

Оценка вероятности принудительной гибели серой крысы (*Rattus norvegicus* Berk) в условиях непрерывной дератизации

Рыльников В. А., доктор биол. наук, НЧНОУ «Институт пест-менеджмента», Московская обл., 142155, пгт. Львовский, проезд Metallургов, дом 9
Тучкова Н. П., ФГБУН «Вычислительный центр им. А. А. Дородницына Российской академии наук» (ВЦ РАН), Москва, 119333, ул. Вавилова, 40, e-mail: tuchkova@ccas.ru

Предложен алгоритм расчета эффективности действий оператора на всех этапах борьбы с серыми крысами (*Rattus norvegicus* Berk), начиная от размещения средств (химических, механических, прочих) в пространстве до освобождения объекта с последующей оценкой вероятности восстановления численности. Рассмотрена вероятность успеха мероприятий при комбинации средств борьбы. Приняты в расчет изменения в популяции, происходящие в разные календарные периоды года. Предложенная методика расчета может быть использована для прогноза освобождения объектов от крыс и повторного заселения ими.

Ключевые слова: устойчивость популяций, независимые способы воздействия, освобождение объекта от крыс, восстановление численности серой крысы, емкость среды обитания.

Предметом настоящего сообщения является оценка вероятности освобождения объекта от серых крыс (*Rattus norvegicus* Berk) при условии определенного применения методов, способов, приемов борьбы с ними и рассмотрение некоторых общих подходов к управлению популяцией серой крысы в условиях «остаточной» численности при непрерывной дератизации.

Материалы и методы

Анализ литературных источников и исследования проведены В. А. Рыльниковым.

Качественный и количественный контроль уровня потребления родентицидной приманки и родентицидного покрытия в условиях естественного обитания серых крыс.

В приманку добавляли сульфиды металлов, в частности, в геркулес с 10% сахара (0,5% к весу приманки) и в пшеничную муку с 10% сахара добавляли сульфид цинка (1% к весу приманки), с последующим количественным определением соответствующих катионов в экскрементах серой крысы. Сульфид меди и сульфид цинка – соли, практически нерастворимые в воде, слабых щелочах и кислотах, проходят через желудочно-кишечный тракт не всасываясь и полностью выделяются с экскрементами. Качественное и полуколичественное определение сульфидов металлов в экскрементах крыс из подготовленных проб проводили методом осадочной хроматографии. В приманку на основе геркулеса добавляли также хлортетрациклин (ХТ – 1%), в пшеничную муку – тетрациклин (Т – 1%). В родентицидное

покрытие на основе вазелина и талька (1:1) с 0,5% варфарина добавляли 5% тетрациклина гидрохлорида. Т и ХТ были обнаружены в костях серых крыс по желтой флуоресценции в УФ-свете. После экстракции из костей, проводили качественную идентификацию ХТ и Т методом бумажной хроматографии. Антибиотики из группы тетрациклина были обнаружены также в костях и на срезах передних резцов серых крыс по желтой флуоресценции в УФ-свете (рис. 1).

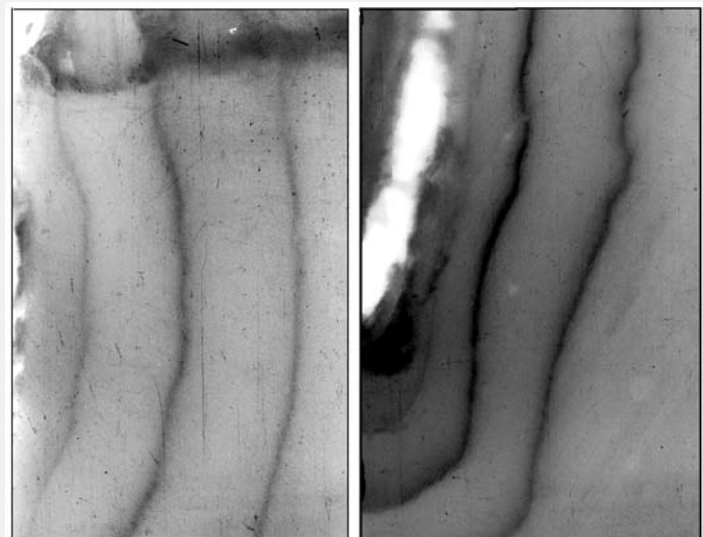


Рис. 1. Поперечный срез верхних резцов серой крысы в ультрафиолетовом свете. Суточные отложения окситетрациклина в малых дозах (слева) и в больших дозах (справа)

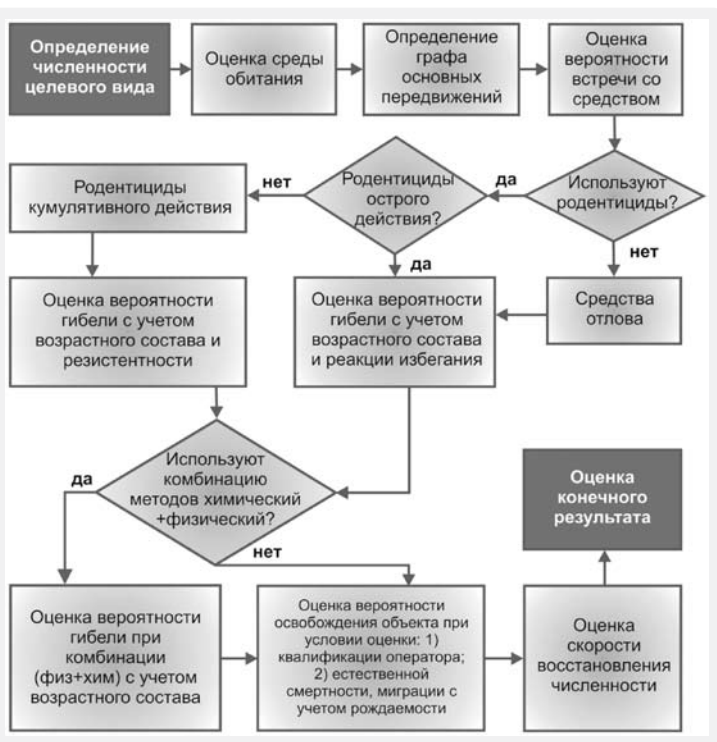


Рис. 2. Алгоритм проведения оценки вероятности освобождения объекта от серых крыс и его повторного заселения

Количественный контроль уровня потребления родентицидной приманки в условиях лабораторного содержания серых крыс проводили путем оценки количества съеденной приманки в условиях выбора альтернативного корма с экспозицией в течение 14 дней.

Оценка отдельных этапов управления численностью серых крыс проводилась следующим образом: а) определение численности серых крыс, оценка благоприятности среды обитания, определение графа основных передвижений, оценка вероятности встречи со средством; б) оценка

результатов снижения численности химическим и физическим методами с использованием различных способов и приемов как отдельно, так и в различных комбинациях. Для оценки событий, происходящих на всех этапах истребления серой крысы и восстановления численности, использованы положения теории вероятностей.

Результаты

Алгоритм проведения оценки вероятности освобождения объекта от серых крыс и его повторного заселения представлен на рисунке 2.

Оценка вероятности обнаружения контрольно-истребительного контейнера за 1 сутки.

Рассмотрим рисунок, описывающий преимущественные направления движения серой крысы на плоскости (как правило, вдоль стен и перегородок) и точки пересечений этих направлений, которые мы будем называть «перекрестками» – вершины графа (рис. 3 – по Мелковой, 1987).

Рассмотрим граф G – схема возможных путей перемещения крысы с множеством V вершин – точек пересечения этих путей. Выбираем такие перекрестки, где активность грызунов оказывается максимальной. Размещение там контейнеров со средствами дератизации может оказаться достаточным условием того, чтобы их посетили все грызуны, обитающие на данной территории.

Пусть:

- вершина «степени i » – это точка, через которую проходит путей перемещения крысы, а r_i – количество таких вершин;
- k – максимальное количество путей, проходящих через одну точку (вершину графа), а r_k – количество таких вершин;
- A – событие «крыса посетит контейнер за 1 сутки»;
- B – событие «крыса съест приманку»;
- C – событие «крыса пройдет через вершину степени k за 1 сутки».

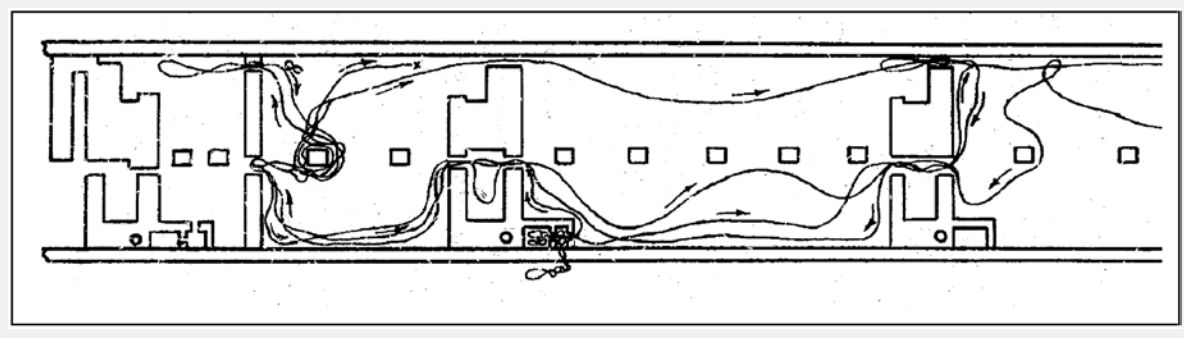


Рис. 3. Наиболее предпочитаемые пути перемещения серой крысы в подвале жилого дома (визуальные наблюдения в течение двух часов)

Будем считать события A , B и C независимыми, хотя, строго говоря, это не так. Например, после получения при первом подходе сублетальной дозы, при втором подходе к приманке грызун может отрицательно относиться не только к приманке, но и к контейнеру. Тем не менее степень зависимости вышеупомянутых событий признаем ничтожной.

s – количество контейнеров, расставленных в вершинах со степенью k .

Вероятность $P(C)$, что крыса посетит одну из вершин за 1 сутки, где пересекается k путей, равна следующей величине:

$$P(C) = kr_k / \sum_{i=1}^k ir_i$$

при условии, что вероятность посещения крысой одного из таких перекрестков не будет зависеть от посещения ей других.

AC – это событие «крыса пройдет через вершину со степенью k и посетит контейнер».

Соответственно, вероятность событий $P(A)$ и $P(AC)$:

$$P(A) = s/r_k$$

$$P(AC) = P(C)P(A) = \frac{kr_k}{\sum_{i=1}^k ir_i} \times \frac{s}{r_k} = \frac{sk}{\sum_{i=1}^k ir_i}$$

Оптимальной частотой расстановки средств можно считать такую, при которой $P(AC)_t$ за 7 дней не меньше 0,95 ($P(AC)_t > 0.95$ за время $t = 7$ суток). Пусть t – время, необходимое крысе для поиска контейнеров, тогда за t суток событие AC произойдет с вероятностью

$$P(AC)_t = 1 - (1 - P(AC))^t$$

Если это условие не выполняется, то количество контейнеров должно быть увеличено за счет расстановки в вершинах со степенью $k-1$, а также в вершинах меньшей степени.

Оценка вероятности контакта серой крысы со средством внутри контейнера.

Родентицидная приманка внутри контейнера. Если предположить, что контейнеры расставлены правильно и вероятность встречи с ними серой крысы стремится к 1, тогда на следующем шаге мы должны оценить вероятность следующих событий.

Пусть событие $(BAC)_t$ – «съел приманку и погиб за время t ». Событие $(BAC)_t$ отражает гибель случайной крысы без учета ее возраста.

Согласно нашим данным, вероятность события $(BAC)_t$, а именно $P(BAC)_t$ в лабораторных и полевых экспериментах, как правило, не превышает 0,9 для ядов кумулятивного действия,

Таблица 1

Крысы, съевшие геркулес с 0,025% варфарина, 1% хлортетрациклина и 10 % сахара		Крысы, съевшие муку с 0,025% варфарина, 1% тетрациклина и 10 % сахара		Крысы, съевшие обе приманки	
число крыс	доля крыс, съевших приманку	число крыс	доля крыс, съевших приманку	число крыс	доля крыс, съевших приманку
51	0,82	24	0,40	19	0,30

Таблица 2

Количество выживших и погибших крыс на участках с разным набором средств истребления, в период с января по июнь 1987 г.

№ участка	Средство истребления	Число выживших	Число погибших	Доля погибших, %
1 (зима)	Вазелиновая паста с 0,5% варфарина и (одновременно) приманка с 0,025% варфарина	11	51	82,3
2 (зима)	Приманка с 0,025% варфарина	13	10	43,5
3 (лето)	Вазелиновая паста с 0,5% варфарина	22	88	80,0

$P(BAC)_t < 0.9$; для ядов острого действия не превышает 0,7.

Вероятность $P(BAC)_t$ при увеличении привлекательности средства стремится к 1 даже в условиях невысокой численности серой крысы и низкой частоты расстановки средств. Высокая привлекательность средства обеспечивает в конечном счете высокую гибель серой крысы.

Как показали наши эксперименты, доля серых крыс, съевших приманку на основе геркулеса, была в два раза больше по сравнению с долей съевших приманку на основе муки, разложенную одновременно с геркулесом. Однако среди крыс присутствовали такие, которые съели два вида родентицидных приманок (табл. 1).

Согласно теореме сложения вероятностей суммарная расчетная вероятность поедания любой из двух приманок или обеих одновременно (используем экспериментальные данные из табл. 1) будет равна 0,92. При этом вероятность гибели, равная отношению погибших (148) зверьков к их общему числу (247), составила 0,60. Как видно, разница между долей крыс, съевших приманку и погибших от этой приманки, весьма велика, поэтому вероятность обоих событий правильнее рассматривать в отдельности.

При одновременном применении родентицидных приманок и покрытий (дуста или пасты) гибло больше серых крыс, чем при их применении по отдельности (наши данные) (табл. 2).

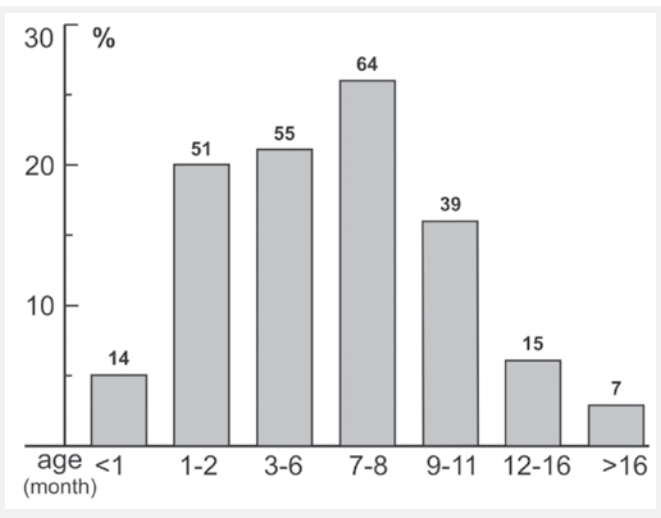


Рис. 4. Возрастной состав популяции серых крыс, отловленных в апреле – мае в подвалах многоэтажных жилых домов

Двукратная разница в показателях эффективности пасты связана с низкими адгезивными свойствами пасты зимой по сравнению с летними экспериментами. Согласно теореме сложения вероятностей, суммарная вероятность поедания приманки или контакта с пастой составит 0,89, что сопоставимо с экспериментальными данными (0,83).

Таким образом, оправдано одновременное применение двух и более родентицидов в форме приманок или покрытий, хотя эти способы в большей мере зависимы¹, чем родентицидные приманки и ловушки.

Оценка вероятности отлова серой крысы механическими средствами (ловушки Геро и дуговые капканы).

H – событие «попадет в капкан»;

$(HAC)_t$ – событие «попалась в капкан за дней» с соответствующей вероятностью,

$P(HAC)_t$ при условии расстановки капканов в вершинах степени k , то есть в наиболее часто посещаемых крысами местах (рис. 4).

Вероятность $P(HAC)_t$ полного отлова серых крыс за 30 дней дуговыми капканами №0 составляет 0,9.

Оценка вероятности гибели серой крысы от родентицидной приманки среди молодых и взрослых особей.

Пусть событие F_{sad} – к приманке подойдет молодой зверек, а событие F_{ad} – к приманке подойдет взрослый зверек. Вероятности этих событий

$P(F_{sad})$ и $P(F_{ad})$ будут равны встречаемости этой возрастной группы среди прочих в популяции или, иначе, доли одной возрастной группы по сравнению с другой.

События F_{sad} и F_{ad} являются несовместными. Доля младших возрастных групп летом будет достигать 0,6, а зимой опускаться до нуля в средних и северных или до 0,1-0,2 в южных широтах в зависимости от доли размножающихся самок (рис. 4).

Для упрощения обозначений событие (BAC), «съел приманку и погиб за время t » примем равнозначным событию D .

Пусть событие D_{sad} – «погибнет молодой», D_{ad} – «погибнет взрослый», а $P(D_{sad})$ и $P(D_{ad})$ – соответствующие вероятности этих событий за время t .

Расчет вероятности гибели крыс каждой из возрастных групп следует вести с учетом частоты их встречаемости в популяции – $P(F_{sad})$ и $P(F_{ad})$ с одной стороны и вероятности гибели молодого или взрослого зверька в результате контакта с химическим или механическим средством – с другой. То есть:

$$P(D_{sad} \cap F_{sad}) = P(F_{sad})P(D_{sad} | F_{sad})$$

$$P(D_{ad} \cap F_{ad}) = P(F_{ad})P(D_{ad} | F_{ad})$$

Событие $D_{sad} \cup F_{ad}$ обозначает «в возрастной группе молодняка произошла смерть в результате контакта с приманкой (капканом)», $D_{ad} \cup F_{ad}$ «в возрастной группе взрослых произошла смерть в результате контакта с приманкой (капканом)» $D \cup F$ и «среди молодых и взрослых крыс произошла смерть в результате контакта с приманкой (капканом)». Событие $D \cup F$ будет иметь сезонные отличия, связанные с сезонной динамикой возрастного состава в популяции крыс. Будем считать события $D_{sad} \cup F_{ad}$ и $D_{ad} \cup F_{ad}$ независимыми, хотя это может быть и не так. Например, взрослые крысы, которые подходят к приманке, могут издавать звуки опасности после контакта с родентицидной приманкой, выделять из желез секреты или просто выделять мочу и экскременты на приманку, предупреждая таким образом сородичей об опасности. Тем не менее степень зависимости вышеупомянутых событий признаем ничтожной.

При условии независимости событий $D_{sad} \cup F_{ad}$ и $D_{ad} \cup F_{ad}$ обозначим:

$$P(DF) = P(D_{sad} \cap F_{sad}) + P(D_{ad} \cap F_{ad}) - P(D_{sad} \cap F_{ad}) \times P(D_{ad} \cap F_{ad}) = P(BAC)_t$$

¹ Независимыми способами управления численностью грызунов мы называем такие, которые не вызывают возникновения перекрестных приспособлений, снижающих в большей или меньшей степени эффективность действия одного из способов при применении другого способа.

Ввиду независимости событий $D_{sad} \cap F_{sad}$ и $D_{ad} \cap F_{ad}$

$$P(D_{sad} \cap F_{sad}) \times P(D_{ad} \cap F_{ad}) = 0$$

Тогда $P(DF) = P(D_{sad} \cap F_{sad}) + P(D_{ad} \cap F_{ad})$

В случае использования способа отлова капканами обозначим:

$$P(DF) = P(D_{sad} \cap F_{sad}) + P(D_{ad} \cap F_{ad}) = P(НАС)'_i$$

Следует заметить, что вероятности $P(ВАС)_i \neq P(ВАС)'_i$ и $P(НАС)_i \neq P(НАС)'_i$.

Оценка вероятности гибели серой крысы при совместном использовании двух условно независимых способов: родентицидных приманок и ловушек.

Пусть событие $(X|E)$ – животное погибнет, при условии что квалификация оператора достаточна, событие $(X|E_1)$ – животное погибнет при условии работы оператора родентицидной приманкой, $(X|E_2)$ – животное погибнет, при условии работы оператора ловушками, а $P(X|E)$, $P(X|E_1)$, $P(X|E_2)$ – вероятности этих событий соответственно.

Событие $(ВАС)_t$ – «съел приманку и погиб за время t » – по существу отражает квалификацию оператора. Событие $(ВАС)'_t$ – «съел приманку и погиб за время t с учетом соотношения возрастных групп». Поэтому можно допустить, что $P(ВАС)_t = P(X|E_t)$ и $P(НАС)t = P(X|E_2)$.

Вероятность гибели серой крысы при использовании двух относительно независимых средств – приманка или ловушка (т. е. вероятность того, что «подействовало» одно из средств за определенный период времени) или при сочетании средств – приманка и ловушка можно оценить следующим способом:

$$P(X|E) = P[(X|E_1) \cup (X|E_2)] - P[(X|E_1) \cap (X|E_2)] = P(X|E_1) + P(X|E_2) - P(X|E_1) \times P(X|E_2)$$

Согласно теореме сложения вероятностей, вероятность гибели серой крысы будет больше в случае, если происходит хотя бы одно из событий: $(X|E_1)$ либо $(X|E_2)$, либо и то и другое. Вероятность гибели серой крысы при поочередном применении в течение 30 дней родентицидов-антикоагулянтов, а затем ловушек, по нашим данным, достигает 0,98–0,99 (рис. 5).

Оценка вероятности освобождения объекта от синантропных грызунов.

Оценка вероятности освобождения объекта от грызунов, в частности серой крысы, и повторного восстановления там их численности была нами описана ранее (Рыльников, 2003; Rylnikov, 2011). Тогда объект считали освобожденным оператором (событие $(X|E)$), если его квалификация,

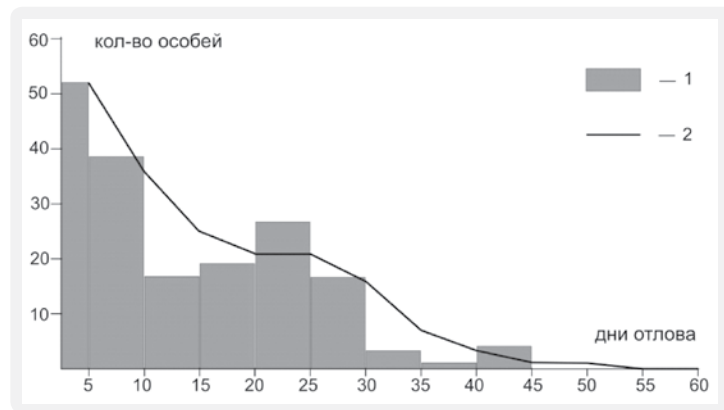


Рис. 5. Попадаемость серых крыс в дуговые капканы №0 в период с начала отлова в течение 60 дней (по материалам отлова в трех подвалах многоэтажных жилых домов, линия регрессии фиолетового цвета; выровненная кривая – серого цвета). 1 – число отловленных крыс, 2 – сглаженная кривая

направленная на это (событие E), была подтверждена гибелью грызунов (событие X). Причем успех был больше в те месяцы, когда естественная составляющая гибели (зимой например) была больше. Такой подход предполагает возможность прогнозировать успех в зависимости от априорной квалификации оператора, подтвержденной конкретными результатами его работы по освобождению объекта.

В настоящей работе оценим вероятность гибели крысы на объекте. Для этого снова применим формулу Байеса:

$$P(X) = P(E)P(X|E) - P(\bar{E})P(X|\bar{E})$$

– формула Байеса, (Креммер, 2007);

$P(E)$ – вероятность события «оператор обладает достаточной квалификацией, чтобы освободить объект»;

$P(E) = 1 - P(\bar{E})$, $P(\bar{E})$ – априорная вероятность события «оператор не обладает достаточной квалификацией, чтобы освободить объект»;

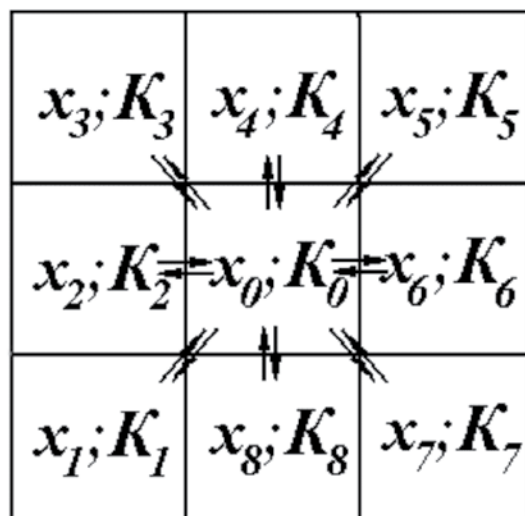
$P(X)$ – вероятность события «крыса погибнет»;

$P(X|E)$ – вероятность события «крыса погибнет, при условии что квалификация оператора достаточна», причем $P(X|E) = 1 - P(X|\bar{E})$

$P(X|\bar{E})$ – вероятность события «крыса погибнет при условии, что квалификация исполнителя недостаточна для освобождения объекта».

Вероятность $P(X|E)$ нами описана выше. Вероятность $P(E)$ может быть вычислена по доле объектов, реально освобождаемых оператором.

Таким образом, можно оценить вероятность гибели крысы на объекте.



x_j – плотность грызунов в j квадрате;
 K_j – емкость среды в j квадрате;
 \rightarrow – направление перемещения

Рис. 6. Направления перемещений грызунов между сопряженными квадратами

Оценка вероятности восстановления на объекте численности синантропных грызунов.

Априорной составляющей, определяющей возможность появления крысы на объекте, является емкость среды обитания контролируемого участка, а динамической составляющей – прирост численности за счет воспроизводства, иммиграции. Все это верно при условии, что действие средств истребления закончилось или сведено к минимуму.

Если же средства истребления действуют с высокой эффективностью, то заселение участка грызунами может быть замедлено на период действия родентицидов; в настоящую модель необходимо вводить вероятность выживания грызунов на контролируемом участке:

зимой – только за счет выживших резидентов при минимальных значениях иммиграционной и воспроизводственной составляющих;

весной (в период выхода на поверхность молодняка) – за счет пополнения активной части популяции молодняком;

летом – за счет пополнения активной части популяции молодняком и его расселения;

осенью (в период осенне-зимних миграций) – за счет иммиграции с незастроенных территорий (наши данные).

$P(Y) = P(U) P(Y|U) - P(U) P(Y|U)$ – формула Байеса, (Кремер, 2007),

Где $P(U)$ – вероятность события «объект имеет достаточную емкость среды для обитания серых крыс» (эту величину вычисляют отношением суммарного балла K_j , характеризующего благоприятность места обитания на данном объекте, к суммарному баллу, характеризующему максимальную благоприятность (емкость) места обитания – K), то есть $P(U) = K_j/K$; $P(\bar{U}) = 1 - P(U) = 1 - K_j/K$ – вероятность события «объект не имеет достаточной емкости среды для обитания серых крыс».

$P(Y)$ – вероятность того, что произошло событие «грызун появился на объекте».

Исходим из того, что событие Y происходит в течение одного месяца. Один месяц – достаточный срок: 1) для появления молодняка на поверхности; 2) для иммиграции; 3) для выживания части популяции серых крыс в условиях их истребления.

$P(Y|U)$ – вероятность, что грызун появился на объекте при условии, что емкость среды достаточна для его обитания. Появление грызуна на объекте не означает заселения им объекта.

$P(\bar{Y}|U)$ – вероятность, что произошло событие Y , при условии что объект не имеет достаточной емкости среды для обитания серых крыс.

Для характеристики последней условной вероятности можно использовать фактические статистические данные по доле объектов, не заселяемых грызунами в течение одного месяца, причем $P(Y|U) = 1 - P(\bar{Y}|U)$.

Экспериментальные данные по вероятности появления серых крыс на объекте (территории) получены расчетом отношения численности серых крыс последующего учета к предыдущему на рисовых полях Краснодарского края в период с декабря 1981 года по июнь 1982 года (наши данные).

Примем во внимание, что событие Y может происходить как за счет размножения серой крысы на обработанном участке (Y_0), так и за счет иммиграции с соседних участков (рис. 6) (Y_j), то есть $Y = Y_0 + Y_j$.

Тогда $P(Y|U) = P(YU) | P(U)$.

При этом,

$$P(YU_j) = \sum_{j=1}^8 [(K_0 x_j) / (K_0 + K_j) \times (x_0 x_j)] - P[\prod_{j=1}^8 Y_j U_j]$$

Где x_0 и x_j – численность серой крысы на обработанном и одном из восьми прилегающих участков, K_0 и K_j – емкости среды обитания этих участков.

Если $Y_1 U_1, Y_2 U_2, Y_j U_j, \dots$ – события независимые, вероятность одновременного появления этих событий равна произведению вероятностей каждого из них, то есть $P[\prod_{j=1}^8 Y_j U_j] = \prod_{j=1}^8 P(Y_j U_j)$.

На самом деле эти события относительно независимы только при низкой численности на обработанном участке. Чем выше численность серой крысы, тем будет меньше вероятность для следующих иммигрантов проникнуть на обработанную территорию в результате противодействия этому оседлых особей, срабатывания механизма авторегуляции. Очевидно, что при высокой численности серой крысы условие независимости упомянутых событий никогда не соблюдается. Критерием возможности допущения о независимости $Y_1U_1, Y_2U_2, Y_3U_3, \dots$ может быть отнесение вероятности появления этих событий к редким, распределенным по закону Пуассона. Тогда их сумма тоже будет подчинена закону Пуассона. Редким появление крыс на объекте можно считать при чрезвычайно низкой численности. Например, на рисовых полях Краснодарского края низкой можно считать плотность серых крыс меньше 0,2 на 100 погонных метров земляных валков (наши данные). При такой плотности и ниже крысы практически не образуют скопления; среднее арифметическое «расстояние между пойманными крысами» стремится к значению дисперсии ($M \pm \sigma = 390 \pm 276$ м), а значит, распределение этой случайной величины будет все больше соответствовать закону Пуассона. Вероятность восстановления численности крыс на обработанной территории при такой низкой численности может оказаться не такой малой, если условия существования там выглядят привлекательными для иммигрантов, перемещающихся со всех смежных участков одновременно и независимо. Такую картину мы наблюдали на участках рисовых полей, где оставалось достаточно много недомолоченной соломы, создающей благоприятные условия с точки зрения кормов (зерна риса) и убежищ (копны соломы).

Обсуждение

Проблема освобождения территории от крыс в условиях «остаточной» численности по существу сводится к тому, чтобы уничтожить единичных крыс. Каждый из шагов в этом направлении может привести как к успеху, так и к выработке стойкой реакции избегания, что сделает повторную попытку неудачной.

Как было показано нами, молодые серые крысы значительно чаще выживают при использовании родентицидных приманок с антикоагулянтами (Рыльников, 2010, с.180). События, относящиеся к гибели молодых и взрослых, будут очевидно несоместимыми и составляют полную группу событий. Тогда не может вызывать сомнений утверждение, что для успешного снижения численности серой

крысы необходимо воздействие одновременно на обе возрастные группы. Поскольку соотношение возрастных групп – сезонно-зависимая величина, то очевидно, что применение приемов, способов и методов борьбы должно быть направленным на все возрастные группы.

Вероятность обнаружения контейнеров будет увеличиваться и с увеличением срока их экспозиции, а также будет больше в местах, наиболее часто посещаемых грызунами. Следовые площадки (82 шт.) на территории заводской столовой домовые мыши (*Mus musculus*) посещали с разной частотой (четыре градации), причем доля заслеженных площадок увеличивалась в течение 12 дней наблюдения. Наибольшее количество домовых мышей было отловлено ловушками Геро в местах, наиболее ими посещаемых (Хляп, Маликова, 1992). На территории подвалов жилых многоэтажных домов, при условии расстановки контейнеров с приманкой в местах, наиболее посещаемых серыми крысами, около ствола мусоропровода вероятность поедания приманки была наибольшей. Чем дальше от места активности серых крыс стояли контейнеры, тем хуже поедалась там приманка (Мелкова, 1987).

С увеличением плотности популяции серой крысы, участки обитания сокращаются в размерах, обостряется конкуренция за источники корма. Увеличение числа кормушек с родентицидной приманкой или средствами контроля численности оказывается актуальным (West, Fall, 1975). Однако сокращение расстояния между кормушками имеет смысл лишь до определенного предела, так как дальнейшее сближение не приводит к увеличению их посещаемости серыми крысами (Тоцигин и др., 1976). При уменьшении плотности популяции доля серых крыс, взявших приманку, зависит от двух факторов: с одной стороны, наблюдается увеличение вероятности обнаружения удаленных кормушек в связи с увеличением размеров участка обитания серой крысы, с другой, в расчете на одну особь увеличиваются кормовые ресурсы. В условиях принудительного снижения численности серой крысы, интерес к искусственно разложенной приманке уменьшается (Zapletal, 1962), что приводит к снижению вероятности ее потребления. Это неизбежно приведет к снижению эффективности родентицидных приманок (Рыльников, 2010).

Известно, что применение антикоагулянтов первого поколения вызывает резистентность у серой крысы к действию антикоагулянтов второго поколения, поэтому целесообразна ротация родентицидов на основе антикоагулянтов с препаратами на основе ядов острого действия, на-

пример с фосфидом цинка (Macnicoll, 1988) или альфанафтилтиомочевины. При этом важно отметить, что применение родентицидных приманок может приводить к появлению реакции избегания (аверсии) на отдельные их компоненты. Как известно, если в составе рецептуры использованы пищевые добавки (сахар, растительное масло), на них может вырабатываться условный рефлекс сигнала опасности (Траханов, 1963; Bhardway, Prakash; 1979; Khan, Siddiqi, 1980; Oliver et al., 1982). События, связанные с гибелью от приманок на основе антикоагулянтов, лишь условно независимы от событий, связанных с гибелью от приманок на основе ядов острого действия. События, связанные с гибелью от родентицидных приманок и покрытий, также можно считать лишь условно независимыми. Более независимыми будут события гибели от средств разных способов действия, например кишечного и ингаляционного, а также при использовании разных методов, например химического и физического (например ловушки). Однако и такая независимость будет также условной из-за возможности отказа от контакта с любыми незнакомыми средствами (неофобия). Несмотря на указанные выше оговорки, в ряде случаев, по-видимому, можно оперировать понятием независимости событий ввиду того, что влияние одного события на другое может быть ничтожным.

Вероятность снижения численности синантропных грызунов на контролируемом объекте будет больше, если выше: а) вероятность обнаружения средств, предназначенных для управления численностью, путем размещения их в вершинах графа их перемещений; б) привлекательность средства; в) успешность действия средства (эффективность срабатывания физических средств; получение летальной дозы действующего вещества химического средства с учетом индивидуальной, возрастной и иной внутривидовой изменчивости); г) квалификация оператора пест-контроля; д) неустойчивость состояния популяции (высокая смертность, низкая рождаемость, низкая миграционная составляющая, относительно однородный возрастной состав). Вероятность восстановления численности синантропных грызунов на контролируемом объекте будет выше, если *больше*: а) емкость среды обитания на объекте (территории) K_0 ; б) прирост за счет воспроизводства и иммиграции ($b_j + i_j$); в) численность в данный момент времени $x_j(t)$ на соседних объектах (территориях); г) средняя скорость миграции в данное время года (s); д) численность в данный момент времени $x_0(t)$ на контролируемом объекте (территории); е) показатель скорости образова-

ния размножающихся групп; и если меньше: ж) емкость среды обитания на соседних объектах (территориях) (K_j); з) расстояние от заселенных соседних объектов до контролируемого объекта (R) (Rylnikov, 2008; Рыльников, 2010).

Таким образом, можно оценить вероятность освобождения объекта (территории) от грызунов и повторного его заселения при условии определенного порядка применения методов, способов, приемов с учетом структуры изучаемой популяции, ее положения в иерархии популяций. Относительные величины, полученные на основании расчетов, экспериментальных данных и предложенных нами подходов к управлению численностью грызунов, с нашей точки зрения, достаточны для поставленной цели – поиска оптимального пути управления выбранной биологической системой. Полученные данные могут найти применение в обучающих программах, их можно использовать для выбора оптимальных путей управления численностью серой крысы.

Заключение

■ Чем сложнее популяционная структура, тем по возможности должно быть больше независимых способов, действующих на основные группы этой структуры, для того чтобы ее разрушить. Число способов воздействия на популяцию может быть строго определено, если определены целевые группы. ■ Вероятность снижения численности серой крысы на контролируемом объекте повышается при эффективном использовании средств борьбы (успешное срабатывание физических средств; получение летальной дозы действующего вещества химического средства с учетом индивидуальной, возрастной и иной внутривидовой изменчивости), а также при неустойчивом состоянии популяции (высокая смертность, низкая рождаемость, низкая миграционная составляющая, относительно однородный возрастной состав).

■ Вероятность восстановления численности серой крысы на контролируемом объекте будет тем выше, чем *больше* 1) емкость среды обитания на объекте (территории); 2) прирост за счет воспроизводства и иммиграции; 3) численность в данный момент времени на соседних объектах (территориях); 4) средняя скорость миграции в данное время года; 5) численность в данный момент времени на контролируемом объекте (территории); 6) скорость образования репродуктивных внутривидовых группировок; и чем *меньше* 1) емкость среды обитания на соседних объектах (территориях); 2) расстояние от

заселенных соседних объектов до контролируемого объекта.

Список использованной литературы

1. Мелкова В. К. Особенности обитания серых крыс в многоэтажных жилых домах // Материалы по экологии и методам ограничения численности серой крысы. – Часть I. – М.: Наука, 1987. – С. 179–202.

2. Кремер Н. Ш. Теория вероятностей и математическая статистика: учебник для студентов вузов, обучающихся по экономическим специальностям. Третье издание, перераб. и доп. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2007. – 531 с. – (Серия «Золотой фонд российских учебников»).

3. Рыльников В. А. Регулирование сообществ животных-вредителей путем увеличения принудительной составляющей их смертности (на примере серой крысы *Rattus norvegicus* Berk.) // ПЭТ-инфо. – 2003. – №3(47), сентябрь. – С.14–21.

4. Рыльников В. А. Серая крыса / *Rattus norvegicus* Berk/. Экологические основы и подходы к управлению численностью. М.: Институт пест-менеджмента. – 2010. – 366 с.

5. Rylnikov Valentin. Ecological bases and approaches to managing synanthropic species of rodents (Using the brown rats (*Rattus norvegicus* Berk.) as an examples). – An extended abstract of the study. – Moscow. – 2008. – 40 p.

6. Тоцигин Ю. В., Жукова Л. Д., Подъемщикова Л. Г. и др. К вопросу об организации и методике практически полного уничтожения синантропных грызунов в населенном пункте // Проблемы дезинфекции и стерилизации. – М.: Минздрав СССР, 1976. – Вып. 25. – С. 240–245.

7. Траханов Д. Ф. Защитно-рефлекторные реакции серых крыс на отравленные приманки // Проблемы ветеринарной санитарии. – М., 1963. – Т. 22. – С. 162–172.

8. Хляп Л. А., Маликова А. Ш. Синантропия грызунов и ограничение их численности // Синантропия грызунов и ограничение их численности / Отв. ред. акад. В. Е. Соколов и д.б.н. Е. В. Карасева. М.: Российская академия наук., 1992. – С. 256–264.

9. Bhardway D., Prakash J. Association of Bait shyness with the component of poisoned food in *Rattus rattus* // Ztschr. angew. Zool. – 1979. – V. 65, N3. – P. 329–335.

10. Emlen J. T., Davis D. E. Determination of reproductive rates in rat populations by examination of carcasses // Physiol. Zool. – 1948. – V. 21. – P. 59–65.

11. Khan Z., Siddiqi J. J. Poison and Baitshyness of Northern Palm Squirrel *Funambulus pennanti*

Wroughton // Appl. Entomol. And Zool. – 1980. – V. 15, №2. – P. 175–177.

12. Macnicoll A. D. The influence of anticoagulant resistance on effective rodent control in the UK // Bull. OEPP. – 1988. – 18, № 2. – P. 223–227.

13. Oliver B., Wheeler S. H., Gooding L. D. Field Evaluation of 1080 and Pindon Oat Bait and the Possible Decline in Effectiveness of Poison Baiting for the Control of the Rabbit *Oryctolagus anniculus* // Aust. Wildl., Res. – 1982. – V. 9. – P. 125–134.

14. Rylnikov V. A. Palaearctic Synanthropic Rodent Control // Proceeding of the 7th International Conference on Urban Pests (Budapest, 07–10 Aug, 2011) / Ed. William H. Robinson and Ana Eugênia de Carvalho Campos. – 2011. – P. 237–244.

15. West R. R., Fall M. W., Libay J. L. Reducing interactions rats to improve bait acceptance // Philipp. Agr. – 1975. – V. 59, N1/2. – P. 31–36.

16. Zapletal M. O volbe navnady v boji proti potkany (*Rattus norvegicus* Berk.) v podminkach remedelskych objektu = Bait selection in Rat Control under Condition of Agricultural Enterprises // Zool. Listy. – V. 11, № 11. – P. 15–26. – (Brno, 5.2.1962).

Probability estimation of the brown rat (*Rattus norvegicus* Berk) forced death under continuous rodent control

Rylnikov V.A., Nonstate private scientific and educational institution «Institute of Pest Management», Metallurgists journey, house 9, settlement Lvovski, Podolsk area, Moscow region, Russia, e-mail: rylnikov@list.ru

Tuchkova N.P., Institution of Russian Academy of Sciences Dorodnicyn Computing Centre of RAS (CC RAS), Vavilov st. 40, 119333 Moscow, Russia, tuchkova@ccas.ru

An algorithm for calculating the efficiency of the operator's actions at all stages of the brown rats control, from placement of the pest control items (chemical, mechanical and others) in the territory up to complete clearing the object from rats and follow-up estimation of their numbers recovery possibility are suggested. The probability of success when using a combination of pest control means is considered. The changes in population for a year are taken into consideration for calculation. The proposed calculation method can be used in training programs, as well as for the local forecast of ridding of objects from rats and their re-settling.

Key words: The populations stability, independent methods of influence, ridding of objects from rats, brown rat population recovery, the habitat capacities.