

УДК 502/504.59.01/08+574/577.57.022

## РОДЕНТИЦИДЫ И ГИБЕЛЬ ДИКИХ ЖИВОТНЫХ

© 2021 г. Е. В. Ерофеева<sup>1</sup>, Ю. Е. Суркова<sup>2</sup>, А. В. Шубкина<sup>1</sup>. \*

<sup>1</sup>Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup>Московский педагогический государственный университет, Москва, Россия

\*e-mail: annashubkina@rambler.ru

Поступила в редакцию 10.12.2020 г.

После доработки 14.03.2021 г.

Принята к публикации 15.03.2021 г.

Загрязнение химическими продуктами, используемыми в агротехнических мероприятиях, является крупнейшей проблемой пищевой безопасности человека, но исключить их применение невозможно. Особое значение принадлежит родентицидам, влияющим на животных и человека не только прямо, но и опосредованно. Во многом это связано с тем, что начиная с конца XX в. все более широкое применение получали антикоагулянты второго поколения, так называемые суперварфарины. Их преимуществом является кажущаяся простота использования, что привело к формированию ошибочного представления о безвредности этой группы препаратов. Описана краткая история применения родентицидов, их воздействия на млекопитающих, птиц и человека. Показано, что в последние десятилетия начали интенсивно исследовать сублетальные эффекты и накопление суперварфаринов. Установлено, что эти препараты вызывают широкий спектр негативных воздействий на млекопитающих и птиц, включая поражающее воздействие на дыхательную, сосудистую и нервную системы, хотя разные виды животных отличаются по чувствительности к ним. Впервые представлены данные о последствиях применения суперварфаринов в некоторых природных системах южных регионов РФ – приведены факты массовой гибели консументов 1-го и 2-го порядка (птицы и млекопитающие, так называемые нецелевые виды). Высокая опасность суперварфаринов сочетается с крайне низкой вероятностью их своевременного обнаружения. Обоснован вывод о том, что гибель хищных животных – консументов 2-го порядка является индикатором наличия прямой угрозы биологической безопасности в области, сочетающей воздействие химических и биологических факторов. Отсутствие физических границ агроценозов означает, что процессы, происходящие в них, влияют на биологическое разнообразие сопредельных территорий, считающихся естественными.

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

DOI: 10.31857/S0042132421050021

### ВВЕДЕНИЕ

Развитие биологии привело к осознанию значения многоуровневых связей событий, происходящих в живой природе, и деятельности человека. Одной из областей взаимодействий человек–природа являются агроценозы, границ которых, в классическом понимании, обычно физически не существует. Происходящее в агроценозах не ограничено их территорией, но распространяется на менее измененные и даже считающиеся естественными пространства, что оказывает значительное влияние на биоразнообразие и фауну диких животных. События, происходящие за пределами агроценозов, лежат вне сферы интересов и обязанностей сельхозпроизводителей, но влияют на объекты и процессы, изучаемые биологами. Например, лесополосы и/или водоемы, созданные человеком, не являются естественными биоценозами, хотя их осваивают и стабильно населя-

ют многие виды животных. Фауна этих антропогенно измененных участков уже много лет служит обычным объектом исследований, однако на ее состояние и разнообразие прямо и косвенно воздействует происходящее в фактических пределах агроценозов. Поэтому современные исследования в области полевой зоологии и экологии требуют учитывать процессы, происходящие в агроценозах.

В основе современной агрокультуры лежат химические обработки. Они включают стимуляцию развития растений, уничтожение нежелательной растительности, сокращение численности животных (родентициды – препараты для уничтожения грызунов). Большинство препаратов находятся в свободной продаже, производители – различные. В инструкциях все, кроме грызунов, – млекопитающие, птицы, рептилии, ам-

фибии, рыбы, люди — называются нецелевыми объектами.

При отравлениях родентицидами своевременное определение причин затруднено — большинство препаратов не включают легкодоступные маркеры, а их наличие/отсутствие может быть установлено только при исследованиях с применением сложного оборудования, отсутствующего в большинстве регионов. Необходимо учитывать, что препараты, оказывающие негативное воздействие на представителей наземной, воздушной и водной фауны (далее в тексте животных), опасны и для человека.

Возможны две формы воздействия на нецелевые виды: прямое отравление и передача по пищевым цепям. Прямое отравление обычно связано с грубыми нарушениями регламента пользования, которые иногда удается выявить. Как биологов, нас больше всего интересует возможность отравления нецелевых видов и передачи токсикантов по пищевым цепям. Это обусловлено тем, что передача токсикантов по пищевым цепям выходит за рамки обязательств сельхозпроизводителей, а возможность таких событий находится вне поля зрения Министерства сельского хозяйства и Министерства природных ресурсов и экологии РФ. Однако негативные эффекты для биоразнообразия, объектов 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 экологическим последствиям применения агротехнических токсикантов, прежде всего родентицидов, для диких животных и человека.

## ПРОБЛЕМА ЗАГРЯЗНЕНИЙ

Загрязнение пищевых продуктов токсикантами, используемыми в агрохимии, не подлежит сомнению (Thompson, Darwish, 2019), что делает этот вопрос крупнейшей проблемой. Выделяют загрязнение радиоактивными веществами, микотоксинами, антимикробными препаратами, тяжелыми металлами, пестицидами, включая родентициды, диоксины (Watts, 2013; Thompson, Darwish, 2019). Наиболее известно о негативном значении тяжелых металлов, передачу которых по пищевым цепям принято считать незначительной, хотя у них выражен тератогенный эффект (Guitart et al., 2009) и не исключено участие в развитии болезни Альцгеймера (Yegambaram et al., 2015).

В последние годы особое внимание уделяют карбофурану — инсектициду и гельминтоциду растений. Исследования WCS<sup>1</sup> доказали, что

именно этот препарат послужил причиной смерти ряда млекопитающих, птиц и человека (Carbofuran poisoning ..., 2016). Даже микродозы (1/20–1/5 от ЛД<sub>50</sub><sup>2</sup>) карбофурана вызывают существенные изменения состояния организма и, прежде всего, параметров крови (Vinev et al., 2016). В настоящее время он запрещен в Европе, Канаде, США, но продолжает использоваться во многих странах и находится в свободной продаже в РФ. В нашей стране (Курская область и Республика Татарстан) зарегистрированы отравления карбофураном людей с летальным исходом (Мансурова и др., 2010).

Особенность родентицидов в том, что их действие направлено прямо на теплокровных животных. Регламенты их использования вне населенных пунктов весьма размыты (Иваницкая и др., 2011), а неоднозначные эффекты накопления и передачи изучены недостаточно (Morgan, 2006). При этом прямое токсическое воздействие на человека менее выражено, чем на собак (Ruiz-Suárez et al., 2015), что не исключает кумуляции и отложенных эффектов.

Принято подразделять родентициды на две группы: длительного действия, преимущественно антикоагулянты, и короткоживущие (Рыльников, 2011). Антикоагулянты, являющиеся средствами подострого и хронического действия, выводятся медленно и частично (<http://www.pesticidy.ru/dictionary/rodenticide>), что создает возможность постепенного накопления. Даже если такое накопление не приводит к летальному исходу, происходит снижение сопротивляемости к иным повреждающим факторам.

Родентициды-антикоагулянты появились в конце 1940-х гг. Несмотря на наличие данных, доказывающих их опасность для летающих, наземных и водных животных, они получили широкое распространение и стали общеприняты. Наряду с антикоагулянтами 1-го поколения (варфарина, среди которых наиболее известен зоокумарин), с конца XX в. все шире применяли антикоагулянты 2-го поколения (суперварфарины). Определение их присутствия методически сложно и требует специальной аппаратуры<sup>3</sup> и квалифицированного персонала. Инструкции по применению противоречивы: отмечается кумуляция, возможность отравления через кожу и дыхательные пути, но основой принято считать пищевое отравление — для которого и рассчитывается летальная доза. Признана особая опасность су-

<sup>2</sup> ЛД<sub>50</sub> — lethal dose 50% — доза вещества, вызывающая гибель половины особей.

<sup>3</sup> Определение присутствия суперварфаринов основано на измерении массовой доли методом обращенно-фазной жидкостной хроматографии с УФ-детектированием, хроматографированием в изократическом режиме экстракта из пробы с количественной оценкой методом внешнего стандарта.

<sup>1</sup> Wildlife Conservation Society.

перварфаринов для домашних кроликов и птиц, поэтому приманки рекомендуют размещать в боксах, что также позволяет уменьшить загрязнение почвы и попадание в водоемы (Иваницкая и др., 2011). В последние годы нередко сообщения о случаях массовой гибели рыбы в прудах и крупных реках, но тесты на присутствие антикоагулянтов не проводят. Однако существуют данные, свидетельствующие о загрязнении родентицидами не только рек и озер, но и морских экосистем (Masuda et al., 2015).

В массовом сознании применение большинства родентицидов оценивается как один из способов, позволяющих избежать недостатка пищевых продуктов и/или необходимых для борьбы с зоонозами. Более того, нередко подчеркивают их низкий токсический эффект, которым можно пренебречь. К сожалению, эти утверждения не соответствуют фактам. «Существует опасность их (родентицидов, авт.) влияния через трупы отравленных грызунов (мышей, крыс, полевок, песчанок, сусликов) на фауну нецелевых видов, обуславливая тем самым риск вторичных отравлений. Основную опасность для нецелевых видов дератизационные средства представляют при широкомасштабных истребительных обработках природных станций» (Заева и др., 2004).

За пределами нашей страны число публикаций об отравлениях родентицидами млекопитающих, птиц, людей непрерывно возрастает. Например, число публикаций, упоминаемых в WoS (Web of Science), с ключевыми словами “poisoning rodenticid” с 1951 по 2020 г. составило 637 статей. Из них 370 работ – за последние 10 лет (2010–2020 гг.), что свидетельствует об осознании серьезности этой проблемы. К сожалению, российская работа среди них одна – С.В. Андреева с соавт. (Андреев и др., 2019). В отечественной традиции преобладают исследования влияния ядов на популяционную структуру грызунов, что подробно анализируется в обзоре Шиловой и Чабовского (Shilova, Tchabovsky, 2009), а влияние на нецелевые виды остается вне поля зрения биологов.

Согласно принятым в РФ правилам обращения ядохимикатов и пестицидов, государство регулирует их оборот и применение, используя торговые названия, но не действующее вещество. Единый, ежегодно обновляемый реестр – “Государственный каталог” (2020) включает коммерческие названия – но совсем 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 возможно неумышленное превышение вносимой дозы токси-

кантов за счет использования смеси препаратов разных фирм.

Систематический мониторинг происходящего отсутствует (Нестерова, 2020). Последние девять лет в России никак не отслеживается производство, реализация, хранение и применение пестицидов и агрохимикатов при обработке полей. Это связано с тем, что, согласно действующему законодательству, Россельхознадзор лишен полномочий по надзору в этой области, но их не передали иной структуре.

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

### ПОСЛЕДСТВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ РОДЕНТИЦИДОВ В НЕКОТОРЫХ ПРИРОДНЫХ СИСТЕМАХ РФ

В октябре 2019 г. в администрацию Новониколаевского района Волгоградской области сообщили об обнаружении в полях мертвых зайцев-русаков<sup>4</sup> (*Lepus europaeus*) и окрашенного зерна, рассыпанного дорожками. Была создана комиссия, обследовали некоторые поля, нашли трупы зайцев без следов ранений и внешних повреждений, 4 тушки передали в районную станцию по борьбе с болезнями животных. Вскрытие было проведено по сокращенному протоколу, учитывая недостаточную свежесть материала (октябрь, температура +5–20°C, от обнаружения трупов до обследования прошло несколько дней). При патологоанатомическом обследовании (Станция по борьбе с болезнями животных Новониколаевского района) подтверждено отсутствие ранений. Установлено, что при чистых слизистых, подкожной клетчатке и кишечнике, легочная полость наполнена черно-красным экссудатом, печень и почки отечны, что соответствует морфологической картине при отравлении родентицидами – антикоагулянтами. После вскрытия трупный материал и пробы зерна были уничтожены (сожжены) без токсикологического анализа.

На полях, граничащих с зонами обнаружения трупов, численность зайцев-русаков не сократилась и примерно соответствовала наблюдавшейся ранее, что косвенно свидетельствует об отсутствии инфекционного заболевания.

Агрофирма, на полях которой были найдены трупы зайцев, подтвердила применение родентицидов-антикоагулянтов 2-го поколения для ограничения численности мышевидных грызунов. Использовали самодельные механические при-

<sup>4</sup> Здесь и далее: написание русского названия по (Соколов и др., 1994).

**Таблица 1.** Встречаемость следов зайцев-русаков при автомаршруте по воспроизводственному участку в Новониколаевском районе Волгоградской области

Наличие следов зайцев на маршруте 68 км	Присутствуют 5 и более	Единичные 2–4	Отсутствуют 0–1
Сумма отрезков маршрута, км	10.2	19.9	38
Доля маршрута, %	15	29	56

способления для размещения протравленного зерна в поле, что нарушает регламент применения данной группы препаратов. Не были представлены документы о составе препаратов и графиках обработок, использовании специальной техники и оборудования, сведения о специальной профессиональной подготовке сотрудников, допущенных к работе с ними. Под давлением администрации района агрофирма прекратила использование самодельных механических устройств для разбрасывания зерна к концу 2019 г. и не применяла их в 2020 г.

В Новониколаевском районе около 30 лет проводят полевые работы сотрудники ИПЭЭ РАН<sup>5</sup> (сбор материала для исследований<sup>6</sup> системы хищник–жертва с использованием борзых собак). Работа включает поиск и подъемы зайцев в полях, пригодных для преследования борзыми. Были отработаны маршруты движения, несколько изменяющиеся в разные годы, в зависимости от состава растительности<sup>7</sup>, состояния грунта, погодных условий. Жесткая локализация маршрутов и учеты не требовались.

В ноябре–декабре 2019 г. встречи зайцев отсутствовали на многих маршрутах, обеспечивавших стабильную работу в течение последних 15 лет. В отдельных полях провели обследования – пешие маршруты по высокотравью (трава не кошенная, 20–50 см высотой) вдоль полей с озимыми. Использовали борзых в свободном поисковом поведении. На некоторых полях полностью отсутствовали подъемы зайцев, но находили мацерированные трупы (обнаружено более 23 зайцев и один барсук на 20–25 км пешего маршрута 1 человека с 7 собаками). В свободном поисковом поведении борзые проходят большее расстояние, чем человек. Исследования перемещений борзых с помощью посекундной gps-регистрации показали, что их суммарная длина включает значительные индивидуальные вариации и колеблется в пределах 1.2–1.8 маршрута человека, которого они сопровождают (Шубкина и др., 2008, 2010). При-

мерный расчет позволяет полагать, что при длине маршрута человека 25 км, 7 сопровождающих борзых прошли еще 262 км, то есть общая длина маршрутов обследования за 6 дней составила около 300 км. Однако на удалении около 1 км от локаций трупов на соседних полях наблюдались подъемы зайцев.

В январе 2020 г. мы специально обследовали воспроизводственный (закрытый для охоты) участок зайца-русака и прилегающую территорию на автомашине, при высоте снежного покрова 5–10 см. Был выбран день, когда в 10–15 км от обследуемого участка регистрировали от 5 до 15 пересечений следов зайцев на грунтовых дорогах на км маршрута (табл. 1). Установлено, что в легко доступных для сельхозтехники полях следы зайцев отсутствуют или присутствуют в необычно малом количестве. Отдельные следы (до 5 на 1 км) отмечены в труднодоступных для техники участках (грунтовые дороги на склонах оврагов или в низинах, поросших кустарниками). Представленные данные не являются зимним маршрутным учетом, но они свидетельствуют о том, что на значительной части воспроизводственного участка зайца-русака отсутствуют следы его активности.

Инфекционные заболевания домашних кроликов, спектр которых пересекается с таковым у зайцев, летом и осенью 2019 г. в Новониколаевском районе не зарегистрированы, что подтверждает предположение о токсической природе причин падежа. Это подтверждается также скачкообразными изменениями числа встреч зайцев: в ряде полей, где раньше их подъемы были обычны, живые зайцы отсутствовали, но были трупы. Однако число встреч на соседних полях не изменилось.

В январе 2020 г. в нескольких районах Краснодарского края специалисты регионального Министерства природных ресурсов установили массовые (тысячи особей) падежи птиц разных видов (зерноядные, всеядные и хищные) и зайцев-русаков на отдельных участках. Часть собранных тушек отправили на исследование в Кропоткинскую краевую ветеринарную лабораторию, исключившую инфекционные заболевания представленных птиц.

Как и в Волгоградской области, агрофирмы рассыпали протравленное зерно с помощью самодельных устройств (сообщение охотнадзора).

<sup>5</sup> ФБГУН Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова Российской академии наук (ИПЭЭ РАН).

<sup>6</sup> Поддержаны грантами Секции общей биологии отделения биологических наук РАН и РФФИ.

<sup>7</sup> Например, испытания и тренировка борзых не проводятся по полям подсолнечника и вблизи них, по замороженной или размокшей пашне и т.п.

**Таблица 2.** Список тушек птиц и млекопитающих, собранных в Краснодарском крае<sup>8</sup> 24–25 января 2020 г. на двух маршрутах (протяженность около 7 км)

№ п/п	Русское название	Латинское название	Собрано
1	Клинтух	<i>Columba oenas</i>	35
2	Вяхирь	<i>Columba palumbus</i>	2998
3	Заяц-русак	<i>Lepus europaeus</i>	5
4	Сорока	<i>Pica pica</i>	5
5	Сойка	<i>Garrulus glandarius</i>	3
6	Канюк	<i>Buteo buteo</i>	11
7	Зимняк	<i>Buteo lagopus</i>	4
8	Курганник	<i>Buteo rufinus</i>	2
9	Пустельга	<i>Falco tinnunculus</i>	2
10	Болотная сова	<i>Asio flammeus</i>	3
11	Ушастая сова	<i>Asio otus</i>	2

Отличие в том, что с самого начала сведения о массовом падеже поступили в МЧС. Сотрудники Министерства природных ресурсов Краснодарского края обратились в полицию, было возбуждено уголовное дело. Для патологоанатомического вскрытия и исследования на токсиканты в местах массового падежа собраны тушки птиц и млекопитающих 11 видов (табл. 2). Повторных обследований местности не проводили, то есть факты отсроченной гибели не оценивали.

Следует напомнить, что из приведенных в табл. 2 видов животных зерноядными (консументами 1-го порядка) являются голуби и зайцы, в то время как сороки и сойки – всеядные, а еще 6 видов птиц (№№ 6–11) – хищные (консументы 2-го порядка). Отравление консументов 1-го порядка могло происходить при поедании отравленного зерна либо при контакте с ним. Однако хищные птицы – консументы 2-го порядка – могут получить токсиканты только при поедании зерноядных птиц и мышевидных грызунов – консументов 1-го порядка. Таким образом, в Краснодарском крае зарегистрирована передача токсикантов по цепям питания. Наличие бромдиолона подтверждено химическим анализом (каждый в 6 повторностях), доказавшим его присутствие в тканях и содержимом внутренних органов погибших животных (курганник, ушастая сова, канюк, клинтух, полевка из зоба совы). Средние значения (0.005–0.05 мгк/г пробы) у птиц очень малы и более чем вдвое ниже зарегистрированного у полевки, изъятый из желудка канюка (0.09 мгк/г пробы). Учитывая, что до химического анализа трупы более 6 мес. хранили в замороженном состоянии, нельзя исключить частичного распада токсиканта. Тем не менее, 1) факт отравления бромдиолоном был подтвержден на птицах двух трофических уровней; 2) есть основания полагать, что леталь-

ная доза для птиц существенно ниже описанной для грызунов, что, согласно протоколам вскрытий, может быть связано с поступлением препарата через дыхательную систему.

ИПЭЭ РАН зафиксировал факты не регламентного применения ратицидов еще в 2008 г. на территории Ботанического сада МГУ им. М.В. Ломоносова. Отравление собак происходило при хватке и переносе (без поедания) крыс и мышей, при обнюхивании нор и окружающей земли, при обнюхивании обработанного рентицидами зерна, разбросанного на грунте. В результате погибло 8 собак из коллекции Института<sup>9</sup>. Ответственность<sup>10</sup> за не соответствующее правилам применение препаратов на основе бромдиолонов приняла на себя государственная дератизационная станция. Однако запрета на обращение ядов не было, разъяснительную работу с сотрудниками Ботсада не вели и еще три года сотрудники получали яды и также не регламентно сыпали их на грунт, чтобы уменьшить поголовье мышевидных грызунов. После гибели еще 4 собак удалось добиться прекращения применения ядов, благодаря ссылке на действовавший тогда СанПиН (СП 3.5.3.1129-02)<sup>11</sup> – подозрение на отравление почвы рассматривалось как чрезвычайная ситуация. В современном СанПиН (СП 1.2.2584-10) такие определения и нормы действий отсутствуют.

<sup>9</sup> При вскрытиях обнаружены гемorragии в легких, но не в желудке или кишечнике. У части животных отмечена отечность подкожной клетчатки, головного и спинного мозга. Провести токсикологический анализ не удалось, несмотря на обращения в Бюро судебно-медицинской экспертизы Москвы и Московской области.

<sup>10</sup> В 2008 г. для государственной дератизационной станции было достаточно описаний вскрытий.

<sup>11</sup> 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.

<sup>8</sup> Данные по сбору тушек в местах массовой гибели представлены Минприроды и полицией Краснодарского края.

**Таблица 3.** Оценка риска гибели животных при применении родентицидов (по: Erickson, Urban, 2004)

Тип и название родентицида	Первичный риск		Вторичный риск	
	птицы	млекопитающие	птицы	млекопитающие
АК1 Дифацинон	Низкий	Высокий	Варьирует	Высокий
АК1 Хлорофацинон	Низкий или варьирует	Высокий	Низкий	Высокий
АК1 Варфарин	Низкий	Высокий	Низкий	Варьирует
АК2 Бродифакум	Высокий	Высокий	Высокий	Высокий
АК2 Дифетиалон	Высокий	Высокий	Высокий	Высокий
АК2 Бромадиолон	Низкий или варьирует	Высокий	Низкий	Высокий
ИР Бромэталин	Варьирует или высокий	Высокий	Недостаточно данных	Нет данных
ИР Фосфид цинка	Высокий	Высокий	Низкий	Низкий
ИР Холекальциферол	Низкий или варьирует	Высокий	Недостаточно данных	Нет данных

Примечание: АК1 – антикоагулянты 1-го поколения; АК2 – антикоагулянты 2-го поколения; ИР – иные родентициды, не антикоагулянты.

Приведенные факты показывают, что использование родентицидов в РФ не контролируется, но оказывает прямое воздействие на животных.

### ПРИМЕНЕНИЕ РОДЕНТИЦИДОВ – ИСТОРИЯ И СОВРЕМЕННОСТЬ

До распространения антикоагулянтов наиболее часто применяемым родентицидом был фосфид цинка – при смачивании выделяется фосфин, опасный для всех животных. Фосфин ведет к быстрой гибели животных, но обладает резким вкусом и запахом, что делает возможным адаптацию к его применению: грызуны, получившие малые дозы, могут выжить и начинают избегать приманки. Помимо этого, работа с фосфидом цинка (алюминия, магния) требует профессионализма и строгого соблюдения правил техники безопасности при хранении и использовании (он легко активируется при увлажнении и портится), в отличие от антикоагулянтов, поэтому в настоящее время его применяют гораздо реже. Фосфид цинка, как и его аналоги, на протяжении некоторого времени был запрещен, но сейчас опять внесен в Каталог разрешенных препаратов РФ.

Детальный анализ результатов применения разных видов родентицидов сделан полтора десятилетия назад Эриксоном и Урбаном (Erickson, Urban, 2004). В работе “Потенциальный риск девяти родентицидов для птиц и нецелевых млекопитающих”, выполненной по заказу Агентства охраны природы США, проведен анализ так называемых рисков применения токсикантов: первичного (прямое поедание) и вторичного (при поедании добычи или падали). Изучали антикоагулянты 1-го и 2-го поколения и иные препараты. Объектом исследования служили птицы (более 80 видов) и млекопитающие (более 50 видов). Проведено сравнение смертности в зависимости

от способа потребления, дозы, концентрации в приманках. Это позволило оценить возможную опасность гибели животных при контактах с приманками: так называемый первичный риск при прямом контакте с отравленными приманками и вторичный – при опосредованном. Как и следовало ожидать, максимальный первичный риск и у птиц, и у млекопитающих отмечен для фосфида цинка. Вторичный риск при применении быстро распадающегося фосфида цинка оказался менее выражен, в отличие от бродифакума и дифетиалона (Erickson, Urban, 2004). Уровни первичного и вторичного рисков воздействия на нецелевые виды оказались неодинаковы, их сравнение указывает на необходимость дифференцированного подхода при оценке воздействия родентицидов на биоразнообразие (табл. 3).

Приведенные в табл. 3 данные указывают на то, что 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, но скорость их распада, то есть снижение рисков вторичных отравлений. Нельзя забывать, что почти двадцать лет назад были выполнены и опубликованы работы, доказывавшие меньшую опасность фосфидов по сравнению с суперварфаринами (Staples et al., 2003).

Данные, приведенные в табл. 3, также указывают на то, что первичные риски для млекопитающих достаточно высоки во всей линейке перечисленных веществ. Но риски вторичного отравления различны – они значительно выше при применении антикоагулянтов 2-го поколения.

В 2011 г. в РФ для истребления мышевидных грызунов были разрешены 18 антикоагулянтов 2-го поколения на основе производных оксикумарина

(бродифакума, бромадиолона и флюкумафена) и производных и изомеров фенацина (Яковлев, Бабич, 2011). Антикоагулянты 1-го поколения также находятся в свободной продаже. В настоящее время список разрешенных средств дополнен препаратами быстрого действия на основе фосфидов цинка, алюминия и магния.

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). Госстандарт (ГОСТ Р 58481-2019) регламентирует “внешний вид, плотность, массу, а также содержание действующего вещества в родентицидных средствах” — но не оценку их присутствия в организмах животных и человека. Отечественных работ по изучению содержания этих препаратов у человека и животных в WoS не найдено, хотя Г.М. Галстян с соавт. (2020) упоминают о токсикологическом исследовании больных людей при массовом отравлении. Присутствие суперварфаринов в пробах крови человека обсуждается в работе Г.В. Захаровой с соавт. (2019).

Наиболее распространены препараты на основе бромадиолона и бродифакума. Их принято считать препаратами кишечного действия, сочетающимися комбинированный механизм с острым эффектом: по острой токсичности при введении в желудок относятся к чрезвычайно опасным веществам. Отмечено кожно-резорбтивное действие (Иваницкая и др., 2011). ЛД<sub>50</sub> бромадиолона для разных видов млекопитающих варьирует на порядок: для кабана составляет 3 мг/кг, а для крыс — 150 мг/кг (Poché et al., 2018). 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. Проводимый нами анализ результатов вскрытий птиц, погибших от отравления, свидетельствует о поступлении смертельных доз токсиканта через дыхательные пути. Однако в массовом сознании суперварфарины принято считать низко токсичными.

Что именно известно про практику и следствия применения этих родентицидов?

Еще в 1990-х гг. (с расширением применения антикоагулянтов 2-го поколения) описаны случаи отравления голубей и куропаток, серых цапель, водоплавающих и хищных птиц (Lamarque et al., 1999, цит. по Guitart, 2009), лисиц и расклевывающих их орлов (Antoniou et al., 1996, цит. по Guitart, 2009). Отравление признано причиной гибели

ли половины (52.6%) диких птиц, поступивших на токсикологический анализ в Греции за 6 лет (Antoniou et al., 2005, цит. по Guitart, 2009). Второй по распространенности группой животных, систематически гибнущих при применении родентицидов, принято считать зайцеобразных (Edwards et al., 2000, цит. по Guitart, 2009).

Передача антикоагулянтов в пищевых цепях описана давно, неоднократно, в разных странах и на разных континентах (Morriss et al., 2005). Наиболее емкой представляется работа (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. “Наименее опасным для хищников и падальщиков оказался фосфид цинка: за годы исследований не было выявлено ни одного случая гибели подопытных животных при поедании ими грызунов, отравленных этим ядом, хотя и регистрировались случаи интоксикации. В опытах с антикоагулянтами 1-го поколения (хлорофацинон, куматетралил и варфарин) гибель птиц была зарегистрирована лишь в одном случае, гибель млекопитающих, напротив, наступала после 3-дневной экспозиции. Антикоагулянты 2-го поколения (бродифакум, бромадиолон, дифенакум и флюкумафен) вызывали гибель подопытных птиц после их кормления отравленными грызунами в течение всего нескольких дней, в исключительных случаях — 1 дня. Гибель млекопитающих наступала спустя 3 дня” (Милевская, 2000, с. 510).

Современные исследования доказывают передачу родентицидов по пищевым цепям. Антикоагулянты, преимущественно 2-го поколения, обнаружены у 68% из 344 исследованных хищных птиц и млекопитающих в Испании (López-Perea et al., 2015), найденных мертвыми или агонизирующими. Бромадиолон и бродифакум, использовавшиеся для борьбы с мышами, определены как причина гибели койотов в пригородах Денвера (Poessel et al., 2015).

Многолетние исследования кунных 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 хорей (*Mustela putorius*, n = 69). В Испании встречаемость суперварфаринов в тканях диких животных — конкурентов 2-го порядка положительно коррелирует с урбанизацией (Lopez-Perea et al., 2019), то есть 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

Существует передача бромидиолонов в пищевые продукты человека — они могут присутствовать в молоке, поэтому в Швейцарии разрабатываются методы их детекции при производстве йогурта путем подбора бактериальных культур, прекращающих рост в их присутствии (Nathurusinghe, Ibrahim, 2012, 2016).

Зарегистрированы прямые отравления людей родентицидами — но до последних лет анализ был ограничен случаями суицидов и случайных отравлений, при которых установление токсиканта не требуется и не проводится (что описано далее). Подробно описаны клинические симптомы в период пребывания в стационаре, процедура детоксикации (Зобнин и др., 2013). Сделано патологоанатомическое описание изменений головного мозга при отравлении родентицидами (Ивлева и др., 2017), дано описание методами магнитно-резонансной томографии (Wang et al., 2017). 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). 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: у всех обследованных отмечены сублетальные дозы бродифакума, и/или дифенакума, и/или бромидиолона (Devgun et al., 2020). В Самарской и Ульяновской областях в 2019 г. произошло массовое (80 установленных пациентов) отравление подсолнечным маслом (Галстян и др., 2020). Масло было изготовлено из семян подсолнечника, обработанных родентицидами. У всех пациентов наблюдался геморрагический синдром. Анализы, сделанные у части пациентов, подтвердили наличие антикоагулянтов в крови и в использовавшемся масле.

Сравнительный анализ отравлений показывает, что препараты, действующие не остро — антикоагулянты 2-го поколения, в практике применения гораздо опаснее многих, применявшихся ранее (антикоагулянты 1-го поколения, иные родентициды, табл. 3). Это связано со способностью к накоплению и длительностью их выведения. Так, например, полувыведение варфарина у крысы происходит менее чем за 2 сут (40 ч), а для бродифакума достигает 180 дней (Erickson, Urban, 2004). У человека период полувыведения бродифакума колеблется от 10 до 69 сут (243–1656 ч) (Галстян и др., 2020).

Современные данные показывают высокую опасность суперварфаринов: по лимитирующему показателю токсичности и опасности родентицидных средств — кумулятивному эффекту (средства относятся к 1-му классу чрезвычайно опасных по действующей классификации токсичности и опасности родентицидов). Бромидиолон 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 исследований химических препаратов на основе бромидиолонов, но не для анализа отравления ими животных и человека.

Представленный краткий обзор показывает сочетание высокой опасности антикоагулянтов 2-го поколения с крайне низкой вероятностью их своевременного обнаружения. Особо опасно отсутствие научно обоснованных тактик, стратегии и контроля применения токсикантов, включая родентициды и другие химически активные вещества, влияющие на представителей животного мира и человека. Хищные животные являются индикаторными видами химико-биологической опасности.

### ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

Массовое использование родентицидов в агроценозах и природных системах происходит в ходе двух частично пересекающихся процессов: при общих обработках полей и при обнаружении локальных очагов особо опасных инфекций (чумы, туляремии и др.). Общую обработку полей проводят по своему усмотрению сельхозпроизводители, а контролем численности носителей ООИ (особо опасные инфекции) занимаются специалисты противочумной системы.

Деятельность специалистов противочумной системы (входит в состав Роспотребнадзора) направлена на предотвращение вспышек особо опасных природных заболеваний. Она включает «организацию и проведение санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий при возникновении чумы и других особо



опасных, природно-очаговых и зоонозных инфекционных заболеваний, их лабораторную диагностику; соблюдение требований специальной техники безопасности работ с микроорганизмами I–II групп патогенности” (Приказ Федеральной службы по надзору ... № 274, 2015). В РФ существует 19 Федеральных противочумных учреждений, однако их задачи включают противоэпидемические мероприятия, но не установление токсикантов, сбор и доставку материалов для анализа.

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

Информация исследователей естественных биосистем об использовании родентицидов ограничена. Родентициды применяют после посева озимых, до наступления холодов, осенью и в начале зимы, тогда как полевые исследования зоологов и экологов происходят преимущественно в периоды максимальной активности грызунов — весной и летом. Поэтому биологи лишены информации об обработках, и вопрос о возможном долговременном воздействии на животных просто не встает. При этом сроки обработки (до наступления холодов) затрудняют сбор и доставку для исследований погибших животных — 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 (Приказ Минздравсоцразвития № 564н, 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 известно, какие именно организации могут производить анализы и устанавливать конкретные

токсиканты — если не считать единичные коммерческие фирмы, обеспечивающие анализы и сопровождение материалов при судебных спорах по очень высоким ценам, недоступным для сельских районов.

Следует констатировать, что даже при своевременном обнаружении массового отравления диких животных, быстрое и правильное определение причин этого события маловероятно. Следовательно, отсутствует принципиальная возможность защиты людей.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В современном российском законодательстве о применении родентицидов используется устаревшая классификация животных — подразделение их на полезных и вредных, поэтому гибель многих представителей нецелевых видов рассматривается априори как положительное явление. Однако гораздо важнее отсутствие в нормативных документах упоминания о возможности передачи химических веществ по цепям питания, что подтверждено результатами исследования проб из Краснодара и литературными данными. Биологические и охотничьи ресурсы в документах Минсельхоза не упомянуты, игнорируется существование пищевых цепей.

Гибель хищных птиц (консументов 2-го порядка) свидетельствует о получении достаточных доз яда от погибших травоядных (консументов 1-го порядка) — то есть о передаче по трофическим цепям. Таким образом, отравление хищных как летающих, так и наземных доказывает возможность поступления токсикантов в организм человека, сочетающего свойства консументов 1-го и 2-го порядков. Отравление птиц, связанных с водоемами, прежде всего цапель, питающихся рыбами и земноводными, свидетельствует о поступлении токсикантов в воду и о возможности отравления человека также и этим путем. Факты, упомянутые выше (присутствие бромдиолона в молоке и подсолнечном масле), подтверждают, что эта возможность может быть реализована на практике. Реакция хищников — их гибель — означает недопустимый уровень использования токсикантов.

Системный контроль применения современных родентицидов в РФ отсутствует. Как отмечено выше, не существует структур, в обязанности которых входит контроль качества и фактического применения родентицидов, находящихся в свободной продаже. Последние десять (после 2011 г.) лет в России никак не отслеживается производство, хранение, реализация и применение агрохимикатов при обработке полей. Согласно действующему законодательству, Россельхознадзор

лишен полномочий по надзору в этой области, но при этом их не передали никакой другой структуре.

Анализ литературы показывает, что: а) при использовании родентицидов существуют массовые отравления диких животных, основанные на передаче по пищевым цепям; б) в свободной продаже находятся токсиканты, вероятность диагностики которых крайне ограничена; в) в РФ отсутствует надзор за составом, производством, хранением, реализацией и применением токсикантов; г) во всем мире токсиканты поступают в продукты питания, что приводит к массовым отравлениям. Однако в нашей стране эти проблемы остаются вне поля зрения биологов; не проводятся исследования влияния современных родентицидов на природные системы и биологическое разнообразие.

Отрицать необходимость применения агрохимии невозможно, но ее биологические и экосистемные последствия требуют научных исследований и мониторинга. Представленный обзор литературы и некоторые факты применения родентицидов доказывают существование угрозы биологической безопасности в области, сочетающей воздействие химических и биологических факторов. Отсутствие физических границ агроценозов позволяет использовать сведения о состоянии диких животных в качестве индикаторной системы для прогнозирования возможных рисков.

#### БЛАГОДАРНОСТИ

Первичный сбор материала организован администрацией Новониколаевского района Волгоградской области и сотрудниками Министерства природных ресурсов Краснодарского края. Патологоанатомические исследования выполнены в ИПЭЭ РАН при участии специалистов: гистолога 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. Авторы выражают всем глубокую благодарность.

#### ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках госзадания ИПЭЭ РАН.

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей и животных в качестве объектов исследований.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Андреев С.В., Беляев Е.С., Ищенко А.А. Новый универсальный метод для определения антикоагулянтов второго поколения в родентицидах // Изв. вузов. Химия и хим. технол. 2019. Т. 62. № 1. С. 85–90.
- Галстян Г.М., Давыдкин И.Л., Николаева А.С. и др. Случай массового отравления антикоагулянтными родентицидами // Гематол. и трансфузиол. 2020. Т. 65. № 2. С. 174–189.
- Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации 2020. М.: Минсельхоз России, 2020. Часть 2. 51 с. <http://mcx.ru/ministry/departments/departament-rasteniievodstva-mekhanizatsii-khimizatsii-i-zashchity-rastenyi/industry-information/info-gosudarstvennaya-usluga-po-gosudarstvennoy-registratsii-pestitsidov-i-agrokhimikatov/>
- ГОСТ Р 58481-2019. Средства родентицидные. Методы определения физико-химических показателей // <https://docinfo.ru/gost-r/gost-r-58481-2019/>
- Заева Г.Н., Мальцева М.М., Березовский О.И. и др. Риск вторичных отравлений нецелевых видов при использовании дератизационных средств // Дезинфекционное дело. 2004. № 3. С. 5–64.
- Зобнин Ю.В., Кутателадзе Р.Г., Малых А.Ф. и др. Острые отравления антикоагулянтами по данным Иркутского токсикологического центра // Сиб. мед. журн. 2013. Т. 120. № 5. С. 131–134.
- Захарова Г.В., Пашовкина 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.
- Иваницкая Е.Г., Кочергина-Никитская Е.В., Шастова Л.А. Инструкция № 45-11 от 21.02.2011 г. по применению средства родентицидного “Бромцид-Флюид”. ЗАО “Научно-коммерческая фирма “РЭТ”, Россия: НЧНОУ “Институт пест-менеджмента”, 2011. 8 с. [https://dez-sredstva.com/svidet\\_instruct/rodent\\_concentr/bromocid-fljuidin.pdf](https://dez-sredstva.com/svidet_instruct/rodent_concentr/bromocid-fljuidin.pdf).
- Ивлева Е.А., Богомолов Д.В., Путинцев В.А., Бужешов М.К. Особенности морфологических проявлений переживания отравления родентицидом // Декабрьские чтения по судебной медицине. РУДН. 2017. С. 38–41.
- Мансурова Р.Г., Кубасова Н.В., Попкова В.В., Юсупова Ф.Г. Изолирование карбофурана из биологического материала, его идентификация и количественное определение // Актуальные вопросы судебной медицины и права / Ред. В.А. Спиридонов, Н.Ш. Нигматуллин. Казань, 2010. Т. 1. С. 123–127.
- Милевская И.А. Действие родентицидов на хищников и падальщиков, поедающих отравленных грызунов. Реферат // Экол. безопасн. в АПК. Реф. Журн. 2000. № 3. С. 510.
- Нестерова Д. Химические обработки полей представляют особую опасность для людей, животных и насекомых / Россельхознадзор о массовой гибели пчел под Омском // Информационное агентство “Новый Омск”. 03.07.2020. [https://newsomsk.ru/news/104376-ximicheskie-obrabotki\\_poley\\_predstavlyayut\\_osobuyu](https://newsomsk.ru/news/104376-ximicheskie-obrabotki_poley_predstavlyayut_osobuyu).

- Приказ № 274 Федеральной службы. Приказ Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека от 1 апреля 2015 г. № 274 “Об организации деятельности системы противочумных учреждений Роспотребнадзора”. 2015. 24 с.
- Приказ № 564н. Минздравсоцразвития // Приказ от 28 августа 2017 г. № 564н “Об утверждении правил транспортировки биологического материала...”. 2017. 5 с.
- Рыльников В.А. Управление численностью проблемных биологических видов: Учебное пособие // Т. 3. Дератизация / Ред. В.А. Рыльников. 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 // <http://docs.cntd.ru/document/901824665>.
- СанПиН 1.2.2584-10. СП 1.2.2584-10 Гигиенические требования к безопасности процессов испытаний, хранения, перевозки, реализации, применения, обезвреживания и утилизации пестицидов и агрохимикатов // <http://docs.cntd.ru/document/902204851>.
- Шубкина А.В., Северцов А.С., Чаинов Н.В. Методические аспекты применения аппаратно-программного комплекса на базе GPS для характеристики передвижений и поведения животных степной и лесостепной зон // Зоол. журн. 2008. Т. 87. № 11. С. 1–11.
- Шубкина А.В., Северцов А.С., Челелева К.В. Изучение охотничьего поведения борзых с помощью gps-регистрации: количественная характеристика поиска и преследования жертвы // Зоол. журн. 2010. Т. 89. № 2. С. 238–253.
- Яковлев А.А., Бабич Н.В. Родентициды // Защита и карантин растений. 2011. № 10. С. 42–44.
- Antoniou V., Zantopoulos N., Skarsis D., Tsoukali-Papadopoulou H. Pesticide poisoning of animals of wild fauna // Vet. Hum. Toxicol. 1996. V. 3. P. 212–213.
- Binev R., Valchev I., Russenov A., Nikolov Y. Investigations on some chemical indices in blood of dogs after experimental acute intoxication with the carbamate insecticide carbofuran // Int. J. Adv. Res. 2016. V. 49. № 2. P. 108–115.
- Carbofuran poisoning at the interface between wildlife, livestock and humans. Report. Wildlife Conservation Society, LACANET, 2016. 17 p.
- Chong Y.-K., Mak T.W.-L. Superwarfarin (long-acting anticoagulant rodenticides) poisoning: from pathophysiology to laboratory-guided clinical management // Clin. Biochem. Rev. 2019. V. 40. № 4. P. 175–185.
- Devgun J.M., Rasin A., Kim T. et al. An outbreak of severe coagulopathy from synthetic cannabinoids tainted with long-acting anticoagulant rodenticides // Clin. Toxicol. 2020. V. 58. № 8. P. 821–828.
- 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 // Agr. Ecosyst. Environ. 2000. V. 79. P. 95–103.
- 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 // Sci. Tot. Environ. 2018. V. 612. P. 1358–1364.
- Erickson W., Urban D. Potential risks of nine rodenticides to birds and nontarget mammals: a comparative approach. Washington DC: United States Environmental Protection Agency, Office of Prevention, Pesticides and Toxic Substance, 2004. 225 p.
- Feinstein D.L., Akpa B.S., Ayee M.A. et al. The emerging threat of superwarfarins: history, detection, mechanisms, and countermeasures // Ann. N.Y. Acad. Sci. 2017. V. 1374. № 1. P. 111–122.
- Guitart R., Sachana M., Caloni F. et al. Animal poisoning in Europe. Part 3: Wildlife // Veterin. J. 2009. V. 183 (3). P. 260–265.
- Hathurusinghe M.H., Ibrahim S.A. Survival and growth of yogurt culture in MRS broth in the presence of selected rodenticides // Milchwissenschaft. 2012. V. 67. № 1. P. 51–54.
- Hathurusinghe M.H., Ibrahim S.A. Influence of brodifacoum and bromadiolone on growth of yoghurt cultures in milk // Int. J. Dairy Technol. 2016. V. 69. № 1. P. 51–56.
- Joermann G. A review of secondary-poisoning studies with rodenticides // Bull. OEPP/EPPO Bull. 1998. V. 28. № 1/2. P. 157–176.
- Lamarque F., Artois M., Berny P., Hatier C. Réseau SAGIR: douze ans de toxicovigilance // Bull. Mens. Off. Nat. de la Chasse. 1999. V. 246. P. 18–26.
- Liu Q., Zhou L., Zheng N. et al. Poisoning deaths in China: type and prevalence detected at the Tongji Forensic Medical Center in Hubei // Forensic Sci. Int. 2009. V. 193. P. 88–94.
- López-Perea J.J., Camarero P.R., Molina-Lopez R.A. et al. Interspecific and geographical differences in anticoagulant rodenticide residues of predatory wildlife from the Mediterranean region of Spain // Sci. Tot. Environ. 2015. V. 511. P. 259–267.
- Lopez-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 // Environ. Poll. 2019. V. 244. P. 801–808.
- Masuda B.M., Fisher P., Beaven B. Residue profiles of brodifacoum in coastal marine species following an island rodent eradication // Ecotoxicol. Environ. Saf. 2015. V. 113. P. 1–8.
- Morgan A.M. Teratogenic effect of the coumarinic anticoagulant rodenticide, racumin in white rats // J. Egypt. Soc. Toxicol. 2006. V. 34. P. 5–14.
- Morriss G., Nugent G., Fisher P. Exposure of feral pigs to brodifacoum baiting for rodent control. DOC Science Internal Series Ser. 194. Wellington, New Zealand: Dept. of Conservation, 2005. 16 p.
- Poché R.M., Poché D., Franckowiak G. et al., Field evaluation of low-dose warfarin baits to control wild pigs (*Sus scrofa*) in North Texas // PLoS One. 2018. V. 13. № 11. P. e0206070.
- 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 // J. Wildl. Dis. 2015. V. 51. Iss. 1. P. 265–268.

- Ruiz-Suárez N., Rial C., Boada L.D. et al. Are pet dogs good sentinels of human exposure to environmental polycyclic aromatic hydrocarbons, organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls? // *J. Appl. Anim. Res.* 2015. V. 44 (1). P. 135–145.
- Shilova S.A., Tchabovsky A.V. Population response of rodents to control with rodenticides // *Curr. Zool.* 2009. V. 55 (2). P. 81–91.
- Staples L., Smith M., Pontin K. Use of zinc phosphide to overcome rodent infestations // *Proceedings of the Australian postharvest technical conference, Canberra. CSIRO Stored grain research laboratory, Canberra.* 2003. P. 110–115.
- Thompson L.A., Darwish W.S. Environmental chemical contaminants in food: review of a global problem // *J. Toxicol.* 2019. V. 6. P. 1–14.
- Watts M. Poisoning our future: PAN Asia Pacific launches book on insidious effects of pesticides on children. PAN AP, 2013. 168 p.
- Wang M., Yang Y., Hou Y. et al. Effects of bromadiolone poisoning on the central nervous system // *Neuropsych. Dis. Treat.* 2017. V. 13. P. 2297–2300.
- Yegambaram M., Manivannan B., Beach T., Halden R. Role of environmental contaminants in the etiology of Alzheimer's disease: a review // *Curr. Alzh. Res.* 2015. V. 12. № 2. P. 116–146.
- Zuo W., Zhang X., Chang J. et al. Bromadiolone poisoning leading to subarachnoid haemorrhage: a case report and review of the literature // *J. Clin. Pharm. Ther.* 2019. V. 44 (6). P. 958–962.

## Rodenticides and Wildlife Deletion

E. V. Erofeeva<sup>a</sup>, Ju. E. Surkova<sup>b</sup>, and A. V. Shubkina<sup>a, \*</sup>

<sup>a</sup> *Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

<sup>b</sup> *Moscow Pedagogical State University, Moscow, Russia*

\*e-mail: annashubkina@rambler.ru

Contamination with chemical products used in agricultural activities is the largest human food safety problem, but their use cannot be completely ruled out. The particular importance belongs to rodenticides, which affect mammals, birds and humans not only directly, but also indirectly. This is largely due to the fact that since the end of the twentieth century, are used anticoagulants of the second generation, the so-called superwarfarins. Their advantage is the apparent simplicity of storage and use, which led to the formation of an erroneous idea of the conditional harmlessness of this group of drugs. A brief history of the use of rodenticides, their effects on animals, birds and humans is presented. Only in recent decades the sublethal effects and accumulation of superwarfarins begun to be intensively investigated. It has been established that these drugs cause a wide range of negative effects on mammals and birds, including damaging effects on the respiratory, vascular and nervous systems, although different species of animals differ in sensitivity to them. Moreover, the transmission of these drugs along the food chain has been proven, leading to the death of not only representatives of the fauna, but also humans. For the first time, data was collected on the consequences of the use of superwarfarins in some natural systems of the southern regions of the Russian Federation. The facts of mass death of consumers of the 1st and 2nd order (birds and mammals, the so-called non-target species), directly related to their use, are given. Analysis of the literature shows that: when using rodenticides, there are massive poisoning of wild animals and birds, based on transmission along the food chain; there are toxicants on the free market, the probability of diagnosis of which is extremely limited; in the Russian Federation, there is no supervision over the composition, production, storage, sale and use of toxicants; toxicants enter human food products, which leads to mass poisoning of people in different countries. However, in our country these problems remain outside the field of vision of biologists; there is no study of the effect of modern rodenticides on natural systems and biological diversity. Practical aspects that complicate the work are mentioned. The high danger of superwarfarins is combined with an extremely low probability of their early detection. It is concluded that the death of predatory animals – consumers of the 2nd order is an indicator of the presence of a threat to biological safety in the area that combines the impact of chemical and biological factors.

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