

В ПОРЯДКЕ ДИСКУССИИ

УДК 630*161:658.5

ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ В ЗАДАЧАХ ЗАЩИТЫ ЛЕСА ОТ НАСЕКОМЫХ-ВРЕДИТЕЛЕЙ

В. В. Солдатов¹, В. Г. Суховольский²

¹ *Российский центр защиты леса Центр защиты леса Красноярского края
660036, Красноярск, Академгородок, 50а, корп. 2*

² *Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН – обособленное подразделение
ФИЦ КНЦ СО РАН
660036, Красноярск, Академгородок, 50/28*

E-mail: czl124@rcfh.ru, soukhovolsky@yandex.ru

Поступила в редакцию 17.04.2021 г.

Исследованы принципы организации и принятия решений в системе лесозащиты в России. Рассмотрена проблема оценок затрат и рисков в ходе лесозащитных мероприятий. Функционирование службы лесозащиты представлено как система «агент – принципал», где принципалом является государство или регион, а информацией о состоянии лесной экосистемы и правом на принятие управленческих решений обладают руководители региональных структур системы лесозащиты. Показаны особенности функционирования такой системы. Обсуждаются проблемы принятия решений в задачах лесозащиты, связанные с наличием лага в управленческих решениях при непрерывных изменениях плотности популяций вредителей и связанного с этим изменения уровня воздействия насекомых на лес. Рассмотрена модель принятия решения, минимизирующая риски ошибок. Установлено, что общая схема расчетов рисков при принятии решений в задачах лесозащиты может быть конкретизирована выбором конкретных значений коэффициентов модели для определенных видов вредителей в выделенных местообитаниях. Предложенный подход позволяет оценить эффективность принятия решений в задачах лесозащиты в зависимости от используемых принципов управления. Оптимальным решением о проведении защитных мероприятий будет при минимизации ошибок первого и второго родов и риска повреждения насаждения. В предложенной модели принятия решения коэффициенты для определенного вида вредителей можно рассчитать по многолетним данным учетов, при этом состояние популяции возможно охарактеризовать не только по значениям ее плотности, но и по другим индикаторным показателям.

Ключевые слова: лесная экосистема, лесные насекомые, вспышки массового размножения, управление, риски, мониторинг, защитные мероприятия, принятие решений, оптимизация.

DOI: 10.15372/SJFS20210511

ВВЕДЕНИЕ

Задача защиты леса от нападения вредителей на российские леса связана с принятием решений по оценке экологического риска вспышек, а также экономической стоимости и эффективности проведения защитных мероприятий. Базовая теория принятия решений по борьбе с лесными вредителями предполагает, что они должны характеризоваться наименьшей суммой затрат на

защиту и потери от повреждений (Чанг, Пирс, 2019). При этом оценка затрат – задача экономическая, а анализ и прогноз повреждений при прогнозируемой динамике численности лесных насекомых – чисто экологическая. Для построения прогноза нужно знать закономерности пространственно-временной динамики популяций насекомых-вредителей, оценить влияние модифицирующих и регулирующих факторов на популяцию, определить устойчивость древесных

растений к нападению вредителей (Голубев и др., 1980; Исаев, Кондаков, 1986; Исаев и др., 2004, 2012а, б). К сожалению, надежность прогнозов не всегда велика. Однако в какой-то момент в рамках мониторинга в системе защиты леса необходимо принимать решение о проведении мероприятий по снижению численности вредителей и уменьшению рисков гибели лесов. И тут возникает экономическая проблема оценок рисков и затрат в ходе лесозащитных мероприятий. При этом особенности принятия решений зависят от принципов организации системы защиты леса. В настоящей работе рассмотрена система управления и принципы принятия решений в области лесозащиты, даны оценка оптимальности поведения этих управленческих структур в связи с особенностями их организации и оценки рисков для отдельных управляющих структур в системе.

ОСОБЕННОСТИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В СВЯЗИ С ХАРАКТЕРИСТИКАМИ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ СТРУКТУР В СИСТЕМЕ ЛЕСОЗАЩИТЫ

Принятие решений в ходе защиты леса от нападения вредителей – проблема не только экологическая, но и экономическая, и организационная в связи с необходимостью оценок затрат на защитные мероприятия, потерь от воздействия на лес и минимизации этих потерь и затрат. Экономические проблемы лесозащиты во многом связаны с тем, кто и как оценивает и управляет экологическими рисками. При этом следует иметь в виду, что при принятии решений возникают риски для организации и лиц, принимающих решения, и характер этих рисков во многом определяется типом организации.

Принципиально возможны два типа организаций, предназначенных для принятия решений независимо от конкретных задач, стоящих перед организацией:

1. **«Веберианская» рациональная бюрократическая система** действует в соответствии с четко сформулированными правилами и обладает специальными знаниями, которые применяются ею в процессе управления (Вебер, 1990).

2. **Бюрократическая система** состоит из сотрудников, действующих в соответствии со следующими принципами (Вебер, 1990):

- четко установленная иерархия должностей;
- каждая должность обладает строго определенной сферой полномочий;

- вознаграждением служит постоянное денежное жалование, как правило, с правом на пенсию;

- существует система служебного продвижения в соответствии со старшинством или заслугами;

- сотрудник отделен от владения средствами управления и не присваивает свою должность;

- сотрудник подчинен в своей деятельности жесткой и систематической дисциплине и контролю.

- каждой организации выделен для работы некоторый бюджет, который в рамках своих компетенций она может использовать.

Однако системы управления экологическими рисками не вполне укладываются под такое определение. Прогнозировать такие события крайне трудно, при планировании защитных мероприятий затраты на предупреждение и ликвидацию насекомых-вредителей заранее неясны. Обычно вышестоящие организации не обладают достаточной информацией для того чтобы управлять и контролировать работу служб защиты, поэтому функционировать как обычная бюрократическая организация с фиксированным бюджетом, систематической проверяемой отчетностью и заранее определенными критериями качества работы служба защиты не может и с нашей точки зрения, основанной на многолетнем опыте работы в ней одного из авторов статьи. Ее работа лучше поддается пониманию, если она рассматривается как система «агент – принципал» (Болтон, Деватрипонт, 2019).

Агентские отношения устанавливаются в ней, когда одно лицо – доверитель (принципал) – передает определенные права другому лицу – агенту, который, согласно заключенному между ними контракту, обязан действовать в интересах доверителя в обмен на вознаграждение (Акерлоф, 1994; Пиндайк, Рубинфельд, 2000; Макконелл, Брю, 2002; Алчиан, Демсец, 2003; Алескеров и др., 2012; Болтон, Деватрипонт, 2019).

Агентская проблема, хорошо известная в теории управления экономическими системами, заключается в том, что если управляющий менеджер не является собственником (принципалом) управляемой им структуры, то возникает рассогласование целей управления у принципала и агента. Каждый из них имеет свои интересы и свои риски, возникающие при принятии решений. У агента есть собственные интересы, и он склонен следовать целям доверителя лишь в той мере, в которой контракт стимулирует его к это-

му. В такой системе возникает неравномерное распределение информации между агентом и принципалом. Агент обычно располагает большей, чем принципал, информацией о состоянии управляемой системы и возможностях ее управления, т. е. информация между принципалом и агентом распределена асимметрично.

В любой экономической системе принципал заинтересован в получении максимальной прибыли и уменьшении риска банкротства предприятия, а агент – в уменьшении риска своего увольнения при сохранении или увеличении вознаграждения. При этом информация о состоянии экономической структуры, на основе которой возможно принимать управленческие решения, сосредоточена у менеджера, а до принципала эта информация чаще всего не доходит.

Такое рассогласование целей приводит к тому, что менеджер стремится уменьшить риски банкротства (в этом случае возможно его увольнение) при сохранении приемлемого (и не обязательно максимального) уровня прибыли. Потенциально прибыльные управленческие решения, при которых велик риск неудачи, менеджер, как правило, не осуществляет.

По аналогии с такими экономическими системами можно рассматривать и систему лесозащиты, где принципалом является государство или регион, а информацией о состоянии лесной экосистемы и правом подготовки управленческих решений обладают руководители региональных структур системы лесозащиты. Как и их коллеги в экономических системах, они заинтересованы не в сохранении леса, а в поддержании своей карьеры. При этом управление в системе лесозащиты связано не с получением прибыли, а с минимизацией уровня повреждений леса при малых затратах на лесозащиту (Чанг, Пирс, 2019). Принятие решения о проведении или отказе от мероприятий по защите леса для менеджеров чревато возможностью ошибки первого рода (пропуска цели), когда решение об отказе от защитных мероприятий принято, а вспышка массового размножения состоялась, или ошибки второго рода (ложной тревоги), когда затребованы и частично истрачены ресурсы для проведения защитных мероприятий, а вспышка не произошла.

При достаточно частых ошибках как первого, так и второго рода менеджер может быть снят со своей должности. Оптимальная стратегия при принятии решений у региональных руководителей службы лесозащиты должна заключаться в минимизации ошибок. Для этого есть два

пути – разработка методов заблаговременных прогнозов с минимальными ошибками первого и второго рода (как видно из статей в настоящем выпуске «Сибирского лесного журнала», это сложно) или же принятие решений о проведении защитных мероприятий в тот момент, когда вероятность вспышки становится близкой к единице и риск ошибок становится равным нулю.

В этом случае возможно, что до принятия решения о проведении защитных мероприятий будут повреждены достаточно большие массивы леса, и к тому моменту, когда начнутся эти мероприятия, вспышка уже начнет затухать по естественным причинам, но реальная информация о текущем состоянии популяции сосредоточена у менеджера, а прекращение вспышки после осуществления защитных мероприятий можно трактовать по принципу «post hoc, ergo propter hoc» (после этого – значит, вследствие этого): если вспышка прекратилась после нашего воздействия, значит, это воздействие и было причиной затухания вспышки – и ожидать поощрения за эффективное управление.

Агентскую проблему решить крайне непросто (что хорошо известно из реалий экономики), однако вопрос об оптимизации процедуры принятия решений в задачах управления лесами следовало бы поставить и рассмотреть условия, при выполнении которых отрицательное влияние агента в системе лесозащиты было бы минимизировано.

В задачах управления лесами принципал (собственник леса – им большей частью является государство) делегирует агенту – региональной структуре – управление лесов на территории данной структуры. Однако при этом полномочия по управлению и принятию решений (включая выделение финансовых ресурсов) в области лесозащиты распределены в управленческой пирамиде (рис. 1).

Формально этими полномочиями обладают структуры на всех уровнях «пирамиды», однако информация о состоянии управляемого объекта

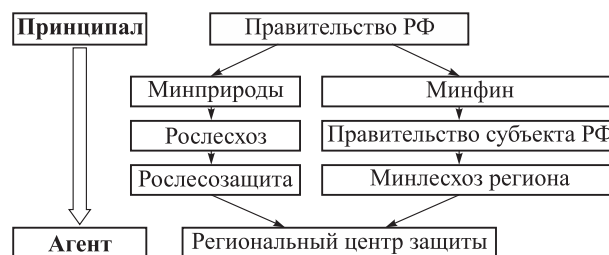


Рис. 1. «Пирамида» полномочий по принятию решений в системе лесозащиты в РФ.

несимметрична: находящийся на самом нижнем уровне агент – региональный Центр защиты леса – знает об объекте существенно больше, чем вышестоящие структуры. В этом случае принципалу приходится доверять агенту принимать решения по поводу объекта. Но иногда агенты бывают очень недобросовестными или они добросовестны, но сильно заблуждаются по поводу качества своей работы и корректности принимаемых решений. Кроме того, в пределах сложной организации государственного управления мы обнаруживаем не эту элементарную схему, а гораздо более сложную, в которой каждый принципал является субпринципалом, а каждый агент руководит другими агентами, являясь суперагентом.

Какие риски возникают на разных уровнях такой управленческой системы? Принципал, доверяющий агенту управление собственностью, должен получить страховку от того, что они доверятся не тем людям. Однако при этом принципал встает перед дилеммой: контролировать агента плотнее и убедиться, что тот действительно выполнил работу, или предоставить ему свободу, но тогда есть большие шансы, что агент, за которым не следят, сделает меньше работы (в экономической теории предполагается, что агенты по умолчанию аморальны и, если за ними не следить, либо просто возьмут деньги, ничего не сделав, либо присвоят себе часть или всю управляемую собственность). Примеры последних лет, связанные с незаконными рубками леса под видом вырубki поврежденных насаждений в Сибири, показывают, что агенты способны использовать имеющуюся у них информацию и право на принятие решений в собственных целях. Дополнительная сложность состоит в том, что и федеральные органы управления лесами – не собственники лесных ресурсов, а агенты, нанятые для управления, и главная их цель – не оптимизация использования и сохранения ресурсов, а собственные выживание.

Что по поводу принятия решений в задачах лесозащиты сказано в действующем «Лесном кодексе» (2006)? В Статье 19. Мероприятия по сохранению лесов указывается, что:

2. Мероприятия по сохранению лесов могут осуществляться государственными (муниципальными) бюджетными и автономными учреждениями, подведомственными федеральным органам исполнительной власти, органам исполнительной власти субъектов Российской Федерации, органам местного самоуправления, в пределах полномочий указанных органов,

определенных в соответствии со статьями 81–84 «Лесного кодекса» (2006).

3. При осуществлении мероприятий по охране, защите, воспроизводству лесов государственными (муниципальными) учреждениями, указанными в части 2 настоящей статьи, одновременно осуществляется продажа лесных насаждений для заготовки древесины в соответствии с «Лесным кодексом» (2006).

Фактически это означает, что агентам первого рода, не являющимся собственниками леса, предоставляется полное право управления лесами.

Проблемы контроля за деятельностью агентов первого рода определяются в ст. 49. Отчет об использовании лесов.

1. Отчет об использовании лесов представляется гражданами, юридическими лицами, осуществляющими использование лесов, в органы государственной власти, органы местного самоуправления в пределах их полномочий, определенных в соответствии со ст. 81–84 «Лесного кодекса» (2006), непосредственно либо через многофункциональные центры предоставления государственных и муниципальных услуг в форме документа на бумажном носителе или в форме электронного документа, подписанного электронной подписью, с использованием информационно-телекоммуникационных сетей общего пользования, в том числе сети «Интернет», включая единый портал государственных и муниципальных услуг.

2. В отчете об использовании лесов содержится информация об объеме заготовленной древесины и иных лесных ресурсов, о видовом (породном) и сортиментном составе древесины и другая информация.

3. Граждане, юридические лица, осуществляющие заготовку древесины, за исключением лиц, осуществляющих заготовку древесины при использовании лесов в соответствии со ст. 43–46 «Лесного кодекса» (2006), в целях подтверждения соблюдения требований, указанных в части 3 ст. 16 «Лесного кодекса» (2006), прилагают к отчету об использовании лесов материалы дистанционного зондирования (в том числе аэрокосмической съемки, аэрофотосъемки), фото- и видеофиксации.

4. Перечень информации, включаемой в отчет об использовании лесов, порядок фиксации этой информации, форма и порядок представления отчета об использовании лесов, а также требования к формату отчета об использовании лесов в электронной форме устанавливаются

уполномоченным федеральным органом исполнительной власти.

Комментируя эти положения «Лесного кодекса» (2006), следует заметить, что информационная асимметрия между агентом и принципалом может заключаться не только в том, что часть информации об объекте недоступна принципалу, но и в невозможности для принципала обработать и оценить поставляемую принципалу информацию.

В этой ситуации в теории управления предложено простое решение для принципала – обратиться в дополнение к агентам первого рода, которые собственно выполняют работу, к агентам второго рода, которые способны оценить агентов первого рода. В случае, когда сам принципал не может оценить качество работы, его вера в ее качество зиждется на вере в добросовестность агента второго рода. Когда агенту второго рода можно доверять? Как должен быть устроен институт агентов второго рода, чтобы у них не было возможности или желания сговориться с агентом первого рода? Для использования таких распространенных в современном бизнесе систем управления с агентами двух типов в «Лесном кодексе» – основополагающем документе по управлению российскими лесами – должна быть детально прописана процедура использования агентов второго рода. Наилучшим способом контроля агентов может стать кодифицированная система дистанционного автоматического контроля за состоянием лесных насаждений.

Формально говоря, агентом второго рода в лесном хозяйстве должна быть описанная в Главе 2.3 «Лесного кодекса» (2006) Единая государственная автоматизированная информационная система учета древесины и сделок с ней.

Однако в «Лесном кодексе» (2006) система учета древесины оторвана от общих положений об охране, о защите, воспроизводстве лесов (ст. 50.7 и далее).

В обязанности агента первого рода входит ликвидация очагов вредных организмов (ст. 60.8), согласно которой по решению этих агентов (органов государственной власти или органов местного самоуправления в пределах полномочий указанных органов, определенных в соответствии со ст. 81–84 «Лесного кодекса» (2006), может проводиться рубка лесных насаждений в целях регулирования породного и возрастного составов лесных насаждений, зараженных вредными организмами. При этом, исходя из текущей нормативной базы («Правила ликвидации очагов вредных организмов»,

утвержденные приказами Минприроды России № 361 (23.06.2016), № 480 (16.09.2016), № 470 (12.09.2016), № 913 (09.11.2020), при ликвидации очагов вредных организмов проектирование, планирование и согласование мероприятий проводится по данным государственного лесопатологического мониторинга в соответствии со ст. 60.5 «Лесного кодекса» (2006). Таким образом, представление о том, что кто угодно может проводить работы по защите леса, не соответствует существующей нормативной базе. Однако в силу несимметричности доступа к информации о состоянии лесов у агентов и принципалов, можно сомневаться в доступности для принципала контроля за подобными мероприятиями.

Также крайне маловероятно эффективно использовать информацию агента о процессах воспроизводства лесов и лесоразведения. В отчетах по этому мероприятию содержится информация о мероприятиях по лесовосстановлению и лесоразведению, о площади, на которой осуществляется воспроизводство лесов, о характеристиках используемых при воспроизводстве лесов семян лесных растений и посадочного материала лесных растений (саженцев, сеянцев) и другая информация. Однако сама по себе эффективность процедуры лесовосстановления может быть выявлена спустя годы и даже десятилетия после проведения этих мероприятий. Как результат данные о лесовосстановлении в значительной части недостоверны. Даже если через 10–15 лет принципал выяснит, что реально никакого лесовосстановления не произошло, неясно, кто будет отвечать за неэффективность этих мероприятий – чаще всего агент – конкретный физический исполнитель уже не работает.

МИНИМИЗАЦИЯ ОШИБОК АГЕНТОМ ПРИ ПРИНЯТИИ РЕШЕНИЙ В ЗАДАЧАХ ЛЕСОЗАЩИТЫ

Риски при существующей системе управления возникают не только у принципала, но и у агента, стремящегося к эффективной деятельности по защите леса. Эти проблемы связаны с решением задачи минимизации ошибок прогноза и принятия решений (Айзерман, Алескеров, 1990; Долан, Линдсей, 1992; Есипов, 2010; Качала, 2013). Как минимизировать такие ошибки? При принятии решений о проведении защитных мероприятий затраты на них обычно сопоставляются с возможным ущербом при отказе от защиты. Теоретически возможны два предельных

подхода при принятии решений в организациях, занимающихся проблемами минимизации экологического риска. Первый предельный случай – не считаясь с затратами, во всех случаях проводить защитные мероприятия. Второй предельный случай – ни при каких условиях не проводить никаких защитных мероприятий и тем самым минимизировать затраты на защитные мероприятия. Понятно, что ни тот, ни другой способы защиты реально не используются. При выборе первого случая бюджет мероприятий рискует стать неподъемным для организации. При выборе второй стратегии у агента могут спросить: а зачем он вообще тогда существует? В связи с этим разумной должна быть стратегия компромисса: защитные мероприятия проводятся лишь при определенных условиях, когда полезность мероприятия превышает затраты на его проведение.

Однако при проведении таких расчетов возникают проблемы с оценками ущерба в денежных единицах:

1. Неясно, как установить цены экологических объектов различных типов. Так, в задаче охраны лесов от пожаров существует принцип отказа от тушения пожаров на отделенных территориях, так как экономическая цена лесных ресурсов на таких территориях ничтожна, цена экологических потерь неясна, а затраты на проведение защитных мероприятий велики.

2. Экосистема состоит из взаимодействующих компонентов и просто складывать ущербы для отдельных компонентов некорректно, так как при этом не учитываются возможные взаимодействия между компонентами экосистемы, и к рискам от нападения вредителей необходимо добавить, например, риски от поствспышечных пожаров.

3. Даже если сосчитать прямые ущербы от критических воздействий в натуральных единицах возможно, но крайне трудно определить косвенные ущербы, связанные с влиянием повреждений на экологические полезности леса.

Согласно инструкциям, процедура принятия решений в лесозащите должна длиться не более полугода. Однако, как показал наш практический опыт, в реальности при принятии решения о защите лаг между моментом принятия решения о проведении защитных мероприятий и моментом начала этих защитных мероприятий может составлять один-два (!) года. Время уходит на принятие решения о выделении денег, о проведении конкурса на поставку защитных средств, на изготовление этих средств, на заклю-

чение контракта с авиационными службами... Этим вспышки массового размножения отличаются от такого критического явления, как пожар, где невозможно представить, что между получением информации о факте пожара и началом противопожарных мероприятий пройдет пусть даже месяц. Наличие такого лага означает, что решение о проведении защитных мероприятий должно приниматься в ситуации, когда вспышка еще только начинается, иначе защищать придется погибшее насаждение. Но тогда возможна ошибка второго рода и к тому моменту, когда все выделено, закуплено и согласовано, вспышка переходит в состояние кризиса, или, что хуже, депрессии, и единственное, что можно сделать, все же провести защитные мероприятия и заявить, что вредитель побежден.

При принятии решений о проведении защитных мероприятий возникает проблема сопоставления цен ошибок первого и второго рода. Так как потери от ошибок первого рода выражаются в натуральных единицах (площадах или запасах поврежденного при отсутствии защитных мероприятий леса, и потере экосистемных функций леса (пересчитывать потери древесины в денежные единицы не всегда корректно, так как часто лес (особенно таежный) не имеет товарной ценности, например вследствие невозможности его заготовки и вывоза), а потери от ошибок второго рода могут быть выражены в денежных единицах – затратах на затребованные, но неиспользованные средства защиты, и прямо сопоставить эти потери сложно, то более выгодным для агента может быть уменьшение ошибок второго рода и затягивание начала защитных мероприятий до того момента, когда ошибка второго рода (ложная тревога) станет уже невозможной и критические явление точно реализуется.

Точность прогноза о начале вспышки массового размножения в некоторый фиксированный момент времени будет зависеть от особенностей динамики численности вида, за которым ведется мониторинг, от качества алгоритма, используемого при прогнозе, и от того, когда был подготовлен прогноз. Однако если интервал времени между моментом подготовки прогноза и моментом начала защитных мероприятий будет сопоставим с продолжительностью периода вспышки изучаемого вида насекомых, то надежность такого прогноза может оказаться очень низкой.

Если надежный прогноз дается непосредственно перед началом вспышки массового размножения и массовым повреждением насаж-

дений, то за период подготовки к проведению истребительных мероприятий насаждение может быть в значительной степени повреждено или даже уничтожено, а вспышка затухнет по естественным причинам (в связи с возникновением эпизоотий в популяции вредителя, увеличением плотности популяций паразитов и хищников и т. п.).

Если в качестве возможного метода уменьшения характерного времени реализации решения ввести многоуровневую систему финансового резерва для решения задач лесозащиты и создания резервного фонда, решение об использовании которого может самостоятельно принять региональная служба защиты леса, то это позволит уменьшить характерное время наработки химических или биологических препаратов для воздействия на вредителей. Однако в данном случае возникает ситуация, при которой принципал лишается какого-либо контроля над деятельностью агента, что для систем управления недопустимо.

Рассмотрим модель оптимального принятия решения о поведении защитных мероприятий, минимизирующих ошибки первого и второго рода для произвольного вида насекомых (Кини, Райфа, 1981; Литвак, 1996, 2004; Лотов и др., 1997; Ларичев, 2002; Филинов, 2009; Соколов, Токарев, 2011). Пусть в некоторый момент времени t служба мониторинга оценила текущую плотность популяции как $x(t)$. Введем величину вероятности $R_1(x)$ ошибки первого рода и отказа от защитных мероприятий и величину вероятности $R_2(x)$ финансовых потерь при ошибке второго рода при принятии решения о проведении защитных мероприятий в случае, если вспышка не реализуется при некотором значении плотности популяции x . Безусловно, для разных видов вредителей конкретные значения вероятностей ошибок будут различаться, но асимптотика ошибок при минимальной и максимальной плотностях популяции будет одной и той же для всех видов насекомых. Будем полагать, что при $x \rightarrow 0$ и при $x \rightarrow \infty$ R_1 и $R_2 \rightarrow 0$, а при некотором критическом значении $x_{\text{крит}}$ вероятности ошибок первого рода и второго рода стремятся к максимуму. Запишем выражения для этих вероятностей R_1 и R_2 :

$$R_1(x) = A_1 x \exp(-\lambda_1 x), \quad (1)$$

$$R_2(x) = A_2 x \exp(-\lambda_2 x), \quad (2)$$

где $A_1, A_2, \lambda_1, \lambda_2$ – некоторые параметры.

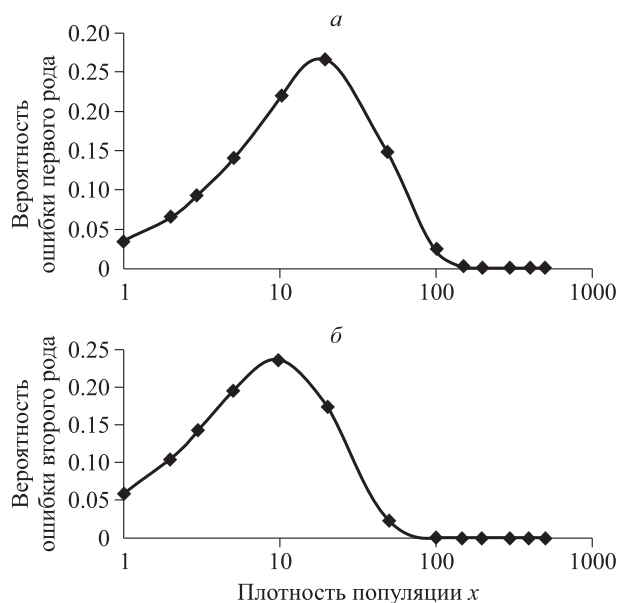


Рис. 2. Зависимость ошибки первого (а, коэффициенты $A_1 = 0.1, \lambda_1 = 0.05$) и второго (б, коэффициенты $A_2 = 0.2, \lambda_2 = 0.1$) рода (пропуск цели) от плотности популяции.

Параметры в уравнениях (1) и (2) связаны дополнительным нормирующим условием:

$$\int_0^{\infty} A_i x \exp(-\lambda_i x) dx = 1, \quad (3)$$

где $i = 1, 2$.

Вид функции вероятностей ошибок первого рода и второго рода при некоторых выбранных значениях параметров A_1 и λ_1 приведен на рис. 2.

Из рис. 2 следует, что при выбранных параметрах вероятностей ошибок первого и второго рода суммарный риск ошибок будет максимальным при плотности около 10 учетных единиц (особей на дерево, площадка, ветвь и т. п.). При плотностях популяции, больших 10 особей на учетную единицу, риски ошибок и первого, и второго рода существенно уменьшаются. Кажется бы, это означает, что принимать решение о проведении защитных мероприятий следует при достаточно высокой плотности популяции, и чем при большей плотности это решение принимается, тем меньше риск ошибок. Однако в этом случае при малой суммарной ошибке и высокой плотности популяции будет велик риск повреждения или гибели насаждения.

Риск (вероятность) гибели насаждения R_3 будем полагать нелинейно зависящим от плотности популяции. Определим этот риск следующим образом:

$$R_3 = \frac{x}{C + x}, \quad (4)$$

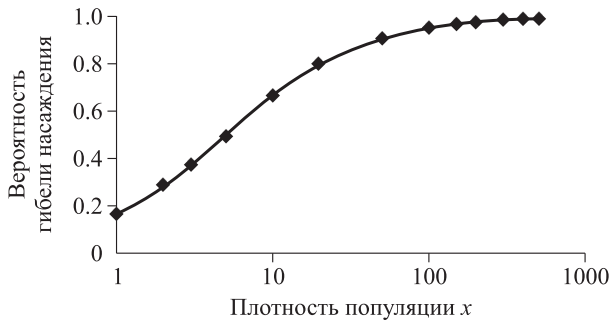


Рис. 3. Риск гибели при повреждении насаждения (константа $C = 5$).

где C – параметр (C есть плотность популяции, при которой вероятность гибели насаждения равна 0.5). $R_3 \rightarrow 1$ при $x \gg C$.

Из (4) следует, что с увеличением плотности популяции риск гибели насаждения, несмотря на уменьшение при этом риска при принятии решения, будет возрастать и стремиться к 1 (рис. 3).

Коэффициенты моделей (1)–(4) будут характеризовать свойства вида вредителей. Так, чем агрессивнее вид, тем меньшим для этого вида будет значение C (плотность популяции, при которой риск гибели насаждения равен 1/2). Надежность оценок рисков первого и второго рода будет определяться значениями коэффициентов A_1 , B_1 , A_2 и B_2 . Эти параметры можно оценить по данным мониторинга.

Предложенная в настоящей работе схема расчетов рисков при принятии решений в задачах лесозащиты может быть конкретизирована выбором значений коэффициентов модели для определенных видов вредителей в выделенных местообитаниях.

Если для оценки состояния популяции используются некоторые дополнительные к показателю плотности популяции параметры (см. статьи В. Г. Суховольского, А. В. Ковалева, О. В. Тарасовой и В. Е. Волкова в настоящем выпуске «Сибирского лесного журнала»), то для оценки риска защитных мероприятий необходимо перейти от многомерной шкалы состояния популяции к одномерной (например, вводя весовые коэффициенты для каждого из показателей состояния, рассматривая лексикографически упорядоченное множество показателей и проводя расчеты по модели (1)–(4) последовательно для каждого из показателей или же рассматривая Парето-множества показателей (Робертс, 1986; Подиновский, Ногин, 2007). Следует заметить, что при централизованном принятии решений по защите лесов на территории России ошибки

второго рода при принятии решений о защитных мероприятиях на отдельных территориях можно уменьшить, если наработанные, но не использованные инсектициды использовать для защитных мероприятий на других территориях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный подход позволяет рассмотреть проблемы организации системы лесозащиты и оценить эффективность принятия решений в задачах лесозащиты в зависимости от используемых принципов управления. Характер управленческих решений при использовании системы «агент – принципал» может зависеть не только от экологических процессов в лесных насаждениях и желания уменьшить повреждение леса вредителями, но и от полезности тех или иных решений для агента, и это необходимо учитывать при построении системы управления. Оптимальным решением о проведении защитных мероприятий будет при минимизации ошибок первого и второго родов и риска повреждения насаждения. В предложенной модели принятия решения коэффициенты для определенного вида вредителей можно определить по многолетним данным учетов, при этом в качестве показателя состояния популяции возможно использовать не только ее плотность, но и другие индикаторные показатели.

Работа выполнена в рамках госбюджетной темы ИЛ СО РАН № 121031500335-2 «Снижение рисков возрастающего воздействия болезней и вредителей на лесные экосистемы в условиях глобальных изменений окружающей среды» и при частичной финансовой поддержке РФФИ и Красноярского краевого фонда науки и Правительства Красноярского края (грант № 19-44-240003).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ (REFERENCES)

- Айзерман М. А., Алескеров Ф. Т. Выбор вариантов (основы теории). М.: Наука, 1990. 240 с. [Ayzerman M. A., Aleskerov F. T. Vybor variantov (osnovy teorii) (The choose of variants ((basic theory)). Moscow: Nauka (Science), 1990. 240 p. (in Russian)].
- Акерлоф Дж. Рынок «лимонов»: неопределенность качества и рыночный механизм // Thesis. 1994. Вып. 5. С. 91–104 [Akerlof J. Rynok «limonov»: neopredelennost' kachestva i rynochny mekhanizm (Market of «lemons»: Quality uncertainty and market mechanism) // Thesis. 1994. Iss. 5. P. 91–104 (in Russian)].

- Алескеров Ф. Т., Хабина Э. Л., Шварц Д. А. Бинарные отношения, графы и коллективные решения. М.: Физматлит, 2012. 344 с. [Aleskerov F. T., Habina E. L., Shvarts D. A. Binarnye otnosheniya, grafy i kollektivnye resheniya (Binary relations, graphs and collective decisions). Moscow: Fizmatlit, 2012. 344 p. (in Russian)].
- Алчиан А., Демсец Г. Производство, стоимость информации и экономическая организация // Вехи экономической мысли. Т. 5. Теория отраслевых рынков. СПб.: Экон. школа, 2003. 670 с. [Alchian A., Demsets G. Proizvodstvo, stoimost' informatsii i ekonomicheskaya organizatsiya (Production, information cost and economic organization) // Vekhi ekonomicheskoy mysli (Milestones of economic thought). V. 5. Teoriya otraslevykh rynkov (Industry market theory). St. Petersburg: Ekon. shkola (Econ. school), 2003. 670 p. (in Russian)].
- Болтон П., Деватрипонт М. Теория контрактов. М.: Дело, 2019. 800 с. [Bolton P., Devatripont M. Teoriya kontraktov (Contract theory). Moscow: Delo, 2019. 800 p. (in Russian)].
- Вебер М. Избранные произведения. М.: Прогресс, 1990. 808 с. [Veber M. Izbrannye proizvedeniya (Selected works). Moscow: Progress, 1990. 808 p. (in Russian)].
- Голубев А. В., Инсаров Г. Э., Страхов В. В. Математические методы в лесозащите (учет, прогноз, принятие решений). М.: Лесн. пром-сть, 1980. 101 с. [Golubev A. V., Insarov G. E., Strakhov V. V. Matematicheskie metody v lesozashchite (uchet, prognoz, prinyatie resheniy) (Mathematical methods in forest protection (accounting, forecasting, decision making)). Moscow: Lesn. prom-st (Timber Industry), 1980. 101 p. (in Russian)].
- Долан Э. Д., Линдсей Д. Е. Рынок: микроэкономическая модель. СПб.: Печатный двор, 1992. 496 с. [Dolan E. D., Lindsey D. E. Rynok: mikroekonomicheskaya model' (Market: microeconomic model). St. Petersburg: Pechatny dvor (Printing yard), 1992. 496 p. (in Russian)].
- Есипов Б. А. Методы исследования операций. СПб.: Лань, 2010. 253 с. [Esipov B. A. Metody issledovaniya operatsiy (The methods for study operations). St. Petersburg: Lan', 2010. 253 p. (in Russian)].
- Исаев А. С., Кондаков Ю. П. Принципы и методы лесонтомологического мониторинга // Лесоведение. 1986. № 4. С. 3–12 [Isaev A. S., Kondakov Yu. P. Printsipy i metody lesoentomologicheskogo monitoringa (Principles and methods of forest entomological monitoring) // Lesovedenie (For. Sci.). 1986. N. 4. P. 3–12 (in Russian with English abstract)].
- Исаев А. С., Еришов Д. В., Лупян Е. А., Кобельков М. Е. Особенности организации спутникового мониторинга массового размножения вредных насекомых в лесах Сибири // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2004. Т. 1. № 1. С. 164–174 [Isaev A. S., Ershov D. V., Lupyan E. A., Kobel'kov M. E. Osobennosti organizatsii sputnikovogo monitoringa massovogo razmnozheniya vrednykh nasekomykh v lesakh Sibiri (Features of the organization of satellite monitoring of insect's outbreaks in the forests of Siberia) // Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa (Modern problems of remote sensing of the Earth from space). 2004. V. 1. N. 1. P. 164–174 (in Russian with English abstract)].
- Исаев А. С., Лямцев Н. И., Еришов Д. В. Контроль численности лесных насекомых в системе лесонтомологического мониторинга // Разнообразие и динамика лесных экосистем России. М.: Тов-во науч. изд. КМК, 2012a. Кн. 1. С. 383–421 [Isaev A. S., Lyamtsev N. I., Ershov D. V. Kontrol' chislennosti lesnykh nasekomykh v sisteme lesoentomologicheskogo monitoringa (Control of the forest insects population in the system of forest entomological monitoring) // Raznoobrazie i dinamika lesnykh ekosistem Rossii (Diversity and dynamics of forest ecosystems in Russia). Moscow: Tov-vo nauch. izd. KMK, 2012a. Book 1. P. 383–421 (in Russian)].
- Исаев А. С., Суховольский В. Г., Овчинникова Т. М., Ковалев А. В., Пальникова Е. Н., Тарасова О. В. Экологический риск вспышек массового размножения лесных насекомых, моделирование и принятие решений в задачах лесозащиты // Изв. СПб. лесотех. акад. 2012b. Вып. 200. С. 173–184 [Isaev A. S., Soukhovolsky V. G., Ovchinnikova T. M., Kovalev A. V., Pal'nikova E. N., Tarasova O. V. Ekologicheskii risk vspyshek massovogo razmnozheniya lesnykh nasekomykh, modelirovanie i prinyatie resheniy v zadachakh lesozashchity (Ecological risk of outbreaks of forest insects, modeling and decision-making in forest protection problems) // Izv. SPb. lesotekh. akad. (Bull. St. Petersburg For. Acad.). 2012b. N. 200. P. 173–184 (in Russian with English abstract)].
- Качала В. В. Теория систем и системный анализ. М.: Академия, 2013. 265 с. [Kachala V. V. Teoriya sistem i sistemny analiz (Systems theory and systems analysis). Moscow: Akademiya, 2013. 265 p. (in Russian)].
- Кини Р., Райфа Х. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения. М.: Радио и связь, 1981. 560 с. [Kini R., Rajfa H. Prinyatie resheniy pri mnogikh kriteriyakh: predpocheniya i zameshcheniya (Multi-criteria decision making: preferences and substitutions). Moscow: Radio i svyaz (Radio and communication), 1981. 560 p. (in Russian)].
- Ларичев О. И. Теория и методы принятия решений. М.: Логос, 2002. 392 с. [Larichev O. I. Teoriya i metody prinyatiya resheniy (Decision theory and methods). Moscow: Logos, 2002. 392 p. (in Russian)].
- Лесной кодекс Российской Федерации от 04.12.2006 № 200-ФЗ [Lesnoy kodeks Rossiyskoy Federatsii ot 04.12.2006 № 200-FZ (Forest Code of the Russian Federation of 04.12.2006 N. 200-Federal Law) (in Russian)].
- Литвак Б. Г. Экспертные оценки и принятие решений. М.: ПП «Патент», 1996. 271 с. [Litvak B. G. Ekspertnye otsenki i prinyatie resheniy (Expert judgment and decision making). Moscow: PP «Patent», 1996. 271 p. (in Russian)].
- Литвак Б. Г. Разработка управленческого решения. М.: Дело: Акад. нар. хоз-ва при Правительстве Рос. Федерации, 2004. 416 с. [Litvak B. G. Razrabotka upravlencheskogo resheniya (Development of a management solution). Moscow: Delo: Akad. nar. hoz-va pri Pravitel'stve Ros. Federacii (Case: Academy of National Economy under the Government of Ros. Federation), 2004. 416 p. (in Russian)].
- Лотов А. В., Бушенков В. А., Каменев Г. К., Черных О. Л. Компьютер и поиск компромисса. Метод достижимых целей. М.: Наука, 1997. 240 с. [Lotov A. V., Bushenkov V. A., Kamenev G. K., Chernykh O. L. Komp'yuter i poisk kompromissa. Metod dostizhimykh celej (Computer and the search of a compromise. Method of achievable goals). Moscow: Nauka (Science), 1997. 240 p. (in Russian)].

- Макконелл К., Брю С. Экономикс. М.: Инфра-М, 2002. 983 с. [Makkonell K., Bryu S. Ekonomiks (Economics). Moscow: Infra-M, 2002. 983 p. (in Russian)].
- Пиндайк Р. С., Рубинфельд Д. Л. Микроэкономика. М.: Дело, 2000. 808 с. [Pindayk R. S., Rubinfeld D. L. Mikroekonomika (Microeconomics). Moscow: Delo, 2000. 808 p. (in Russian)].
- Подinovский В. В., Ногин В. Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. М.: Физматлит, 2007. 256 с. [Podinovskiy V. V., Nogin V. D. Pareto-optimal'nye resheniya mnogokriterial'nykh zadach (Pareto-optimal solutions to multicriteria problems). Moscow: Fizmatlit, 2007. 256 p. (in Russian)].
- Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 23.06.2016 № 361 «Об утверждении Правил ликвидации очагов вредных организмов» [Prikaz Ministerstva prirodnih resursov i ekologii RF ot 23.06.2016 N. 361 «Ob utverzhdenii Pravil likvidacii ochagov vrednyh organizmov» (The order of the Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation of 23.06.2016 N. 361 «On approval of the Rules for the elimination of foci of harmful organisms») (in Russian)].
- Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 16.09.2016 № 480 «Об утверждении порядка проведения лесопатологических обследований и формы акта лесопатологического обследования» [Prikaz Ministerstva prirodnih resursov i ekologii RF ot 23.06.2016 N. 480 «Ob utverzhdenii poryadka provedeniya lesopatologicheskikh obsledovaniy i formy akta lesopatologicheskogo obsledovaniya» (The order of the Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation of 16.09.2016 N. 480 «On approval of the procedure for conducting forest pathological examinations and the form of the forest pathological examination report») (in Russian)].
- Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 12.09.2016 № 470 «Об утверждении Правил осуществления мероприятий по предупреждению распространения вредных организмов» [Prikaz Ministerstva prirodnih resursov i ekologii RF ot 12.09.2016 N. 470 «Ob utverzhdenii Pravil osushchestvleniya meropriyatij po preduprezhdeniyu rasprostraneniya vrednyh organizmov» (The order of the Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation of 12.09.2016 N. 470 «On approval of the Rules for the implementation of measures to prevent the spread of harmful organisms») (in Russian)].
- Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 09.11.2020 № 913 «Об утверждении Правил ликвидации очагов вредных организмов» [Prikaz Ministerstva prirodnih resursov i ekologii RF ot 23.06.2016 09.11.2020 N. 913 «Ob utverzhdenii Pravil likvidacii ochagov vrednyh organizmov» (The order of the Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation of 09.11.2020 N. 913 «On approval of the Rules for the elimination of foci of harmful organisms») (in Russian)].
- Робертс Ф. Дискретные математические модели с приложениями к социальным, биологическим и экологическим задачам. М.: Наука, 1986. 494 с. [Roberts F. Diskretnye matematicheskie modeli s prilozheniyami k socialnym, biologicheskim i ekologicheskimi zadacham (Discrete mathematical models with applications to social, biological and environmental problems). Moscow: Nauka (Science), 1986. 494 p. (in Russian)].
- Соколов А. В., Токарев В. В. Методы оптимальных решений. Т. 1. Общие положения. Математическое программирование. М.: Физматлит, 2011. 564 с. [Sokolov A. V., Tokarev V. V. Metody optimal'nykh resheniy. T. 1. Obshchie polozheniya. Matematicheskoe programmirovaniye (Optimal decision methods. V. 1. General provisions. Mathematical programming). Moscow: Fizmatlit, 2011. 564 p. (in Russian)].
- Филинов Н. Б. Разработка и принятие управленческих решений: М.: Инфра-М, 2009. 308 с. [Filinov N. B. Razrabotka i prinyatie upravlencheskih resheniy (Development and adoption of management decisions). Moscow: Infra-M, 2009. 308 p. (in Russian)].
- Чанг Д., Пирс П. Х. Лесная экономика. М.: Лесн. дело, 2019. 384 с. [Chang D., Pearse P. H. Lesnaya ekonomika (Forest economics). Moscow: Lesn. delo, 2019. 384 p. (in Russian)].

DECISION MAKING IN THE PROBLEMS OF FOREST PROTECTION FROM INSECT PESTS

Soldatov V. V.¹, Soukhovolsky V. G.²

¹ Russian Centre for Forest Protection, Centre for Forest Protection of Krasnoyarsk Krai
Akademgorodok, 50a, 2, Krasnoyarsk, 660036 Russian Federation

² V. N. Sukachev Institute of Forest, Russian Academy of Science, Siberian Branch
Federal Research Center Krasnoyarsk Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch
Akademgorodok, 50/28, Krasnoyarsk, 660036 Russian Federation

E-mail: czl124@rcfh.ru, soukhovolsky@yandex.ru

The principles of organization in the forest protection system and the principles of decision-making in the tasks of carrying out protective measures are discussed. The problem of assessing costs and risks in the course of forest protection measures is considered. The functioning of a security service is better understood when viewed as an agent-principal system. In the «agent–principal» system, agency relations are established when one person – the principal or the owner (principal) – transfers certain rights to another person – the agent. In this case, the agent, in accordance with the contract concluded between them, is obliged to act in the interests of the principal in exchange for remuneration. The agent problem, well known in the contract theory of economic systems management, is that if the managing manager is not the owner (principal) of the control structure, then there is a mismatch between the management goals of the principal and the agent. Each of them – both the agent and the principal – has their own interests. The agent has its own interests, and he tends to follow the goals of the principal only to the extent that the contract encourages him to do so. In such a system, there is an uneven distribution of information between the agent and the principal. By analogy with such economic systems, the system of forest protection is considered, where the state or the region is the principal, and the heads of regional structures of the forest protection system have information about the state of the forest ecosystem and the right to make managerial decisions. The features of the functioning of such a system are discussed. The problem of decision-making when carrying out protective measures is considered. The main feature of the decision-making process when protecting a forest from an attack by insects is that there is a lag between the moment a decision is made to switch to protective measures and the moment when protective measures begin. A decision-making model that minimizes the risks of errors is considered. The proposed approach makes it possible to evaluate the efficiency of decision-making in forest protection tasks, depending on the management principles used. The optimal decision on carrying out protective measures will be while minimizing errors of the first and second genera and the risk of damage to the plantation. In the proposed decision-making model, the coefficients for a certain type of pest can be determined from long-term survey data, while as an indicator of the state of the population, it is possible to use not only the values of its density, but also other indicators.

Keywords: *forest ecosystem, forest insects, outbreaks of mass reproduction, management, risks, monitoring, protective measures, decision making, optimization.*

How to cite: Soldatov V. V., Soukhovolsky V. G. Decision making in the problems of forest protection from insect pests // *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* (Siberian Journal of Forest Science). 2021. N. 5. P. 101–111 (in Russian with English abstract).