // *Science of The Total Environment*. 2015. Vol. 511. P. 259–267. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.12.042>

López-Perea J. J., Camarero P. R., Sanchez-Barbudo I. S., Mateo R. Urbanization and cattle density are determinants in the exposure to anticoagulant rodenticides of non-target wildlife // *Environmental Pollution*. 2019. Vol. 244. P. 801 – 808. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.10.101>

Masuda B. M., Fisher P., Beaven B. Residue profiles of brodifacoum in coastal marine species following an island rodent eradication // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2015. Vol. 113. P. 1 – 8. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.11.013>

Morgan A. M. Teratogenic effect of the coumarinic anticoagulant rodenticide, racumin in white rats // *Egyptian Society of Clinical Toxicology Journal*. 2006. Vol. 34. P. 5 – 14.

Morriss G., Nugent G., Fisher P. Exposure of feral pigs to brodifacoum following baiting for rodent control // *DOC Internal Science Series* 194. Wellington: Department of Conservation, 2005. 16 p.

Poché R. M., Poché D., Franckowiak G., Somers D. J., Briley L. N., Tseveenjav B., Polyakova L. Field evaluation of low-dose warfarin baits to control wild pigs (*Sus scrofa*) in North Texas // *PLoS ONE*. 2018. Vol. 13, iss. 11. P. 1 – 21. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206070>

Poessel S. A., Breck S. W., Fox K. A., Gese E. M. Anticoagulant rodenticide exposure and toxicosis in coyotes (*Canis latrans*) in the Denver metropolitan area // *Journal of Wildlife Diseases*. 2015. Vol. 51, iss. 1. P. 265 – 268. <https://doi.org/10.7589/2014-04-116>

Rattner B. A., Horak K. E., Warner S. E., Day D. D., Meteyer C. U., Volker S. E., Eisemann J. D., Johnstonk J. J. Acute toxicity, histopathology, and coagulopathy in American kestrels (*Falco sparverius*) following administration of the rodenticide diphacinone // *Environmental Toxicology and Chemistry*. 2011. Vol. 30, iss. 5. P. 1213 – 1222. <https://doi.org/10.1002/etc.490>

Riley S. P. D., Bromley C., Poppenga R. H., Uzal F. A., Whited L., Sauvajot R. M. Anticoagulant exposure and notoedric mange in bobcats and mountain lions in urban southern California // *Journal of Wildlife Management*. 2007. Vol. 71. P. 1874 – 1884.

Risk Mitigation Decision for Ten Rodenticides. Washington: United States Environmental Protection Agency, 2008. 60 p. URL: <https://glm.com/wp-content/uploads/2019/03/EPA-HQ-OPP-2006-0955-0764.pdf> (accessed 30 May 2021).

Ruiz-Suárez N., Rial C., Boada L. D., Henríquez-Hernández L. A., Valeron P. F., Camacho M., Zumbado M., González M. A., Lara P., Luzardo O. P. Are pet dogs good sentinels of human exposure to environmental polycyclic aromatic hydrocarbons, organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls? // *Journal of Applied Animal Research*. 2015. Vol. 44, iss. 1. P. 135 – 145. <https://doi.org/10.1080/09712119.2015.1021808>

Serieys L. E. K., Foley J., Owens S., Woods L., Boydston E. E., Lyren L. M., Poppenga R. H., Clifford D. L., Stephenson N., Rudd J., Riley S. P. D. Serum chemistry, hematologic, and post-mortem findings in free-ranging bobcats (*Lynx rufus*) with notoedric mange // *Journal of Parasitology*. 2013. Vol. 99, iss. 6. P. 989 – 996. <https://doi.org/10.1645/12-175.1>

Staples L., Smith M., Pontin K. Use of zinc phosphide to overcome rodent infestations // *Proceedings of the Australian Postharvest Technical Conference*. Canberra: CSIRO, 2003. P. 110 – 115. <https://doi.org/10.13140/2.1.1190.3364>

Thomson L. A., Darwish W. S. Environmental chemical contaminants in food: Review of a global problem // *Journal of Toxicology*. 2019. Vol. 2019. Article number 2345283. <https://doi.org/10.1155/2019/2345283>

Uzal F. A., Houston R. S., Riley S. P. D., Poppenga R., Odani J., Boyce W. Notoedric mange in two free-ranging mountain lions (*Puma concolor*) // *Journal of Wildlife Diseases*. 2007. Vol. 43, iss. 2. P. 274 – 278. <https://doi.org/10.7589/0090-3558-43.2.274>

Wade A. Opinion: Apocalypse when? A future without rodenticides // Professional Pest Controller. 2021. Iss. 103. <https://ppconline.org/PPC-News/apocalypse-when-a-future-without-rodenticides/271653>.

Wang M., Yang Y., Hou Y., Ma W., Jia R., Chen J. Effects of bromadiolone poisoning on the central nervous system // Neuropsychiatric Disease and Treatment. 2017. Vol. 13. P. 2297 – 2300. <https://doi.org/10.2147/NDT.S142375>

Yadav I. C., Devi N. L., Syed J. H., Cheng Z., Li J., Zhang G., Jones K. C. Current status of persistent organic pesticides residues in air, water, and soil, and their possible effect on neighboring countries: A comprehensive review of India // Science of the Total Environment. 2015. Vol. 511. P. 123 – 137. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.12.041>

Zuo W., Zhang X., Chang J., Ma W., Wei J. Bromadiolone poisoning leading to subarachnoid haemorrhage: A case report and review of the literature // Journal of Clinical Report and Therapeutics. 2019. Vol. 44, iss. 6. P. 958 – 962. <https://doi.org/10.1111/jcpt.13005>

Modern rodenticides and non-target species

E. V. Erofeeva ¹, Ju. E. Surkova ², A. V. Shubkina ¹✉

¹ A. N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences
33 Leninsky Pros., Moscow 119071, Russia

² Moscow Pedagogical State University
1 Malaya Pirogovskaya St., Moscow 119991, Russia

Received: 27 February 2023 / revised: 28 March 2023 / accepted: 28 March 2023 / published: 21 June 2023

Abstract. It is generally recognized that environmental pollution with agrotechnical substances is the major problem for the conservation of biological diversity and human food security. However, their use cannot be completely excluded. Of particular importance are modern rodenticides, i.e. superwarfarins, designed to reduce the numbers of rodents damaging agriculture, i.e. to destroy animals. However, these poisons are highly toxic and are passed up the food chains. Besides, it is impossible to draw a line between agrocenoses in their classical sense and the natural or slightly modified environment. The absence of clear physical boundaries of agrocenoses means that the processes occurring therein affect the biological diversity of adjacent territories, which are considered natural. Animals use both fields and the spaces adjacent to them. In addition, there is a water exchange between cultivated fields and the adjacent natural areas and reservoirs. Modern changes in the structure of agrocenoses increase the segment of fields which rodenticides are used on. The plowing of ravines, riversides and other inconvenient lands (due to an improved quality of equipment) facilitates the ingress of rodenticides into water bodies. Data on the consequences of the use of superwarfarins in some anthropogenic biocenoses of the southern regions of the Russian Federation are presented. Facts of mass destruction of consumers of the 1st and 2nd order (the so-called non-target species), directly related to rodenticid use, are given. Complex pathomorphological and toxicological studies of animals died in nature were carried out for the first time in the Russian Federation. The presence of bromadiolone in tissue samples was confirmed by chemical analysis, and the descriptions of autopsies of dead birds have been processed. Recommendations on the specific features for the collecting and storage of materials sent for research have been prepared.

Keywords: rodenticides, anticoagulants, non-target species, wild animals, natural systems

For citation: Erofeeva E. V., Surkova Ju. E., Shubkina A. V. Modern rodenticides and non-target species. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2023, no. 2, pp. 148–178 (in Russian). <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2023-2-148-178>

REFERENCES

Andreev S. V., Belyaev E. S., Ischenko A. A. New universal method for determination of anticoagulants in rodenticides. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Khimiya i Khimicheskaya Tekhnologiya*, 2019, vol. 62, no. 1, pp. 85–90 (in Russian). <https://doi.org/10.6060/ivkkt.20196201.5719>

✉ *Corresponding author.* Laboratory for Behaviour and Behavioural Ecology of Mammals, A. N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences, Russia.

ORCID and e-mail addresses: Ekaterina V. Erofeeva: <https://orcid.org/0009-0006-0062-2119>, canis92@mail.ru; Julia E. Surkova: u.sura.sura@yandex.ru; Anna V. Shubkina: <https://orcid.org/0000-0002-6857-3812>, anashubkina@rambler.ru.

Berezovsky O. I. *Sanitary and Toxicological Assessment of Rodenticidal Agents from the Group of Anticoagulants*. Thesis Diss. Cand. Sci. (Biol.). Moscow, 1998. 19 p. (in Russian).

Bromadiolone. *RuPest.ru*, 2021. Available at: <http://rupest.ru/ppdb/bromadiolone.html> (accessed 17 January 2023) (in Russian).

Voytsekhovskiy V. V., Pivnik A. V., Filatova E. A., Esenina T. V., Mishkurova K. M., Fedorova N. A. Coagulopathy at intoxication with rodenticides – antagonists of vitamin K. *Bulletin Physiology and Pathology of Respiration*, 2020, iss. 78, pp. 161–177 (in Russian). <https://doi.org/10.36604/1998-5029-2020-78-161-177>

Galliamova O. V. Blood anticoagulants. *Pesticidy.ru*, 2013. Available at: https://www.pesticidy.ru/group_substances/anticoagulants (accessed 17 January 2023) (in Russian).

Galliamova O. V. Bromadiolone. *Pesticidy.ru*, 2022. Available at: https://www.pesticidy.ru/active_substance/bromadiolon (accessed 18 January 2023) (in Russian).

Galstyan G. M., Davydkin I. L., Nikolaeva A. S., Vekhova N. I., Pavlova Z. E., Ponomarenko I. S., Klebanova E. E., Savchenko V. G. Outbreak of mass poisoning with anticoagulant rodenticides. *Russian Journal of Hematology and Transfusiology*, 2020, vol. 65, no. 2, pp. 174–189 (in Russian). <https://doi.org/10.35754/0234-5730-2020-65-2-174-189>

Hygienic Requirements for Safety of Testing, Storage, Transportation, Sale, Use, Disposal and Utilization of Pesticides and Agrochemicals: Sanitary Rules and Regulations. Federal Center of Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor Publ., 2010. 71 p. (in Russian).

State Catalogue of Pesticides and Agrochemicals Permitted for Use in the Russian Federation 2020, 2021. *Ministry of Agriculture of the Russian Federation*. Moscow, 2022. Available at: <http://mcx.ru/ministry/departments/departament-rastenievodstva-mekhanizatsii-khimizatsii-i-za-shchity-rasteniy/industry-information/info-gosudarstvennaya-usluga-po-gosudarstvennoy-registratsii-pestitsidov-i-agrokhimikatov> (accessed 12 February 2022) (in Russian).

GOST R 58481-2019. *Rodenticides. Methods for the determination of the physical and chemical properties*. Moscow, Standartinform Publ., 2019. 10 p. (in Russian).

Erofeeva E. V., Surkova Ju. E., Shubkina A. V. Rodenticides and wildlife deletion. *Uspekhi sovremennoi biologii*, 2021, vol. 141, no. 5, pp. 496–507 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S0042132421050021>

Zakharova G. V., Pashovkina R. N., Krasnova R. R. Warfarin and its analogues - coumarin anticoagulants in forensic chemical and chemical toxicological analysis. *Russian Journal of Forensic Medicine*, 2019, vol. 5, no. 1, pp. 120–121 (in Russian).

Zobnin Yu. V., Kutateladze R. G., Malykh A. F., Pazyukov E. A., Provado I. P., Teterina I. P. Acute poisonings with anticoagulants according to the data of the Irkutsk toxicological center. *Sibirskii meditsinskii zhurnal*, 2013, vol. 120, no. 5, pp. 131–134 (in Russian).

Ivleva E. A., Bogomolov D. V., Putintsev V. A., Bukeshov M. K. Morphological manifestations of the rodenticide poisoning. In: *Dekabr'skie chteniia po sudebnoi meditsine: sbornik materialov mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. Pod red. D. V. Sundukova* [D. V. Sundukov, ed. December Readings on Forensic Medicine: Collection of Materials of the International Scientific-Practical Conference]. Moscow, Peoples' Friendship University of Russia Publ., 2017, pp. 38–41 (in Russian).

Ivanitskaya E. G., Kochergina-Nikitskaya E. V., Shastova L. A. *Instruction No. 45-11 from 21.02.2011 on the use of rodenticide “Bromocid-Fluid”* / CJSC Scientific and Commercial Firm “RET”, Russia. Moscow, Non-Commercial Institute of Pest Management Publ., 2011. 8 p. Available at: https://dez-sredstva.com/svidet_instruct/rodent_concentr/bromocid-fljuidin.pdf (accessed 18 January 2022) (in Russian).

On Approval of the Rules for Transportation of Biological Material, Cells for Production of Cell Lines, Cell Lines Intended for Production of Biomedical Cell Products and Biomedical Cell Products (Order of the Ministry of Health of the Russian Federation of 28.08.2017 No. 564n).

Moscow, 2017. 5 p. Available at: <https://cdnstatic.rg.ru/uploads/attachments/149/21/10/49385.pdf> (accessed 22 December 2021) (in Russian).

Regulations on the Organization of the Activities of Plague Control Facilities of Rosпотребнадзор (approved by Order No. 274 of the Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Welfare, April 1, 2015). Moscow, 2015. 24 p. Available at: https://www.rosпотребнадзор.ru/upload/iblock/dd0/prikaz-pchu-ot-01.04.15-n-274_-zaregistr.-minyustom-26.06.15.pdf (accessed 22 December 2021) (in Russian).

Rosohotrybolovsoyuz is trying to find those responsible for the death of great bustards in Crimea. *Ohotniki.ru*. Moscow, 2022. Available at: <https://www.ohotniki.ru/hunting/societys/societys/article/2022/02/20/660116-rosohotrybolovsoyuz-pyitaetsya-nayti-vinovnyih-v-gibeli-drof-v-kryimu.html> (accessed 22 February 2022) (in Russian).

Russian Market of Agricultural Raw Materials and Foodstuffs in 2001–2020 (updated for December 2020). Expert-Analytical Center of Agribusiness “AB-Center”. 2021. Available at: <https://ab-centre.ru/dbase/rossiyskiy-rynok-selhozsyrya-i-prodovolstviya-v-2001-2020-gg-obnovlenie-na-dekabr-2020?ysclid=lgmhrqznpv779126512> (accessed 15 February 2022) (in Russian).

Ryl'nikov V. A., Matrosov A. N., Kuznetsov A. A., Iakovlev A. A., Babich N. V., Sludskii A. A., Tarasov M. A., Toshchigin Iu. V., Kadirov A. F. *Upravlenie chislennost'iu problemnykh biologicheskikh vidov. T. 3. Deratizatsiya: uchebnoe posobie. Pod red. V. A. Ryl'nikova* [Ryl'nikov V. A., ed. Control of the Abundance of Hazardous Biological Species. Vol. 3. Deratization: Manual]. Moscow, Institute of Pest Management Publ., 2011. 220 p. (in Russian).

SanPiN 3.5.3.1129-02. SP 3.5.3.1129-02. Sanitarno-epidemiologicheskie trebovaniia k provedeniiu deratizatsii (utv. Glavnym gosudarstvennym sanitarnym vrachom RF 12.07.2002) [SanPiN 3.5.3.1129-02. SANPN 3.5.3.1129-02. Sanitary and Epidemiological Requirements for Deratization (approved by the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation on 12.07.2002)]. Moscow, 2002. 20 p. Available at: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/9e2/4294845736.pdf> (accessed 12 December 2021) (in Russian).

Shakirova G. In the west of Crimea, about 70 red-listed bustards died. *Rossiiskaia gazeta*. Moscow, 2021. Available at: https://rg.ru/2021/12/20/reg-ufo/na-zapade-kryma-pogibli-okolo-70-krasnokniznyh-drof.html?fbclid=IwAR0IwxXucT7cYUoE4E3YW-o7_hRBxcdO7jYnapJU8Fz_-X2Qm2yAmzg0 (accessed 12 December 2021) (in Russian).

Yakovlev A. A., Babich N. V., Dragomirov K. G. How to protect the harvest from rodents? *Zashchita i karantin rastenii*, 2007, no. 9, pp. 9–10 (in Russian).

Yakovlev A. A., Babich N. V. Rodenticides. *Zashchita i karantin rastenii*, 2011, no. 10, pp. 42–44 (in Russian).

Aktar M. W., Sengupta D., Chowdhury A. Impact of pesticides use in agriculture: Their benefits and hazards. *Interdisciplinary Toxicology*, 2009, vol. 2, no. 1, pp. 1–12. <https://doi.org/10.2478/v10102-009-0001-7>

Antoniou V., Zantopoulos N., Skartsis D., Tsoukali-Papadopoulou H. Pesticide poisoning of animals of wild fauna. *Veterinary and Human Toxicology*, 1996, vol. 38, iss. 3, pp. 212–213.

Antoniou V., Zantopoulos N., Samouris G., Ioannidou M. Impacts of toxic substances in animals of wild fauna in Northern Greece. In: *Proceedings of the 2nd Environmental Conference of Macedonia*. Thessaloniki, 2005, pp. 1–6.

Berny Ph., Velardo J., Pulce C., D'amico A., Kammerer M., Lasseur R. Prevalence of anticoagulant rodenticide poisoning in humans and animals in France and substances involved. *Clinical Toxicology*, 2010, vol. 48, iss. 9, pp. 935–941. <https://doi.org/10.3109/15563650.2010.533678>

Caravati E. M., Erdman A. R., Scharman E. J., Woolf A. D., Chyka P. A., Cobaugh D. G., Wax P. M., Manoguerra A. S., Christianson G., Nelson L. S., Olson K. R., Booze L. L., Troutman W. G. Long-acting anticoagulant rodenticide poisoning: An evidence-based consensus guide-

line for out-of-hospital management. *Clinical Toxicology*, 2007, vol. 45, iss. 1, pp. 1–22. <https://doi.org/10.1080/15563650600795487>

Chong Y.-K., Mak T. W.-L. Superwarfarin (long-acting anticoagulant rodenticides) poisoning: from pathophysiology to laboratory-guided clinical management. *Clinical Biochemical Review*, 2019, vol. 40, no. 4, pp. 175–185. <http://doi.org/10.33176/AACB-19-00029>

Devgun J. M., Rasin A., Kim T., Mycyk M. B., Bryant S. M., Wahl M. S., Lauriers C. D., Navon L., Moritz E. D., Thompson T. M., Swoboda H. D., Lu J., Aks S. E. An outbreak of severe coagulopathy from synthetic cannabinoids tainted with long-acting anticoagulant rodenticides. *Clinical Toxicology*, 2020, vol. 58, iss. 8, pp. 821–828. <https://doi.org/10.1080/15563650.2019.1690149>

Edwards P. J., Fletcher M. R., Berny P. Review of the factors influencing the decline of the European brown hare, *Lepus europaeus* (Pallas, 1778) and the use of wildlife incident data to evaluate the significance of paraquat. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2000, vol. 79, iss. 2–3, pp. 95–103. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00153-X](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00153-X)

Elmeros M., Lassen P., Bossi R., Topping C. J. Exposure of stone marten (*Martes foina*) and polecat (*Mustela putorius*) to anticoagulant rodenticides: Effects of regulatory restrictions of rodenticide use. *Science of the Total Environment*, 2018, vol. 612, pp. 1358–1364. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.0340048-969>

Erofeeva E. V., Surkova Ju. E., Shubkina A. V. Rodenticides and wildlife extermination. *Biology Bulletin Reviews*, 2022, vol. 12, no. 2, pp. 178–188. <https://doi.org/10.1134/S2079086422020025>

Erickson W., Urban D. *Potential Risks of Nine Rodenticides to Birds and Nontarget Mammals: A Comparative Approach*. Washington, United States Environmental Protection Agency, 2004. 225 p.

Feinstein D. L., Akpa B. S., Ayee M. A., Boullerne A. I., Braun D., Brodsky S. V., Gidalevitz D., Hauck Z., Kalinin S., Kowal K., Kuzmenko I., Lis K., Marangoni N., Martynowycz M. W., Rubinstein I., Breemen R. van, Ware K., Weinberg G. The emerging threat of superwarfarins: History, detection, mechanisms, and countermeasures. *Annals of New-York Academy of Sciences*, 2017, vol. 1374, iss. 1, pp. 111–122. <https://doi.org/10.1111/nyas.13085>

Guitart R., Sachana M., Caloni F., Croubels S., Vandenbroucke V., Berny Ph. Animal poisoning in Europe. Part 3: Wildlife. *Veterinary Journal*, 2009, vol. 183, iss. 3, pp. 260–265. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2009.03.033>

Hathurusinghe M. H., Ibrahim S. A. Survival and growth of yogurt culture in MRS broth in the presence of selected rodenticides. *Milchwissenschaft*, 2012, vol. 67, no. 1, pp. 51–54.

Hathurusinghe M. H., Ibrahim S. A. Influence of brodifacoum and bromadiolone on growth of yoghurt cultures in milk. *International Journal of Dairy Technology*, 2016, vol. 69, iss. 1, pp. 51–56. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12205>

Hinds L. A., Henry Y. S., Van De Weyer N., Robinson F., Ruscoe W. A., Brown P. R. Acute oral toxicity of zinc phosphide: an assessment for wild house mice (*Mus musculus*). *Integrative Zoology*, 2023, vol. 18, iss. 1, pp. 63–75. <https://doi.org/10.1111/1749-4877.12666>

Joermann G. A review of secondary-poisoning studies with rodenticides. *OEPP EPPO Bulletin*, 1998, vol. 28, iss. 1-2, pp. 157–176. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2338.1998.tb00717.x>

Lamarque F., Artois M., Berny P., Hatier C. Le réseau SAGIR, réseau national de suivi sanitaire de la faune sauvage Française. *Bulletin Mensuel Office National de la Chasse*, 1999, vol. 246, pp. 18–26.

Liu Q., Zhou L., Zheng N., Zhuo Luo, Liu Y., Liu L. Poisoning deaths in China: Type and prevalence detected at the Tongji Forensic Medical Center in Hubei. *Forensic Science International*, 2009, vol. 193, pp. 88–94. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2009.09.013>

López-Perea J. J., Camarero P. R., Molina-Lopez R. A., Parpal L., Obon E., Sola J., Mateo R. Interspecific and geographical differences in anticoagulant rodenticide residues of predatory wildlife from the Mediterranean region of Spain. *Science of The Total Environment*, 2015, vol. 511, pp. 259–267. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.12.042>

López-Perea J. J., Camarero P. R., Sanchez-Barbudo I. S., Mateo R. Urbanization and cattle density are determinants in the exposure to anticoagulant rodenticides of non-target wildlife. *Environmental Pollution*, 2019, vol. 244, pp. 801–808. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.10.101>

Masuda B. M., Fisher P., Beaven B. Residue profiles of brodifacoum in coastal marine species following an island rodent eradication. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2015, vol. 113, pp. 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.11.013>

Morgan A. M. Teratogenic effect of the coumarinic anticoagulant rodenticide, racumin in white rats. *Egyptian Society of Clinical Toxicology Journal*, 2006, vol. 34, pp. 5–4.

Morriss G., Nugent G., Fisher P. Exposure of feral pigs to brodifacoum following baiting for rodent control. *DOC Internal Science Series 194*. Wellington, Department of Conservation, 2005. 16 p.

Poché R. M., Poché D., Franckowiak G., Somers D. J., Briley L. N., Tseveenjav B., Polyakova L. Field evaluation of low-dose warfarin baits to control wild pigs (*Sus scrofa*) in North Texas. *PLoS ONE*, 2018, vol. 13, iss. 11, pp. 1–21. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206070>

Poessel S. A., Breck S. W., Fox K. A., Gese E. M. Anticoagulant rodenticide exposure and toxicosis in coyotes (*Canis latrans*) in the Denver metropolitan area. *Journal of Wildlife Diseases*, 2015, vol. 51, iss. 1, pp. 265–268. <https://doi.org/10.7589/2014-04-116>

Rattner B. A., Horak K. E., Warner S. E., Day D. D., Meteyer C. U., Volker S. E., Eisemann J. D., Johnston J. J. Acute toxicity, histopathology, and coagulopathy in American kestrels (*Falco sparverius*) following administration of the rodenticide diphacinone. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2011, vol. 30, iss. 5, pp. 1213–1222. <https://doi.org/10.1002/etc.490>

Riley S. P. D., Bromley C., Poppenga R. H., Uzal F. A., Whited L., Sauvajot R. M. Anticoagulant exposure and notoedric mange in bobcats and mountain lions in urban Southern California. *Journal of Wildlife Management*, 2007, vol. 71, pp. 1874–1884.

Risk Mitigation Decision for Ten Rodenticides. Washington, United States Environmental Protection Agency, 2008. 60 p. Available at: <https://glm.com/wp-content/uploads/2019/03/EPA-HQ-OPP-2006-0955-0764.pdf> (accessed 30 May 2021).

Ruiz-Suárez N., Rial C., Boada L. D., Henríquez-Hernández L. A., Valeron P. F., Camacho M., Zumbado M., González M. A., Lara P., Luzardo O. P. Are pet dogs good sentinels of human exposure to environmental polycyclic aromatic hydrocarbons, organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls? *Journal of Applied Animal Research*, 2015, vol. 44, iss. 1, pp. 135–145. <https://doi.org/10.1080/09712119.2015.1021808>

Serieys L. E. K., Foley J., Owens S., Woods L., Boydston E. E., Lyren L. M., Poppenga R. H., Clifford D. L., Stephenson N., Rudd J., Riley S. P. D. Serum chemistry, hematologic, and post-mortem findings in free-ranging bobcats (*Lynx rufus*) with notoedric mange. *Journal of Parasitology*, 2013, vol. 99, iss. 6, pp. 989–996. <https://doi.org/10.1645/12-175.1>

Staples L., Smith M., Pontin K. Use of zinc phosphide to overcome rodent infestations. In: *Proceedings of the Australian Postharvest Technical Conference*. Canberra, CSIRO, 2003, pp. 110–115. <https://doi.org/10.13140/2.1.1190.3364>

Thomson L. A., Darwish W. S. Environmental chemical contaminants in food: Review of a global problem. *Journal of Toxicology*, 2019, vol. 2019, article number 2345283. <https://doi.org/10.1155/2019/2345283>

Uzal F. A., Houston R. S., Riley S. P. D., Poppenga R., Odani J., Boyce W. Notoedric mange in two free-ranging mountain lions (*Puma concolor*). *Journal of Wildlife Diseases*, 2007, vol. 43, iss. 2, pp. 274–278. <https://doi.org/10.7589/0090-3558-43.2.274>

Wade A. Opinion: Apocalypse when? A future without rodenticides. *Professional Pest Controller*, 2021, iss. 103. <https://ppconline.org/PPC-News/apocalypse-when-a-future-without-rodenticides/271653>.

Wang M., Yang Y., Hou Y., Ma W., Jia R., Chen J. Effects of bromadiolone poisoning on the central nervous system. *Neuropsychiatric Disease and Treatment*, 2017, vol. 13, pp. 2297–2300. <https://doi.org/10.2147/NDT.S142375>

Yadav I. C., Devi N. L., Syed J. H., Cheng Z., Li J., Zhang G., Jones K. C. Current status of persistent organic pesticides residues in air, water, and soil, and their possible effect on neighboring countries: A comprehensive review of India. *Science of the Total Environment*, 2015, vol. 511, pp. 123–137. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.12.041>

Zuo W., Zhang X., Chang J., Ma W., Wei J. Bromadiolone poisoning leading to subarachnoid haemorrhage: A case report and review of the literature. *Journal of Clinical Report and Therapeutics*, 2019, vol. 44, iss. 6, pp. 958–962. <https://doi.org/10.1111/jcpt.13005>