



УДК 630*4

Совершенствование методов прогноза лесопатологической ситуации

© Н.И. Лямцев

Updating of forest pathology situation prediction procedures

N.I. Lyamtsev (Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry)
Procedures, algorithms and models for forest pathology information automated analysis and multiple forecasts development is analyzed. Forecast procedures for assimilation mechanism damage, tree decline, insect mass outbreak area dynamics are under study.

Key words: forecast, forest protection, hazardous organism outbreaks, tree decline (pathological mortality)

Совершенствование методов прогноза лесопатологической ситуации

Н.И. Лямцев

Анализируются методы, алгоритмы и модели для автоматизированной оценки лесопатологической информации и разработки прогнозов разного назначения. Рассмотрены методы прогнозирования повреждения ассимиляционного аппарата, отпада (усыхания) деревьев, динамики площадей очагов массового размножения насекомых.

Ключевые слова: прогноз, защита лесов, очаги вредных организмов, усыхание деревьев (патологический отпад)

ФБУ «Всероссийский НИИ лесоводства и механизации»

Адрес: 141202, г. Пушкино Московской обл., ул. Институтская, 15,

Телефон: 495 99-33-054

E-mail: vniilm@mail.ru

Совершенствование методов прогнозирования состояния лесов, возникновения и распространения очагов вредных организмов необходимо для повышения эффективности планирования и осуществления лесозащитных мероприятий, обеспечения санитарной безопасности в лесах.

Прогноз лесопатологической ситуации заключается в вероятностной оценке динамики численности вредных насекомых и развития болезней леса, распространения их очагов, динамики состояния насаждений, в определении предстоящей угрозы повреждения и усыхания насаждений, в оценке возможного ущерба [1, 4, 10].

Различают многолетние, долгосрочные, краткосрочные и текущие прогнозы. С учетом пространственного масштаба и системы лесоправления целесообразно выделять прогнозы национального, регионального и локального уровней.

Основной задачей прогнозирования является создание методов, алгоритмов и моделей для автоматизированного анализа лесопатологической информации и разработки прогнозов разного назначения.

Для корректировки или разработки новых методов прогнозирования необходимо использовать системный подход и создавать аналитические, эмпирико-статистические и имитационные модели. Имитационные модели позволяют рассчитывать сценарии изменения параметров лесопатологической ситуации в разнообразных условиях и ситуациях. Для более эффективного использования полученных моделей создаются алгоритмы и компьютерные программы.

Разработка лесозащитных прогнозов невозможна без получения информации, ее накопления в базах данных и полноценного анализа. Основными источниками ретроспективной лесопатологической информации являются статистическая и ведомственная отчетность по защите леса и материалы стационарных научных исследований [5, 8].

Разработку математических моделей и качественных (фоновых) прогнозных оценок необходимо начинать с обобщения имеющейся

информации и детального словесного описания процесса. Например, вспышки массового размножения многих насекомых (сибирского, соснового и непарного шелкопрядов, короеда-типографа и др.) появляются после засушливого вегетационного периода и закономерно развиваются во времени и пространстве. Для части насекомых в наиболее оптимальных условиях их развития массовые размножения реализуются с определенной периодичностью, в среднем близкой к 11-летней. Необходимо стремиться к максимальной детализации описания, с учетом наличия пространственно-временных особенностей (долгосрочных тенденций). Так, анализ показывает, что массовые усыхания ели в таежной зоне, по-видимому, происходили с частотой раз в сто лет, то есть существенно реже, чем в зоне хвойно-широколиственных лесов (раз в 20–25 лет). Необходимо учитывать, что обострение процесса усыхания ельников и образование масштабных очагов короеда-типографа в начале XXI века обусловлено не только погодной ситуацией, но, по-видимому, и глобальным потеплением.

Это позволяет прогнозировать увеличение частоты массовых усыханий ели и других лесобразующих пород с аналогичными экологическими требованиями, а также выбирать адекватные способы моделирования.

Наиболее простые прогностические модели — эмпирико-статистические. Прогноз осуществляется по соотношению между исходным и конечным состоянием системы в конкретных условиях без детального ее изучения.

Изменение лесопатологических показателей рассматривается как случайный стационарный процесс. С помощью алгоритмов строятся уравнения, позволяющие оценивать значения показателей в будущем с определенной точностью и достоверностью — по набору факторов, измеренных в предшествующие моменты времени.

Ослабление и усыхание насаждений — процесс многофакторный. Например, усыхание еловых лесов на большой территории обусловлено комплексом причин: накоплением перестойных насаждений; засухами, ухудшающими гидрологический режим; значительным

распространением гнилевых болезней; ветровалами; хозяйственной деятельностью — рубками леса, часто с нарушением санитарных правил и на завершающем этапе — массовым размножением короеда-типографа. Поэтому для анализа большого числа факторов, отбора наиболее информативных показателей и разработки прогнозных моделей необходим многомерный анализ.

Проверка и усовершенствование моделей невозможны без сбора новых данных. Построение модели должно иметь итеративный характер, когда каждый вариант проверяется с помощью дополнительных наблюдений.

Для прогнозирования лесопатологической ситуации на национальном уровне необходима оценка развития очагов вредных организмов и изменения состояния насаждений на территории России, анализ погодных аномалий, глобальных изменений климата и масштабных стихийных бедствий (лесных пожаров, ветровалов, засух и др.). Наиболее эффективным и удобным представлением информации является картирование территории. Разработка долгосрочных прогнозов осуществляется на основе анализа средних многолетних оценок, характера и тенденций изменения лесопатологических показателей [5].

Территориальной единицей таких прогнозов является субъект Российской Федерации (область, край, республика) или лесничество. При помощи ГИС-технологий и базы данных лесопатологической информации создаются цифровые карты распространения очагов вредных организмов, усыхания лесов, поврежденных пожарами, штормовым ветром и др. Ежегодный их анализ и сопоставление позволяют наглядно оценивать лесопатологическую ситуацию и прогнозировать ее развитие.

Подобное картирование для выделения зон вредоносности насекомых имеет смысл для Европейской части России, где площадь регионов относительно невелика и можно выявить зональность в распределении очагов в пределах ареала вида. Для Сибири и Дальнего Востока необходимы данные по лесничествам.

Для прогнозирования на региональном и локальном уровне требуется база данных, по-

зволяющая анализировать динамику площадей очагов по регионам и видам насекомых. Уже по форме диаграмм изменения площадей очагов вредных организмов можно судить об интенсивности и периодичности их массовых размножений, выявить долговременные тенденции (тренды).

Специализированная компьютерная программа анализа временных рядов позволяет рассчитывать параметры прогнозных моделей, проводить их экспертизу и выбирать наиболее адекватные варианты. Это дает возможность в режиме реального времени корректировать модели при получении новых данных или рассчитывать различные прогнозные сценарии, то есть осуществлять адаптацию моделей и корректировку прогнозов в автоматическом режиме [5].

При выраженной периодичности в колебаниях площадей очагов для долгосрочного их прогнозирования использовали модель сезонных эффектов. Для уточнения прогноза динамики очагов применяли комбинированную модель авторегрессии и скользящего среднего. Она имеет вид:

$$P_n = A + b_1 P_{(n-1)} + b_2 P_{(n-2)}, \quad (1)$$

где P — площадь очагов (га) в текущем (n) и предыдущие годы; A и b — коэффициенты уравнения авторегрессии второго порядка. Технология создания модели реализована на примере многолетних данных динамики очагов сибирского шелкопряда в различных регионах России (рис. 1).

Автоматизированная система прогнозирования позволяет моделировать динамику различных лесопатологических параметров (площадей очагов, численности вредителей) и разрабатывать прогнозы разного временного интервала.

Положительным моментом технологии является возможность быстрой адаптации моделей и корректировки прогнозов. Проведена оценка параметров моделей динамики площадей очагов для 10 видов наиболее опасных хвое- и листогрызущих насекомых на региональном уровне. К ним относятся сибирский шелкопряд (*Dendrolimus superans sibiricus* Tschetv.), сосновый шелкопряд (*Dendrolimus pini* L.), сосновая совка

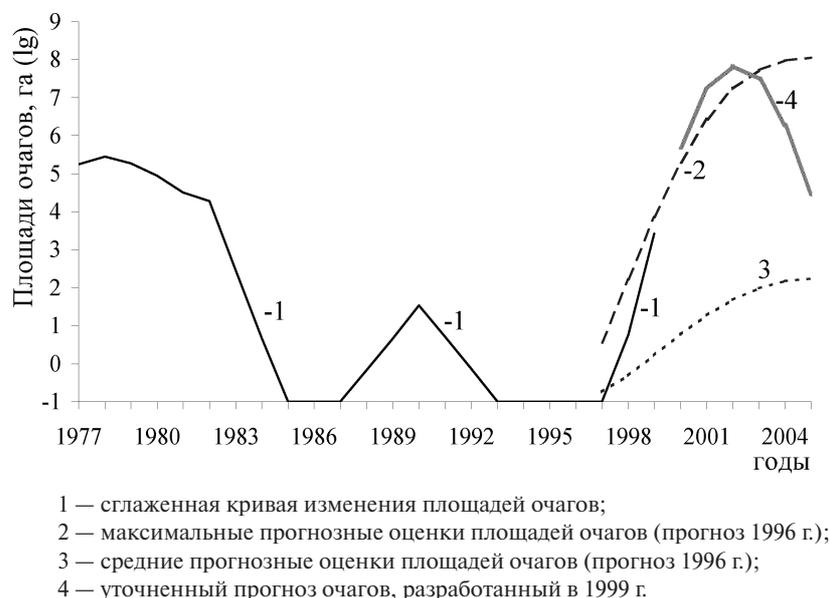


Рис. 1. Прогноз динамики очагов сибирского шелкопряда в Республике Якутия по модели авторегрессии

(*Panolis flammea* Denis & Schiff.), сосновая пяденица (*Bupalus piniarius* L.), шелкопряд-монашенка (*Lymantria monacha* L.), обыкновенный (*Diprion pini* L.) и рыжий (*Neodiprion sertifer* Geoffr.) сосновые пилильщики, пилильщик-ткач звездчатый (*Acantholyda posticalis* Mats.), непарный шелкопряд (*Lymantria dispar* L.), зеленая дубовая листовертка (*Tortrix viridana* L.).

Предлагаемая система простых моделей при последовательном их использовании позволяет существенно повысить эффективность прогнозирования. Причем это происходит в большей степени не за счет оценки дополнительных показателей, а благодаря ведению достаточно простых, но постоянных наблюдений (мониторинг), использованию более адекватных методов анализа и компьютерной обработки данных, автоматизирующих построение и адаптацию моделей [5].

Основой планирования работ по локализации и ликвидации очагов является прогноз степени повреждения и усыхания древостоев. Существующие методы краткосрочного прогнозирования повреждения ассимиляционного

аппарата включают в том или ином виде три компонента: кормовую норму вредителя, т. е. количество хвои или листья, уничтоженной одной особью в течение фазы гусеницы при избытке корма; оценку плотности популяции вредителя; оценку запаса корма для вредителя.

Прогноз дефолиации насаждений разрабатывается с использованием двух основных алгоритмов: таблицы критических уровней численности насекомых [7] и на основе кормовых норм гусениц (личинок) с учетом их смертности [2, 9].

Критической численностью является число насекомых-филлофагов, приходящихся в среднем на одно дерево или на 1 м² подстилки или почвы в насаждении и угрожающих ему 100 %-ным объеданием хвои (листья).

Степень объедания крон деревьев можно также прогнозировать по уравнениям регрессии, определяющим соотношение между плотностью популяции насекомых и последующей дефолиацией насаждений. Они составлены по экспериментальным данным для наиболее опасных видов насекомых [5].

Прогноз дефолиации насаждений насекомыми можно осуществлять по таблицам [2, 9], устанавливающим оценки плотности гусениц I возраста на 100 г сырой массы хвои (листвы), соответствующих разным уровням дефолиации (от 10 до 100 %). Они рассчитаны путем деления количества зеленой массы дерева на кормовую норму насекомого (зеленая масса, уничтожаемая средней гусеницей в условиях нормальной смертности при избытке корма). Перевод плотности популяции насекомых на унифицированную единицу учета и определение запаса зеленой массы осуществляются по таблицам, в зависимости от диаметра дерева, а в случае учетов на модельной ветви — диаметра ветви.

Наиболее важным для планирования лесозащитных мероприятий является прогноз усыхания деревьев. Нахождение зависимостей между степенью объедания кроны и величиной патологического отпада (доля усыхающих и усохших деревьев) в насаждениях основных древесных пород является сложной задачей. Ее решение возможно только в результате специальных многолетних экспериментальных исследований, поиска информативных показателей состояния деревьев и обобщения всех накопленных данных. Примеры подобных обобщений единичны [2]. Для прогнозирования текущего и общего отпада деревьев в дефолированных насаждениях используются аналитические [2] и регрессионные [5] модели.

Величина отпада деревьев в модели [2] зависит от трех параметров: степени повреждения кроны, максимально возможной степени усыхания насаждений и их возраста. Значение коэффициента максимального усыхания насаждений зависит от вида насекомого. Отпад деревьев по уравнениям регрессии оценивается с учетом степени и кратности повреждения кроны разных древесных пород.

В поврежденных лесах важно оценить три составляющих отпада деревьев: обусловленный массовым размножением хвое- и листогрызущих насекомых; воздействием огня и экстремальных погодных явлений (ветровал, бурелом, снеголом, засуха); последующим заселением стволовыми вредителями и их распространением в соседние неповрежденные насаждения.

Предварительный прогноз усыхания в пройденных пожаром насаждениях осуществляем на основе простых классификационных моделей, учитывающих качественную характеристику интенсивности повреждения — шкал балльной оценки степени повреждения деревьев и насаждений.

Основой для прогнозирования состояния пройденных пожарами насаждений являются таблицы угрозы гибели насаждения в целом (вероятность усыхания насаждения при определенной степени его повреждения огнем) и более детальные таблицы послепожарного отпада основных лесобразующих пород по числу стволов или по их массе.

Модели (в том числе и аналитические) отпада деревьев в пройденных низовыми пожарами насаждениях основаны на оценке только двух параметров: высоты нагара и толщины ствола, так как эти показатели легко измерить сразу же после пожара. Имеется значительное количество таких моделей [3]. Их анализ показывает, что прогнозные оценки в разной степени отличаются от реальных. Необходимо учитывать погрешность моделей и повышать их точность, прежде всего путем определения области (в т. ч. и географической) применения. Требуется создавать прогнозные таблицы для разных лесорастительных зон или лесных районов, если послепожарный отпад в насаждениях этих территорий существенно отличается.

Для прогнозирования выживаемости деревьев после пожаров целесообразно также учитывать степень повреждения луба в комлевой части ствола и на корневых лапах. На второй и последующие послепожарные годы для диагностики жизнеспособности и заселенности насаждений стволовыми насекомыми наиболее информативным показателем является распределение деревьев по 6 категориям санитарного состояния 1 — без признаков ослабления, 2 — ослабленные, 3 — сильно ослабленные, 4 — усыхающие, 5 — свежий сухостой, 6 — старый сухостой.

Имея данные перечета деревьев по категориям состояния и ступеням толщины, можно оценить степень ослабленности древостоя и величину древесного отпада на ближайший год

в поврежденных пожаром сосняках, используя следующую формулу [3]:

$$J_{\text{ослаб.}} = (0,25N_2 + 0,7N_3 + 0,95N_4) / \sum_{i=1}^{k=5} N_i; \quad (2)$$

Шансы на выживание деревьев разных категорий состояния зависят от их возраста [3], что необходимо принимать во внимание при прогнозе и проектировании санитарно-оздоровительных мероприятий (табл. 1).

Таблица 1

Вероятная величина годового отпада деревьев разных категорий состояния в сосняках, поврежденных низовым пожаром

Возрастная группа древостоя, класс	Вероятный годичный отпад деревьев по категориям состояния, %			
	1	2	3	4
II–III	8	18	53	74
IV и старше	2	7	41	65

Величина послепожарного отпада характеризует кормовую базу стволовых вредителей и необходима для прогноза их численности и угрозы заселения еще жизнеспособных деревьев.

Прогноз размножения стволовых вредителей леса базируется на оценке степени и характера (специфики) ослабления древостоев, биологических и популяционных показателей вредных насекомых. Особое значение имеет оценка погодной ситуации, например успешное завершение развития второго поколения короеда-типографа в благоприятных условиях приводит к интенсивному росту его очагов и повреждению насаждений.

При краткосрочном прогнозе заселения и усыхания насаждений в очагах стволовых вредителей угрозу заселения деревьев последующей генерацией стволовых вредителей можно оценивать по эмпирическим моделям [6]. В начальной фазе формирования эпизодических очагов ожидаемый отпад деревьев (%) под влиянием стволовых вредителей равен:

$$N = 0,3N_3 + 0,7N_4, \quad (3)$$

где N_3 и N_4 , соответственно, количество деревьев 3 и 4-й категорий состояния, %; 0,3 и 0,7 — вероятность заселения этих деревьев. В действующих очагах показатели деревьев 3 и 4-й категорий состояния меняются, соответственно, на 2 и 3-ю, которым угрожает заселение, а заселенные деревья 4 и 5-й категорий суммируются как текущий патологический отпад:

$$N = 0,3N_2 + 0,7N_3 + N_{4+5}, \quad (4)$$

Полученные нами данные в начальной фазе формирования очагов короеда-типографа свидетельствуют, что в результате засухи 2010 г. в ельниках Подмоскovie наблюдались заселение части деревьев 1 и 2-й категорий состояния. Отпад деревьев достигал 5 и 10 %, соответственно. В действующих очагах в ельниках отпад деревьев 1 и 2-й категорий состояния составлял в среднем 11 и 15 %.

Потенциальная угроза заселения деревьев (N) в действующем очаге короедов пропорциональна их энергии размножения (C) и коэффициенту использования кормового субстрата, т. е. отношению заселенной и типичной боковой поверхности стволов ($Q_{\text{зас.}} : Q_{\text{тип.}}$) [6]:

$$N = N_{4+5} \cdot C \cdot \frac{Q_{\text{зас.}} \cdot (0,3N_2 + 0,7N_3)}{Q_{\text{тип.}} \cdot N_{4+5}}, \quad (5)$$

Угрозу можно рассчитать, используя число или процент деревьев соответствующих категорий состояния и соотношение длины района поселения ($L_{\text{зас.}}$) и типичного района поселения ($L_{\text{тип.}}$).

В очагах размножения сосновых лубоедов возможен расчет угрозы заселения деревьев (N) по формуле, предложенной Е.Г. Мозолевской [1, 6]:

$$N = \frac{P_2 \cdot S \cdot 0,375}{P_{\text{макс.}} \cdot Q}, \quad (6)$$

где P_2 — запас молодых жуков на 1 га, шт.; S — площадь очага, га; 0,375 — коэффициент, учитывающий половой индекс жуков молодого поколения, их смертность на зимовке, возможность повторной откладки яиц жуками в следующем году; $P_{\text{макс.}}$ — максимально возможная плотность поселения большого (1,9 семей/дм²)

и малого (5,5 семей/дм²) сосновых лубоедов; Q — средняя площадь заселенной боковой поверхности одного дерева в текущем году, м².

Для хронических очагов в сосновых насаждениях рекомендуется следующая формула расчета угрозы заселения деревьев [1, 6]:

$$N = N_2 \cdot V_2 + N_3 \cdot V_3, \quad (7)$$

где N_2 и N_3 — количество деревьев, соответственно, 2 и 3-й категорий состояния; V_2 и V_3 — вероятность их заселения вредителями в зависимости от причины ослабления насаждений (табл. 2).

Таблица 2

Вероятность заселения деревьев
2 и 3-й категорий состояния
в зависимости от причины ослабления
насаждений

Категория состояния	Корневая губка		Промышленные выбросы
	II класс возраста	III класс возраста	
2	0,12	0,10	0,15
3	0,62	0,70	0,30

Таким образом, прогноз числа заселенных и усохших деревьев (N_{t+1}) в очагах стволовых вредителей по суммарной вероятности усыхания деревьев всех категорий состояния на ближайший год с учетом числа деревьев данной категории ($N_{1,2,3,4}$) и вероятности усыхания деревьев каждой категории ($V_{1,2,3,4}$) в конкретных условиях осуществляется по формуле:

$$N_{t+1} = (N_1 \times V_1) + (N_2 \times V_2) + (N_3 \times V_3) + (N_4 \times V_4) \times K_i, \quad (8)$$

где K_i — коэффициенты, учитывающие факторы ослабления насаждений и образования оча-

га стволовых вредителей (абсолютную численность и энергию размножения насекомых, метеорологические показатели, характеристики насаждений).

Наблюдения показали, что вероятности (коэффициенты) усыхания деревьев разных пород составляют в среднем: для 1-й категории состояния 0–0,11; 2-й — 0,01–0,25; 3-й — 0,02–0,7; 4-й — 0,5–0,95.

Проведенный анализ показывает, что в системе лесозащитного прогнозирования преобладают методы, имеющие описательный характер. Важной задачей развития системы является обобщение накопленной информации и количественная оценка параметров санитарного и лесопатологического состояния лесов. Для повышения точности прогнозирования необходимо в рамках лесопатологического мониторинга создавать базу данных вероятностей усыхания деревьев разных категорий состояния по основным лесообразующим породам с учетом условий местопроизрастания (по лесным районам и видам негативных факторов).

Необходимо разрабатывать алгоритмы и прогнозные модели, включающие набор классификационных критериев, таблиц, формул, номограмм для оценки вероятности усыхания деревьев и угрозы возникновения очагов насекомых и болезней леса, а также повреждения насаждений, в разной степени ослабленных негативными факторами. Эти критерии и модели нужно использовать для создания специальных программных продуктов, позволяющих вести верификацию моделей и автоматизировать процесс прогнозирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Воронцов А.И., Мозолевская Е.Г., Соколова Э.С. Технология защиты леса. М.: Экология. 1991. 304 с.
2. Голубев А.В. Система принятия решений о целесообразности лесозащитных мероприятий // Методы мониторинга вредителей и болезней леса. М.: ВНИИЛМ. 2004. С. 142–149.
3. Демаков Ю.П. Постпирогенная динамика ксилофильного энтомокомплекса в сосновых лесах Марийского полесья // Науч. тр. государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Йошкар-Ола. 2007. Вып. 2. С. 248–302.

4. Исаев А.С., Лямцев Н.И., Ершов Д.В. Прогнозирование и контроль массового размножения лесных насекомых в системе лесоэнтомологического мониторинга // Лесная таксация и лесоведение. Красноярск. 2005. Вып. 1 (34). С. 86–106.
5. Лямцев Н.И. Прогноз динамики численности основных видов фитофагов // Методы мониторинга вредителей и болезней леса. Справочник, т. III. М.: ВНИИЛМ. 2004. С. 121–141.
6. Методические рекомендации по надзору, учету и прогнозу массовых размножений стволовых вредителей и санитарного состояния лесов. Пушкино: ВНИИЛМ. 2006. 108 с.
7. Надзор, учет и прогноз массовых размножений хвое- и листогрызущих насекомых / Под. ред. А.И. Ильинского и И.В. Тропина. М.: Лесн. пром-сть. 1965. 525 с.
8. Обзор санитарного и лесопатологического состояния лесов на землях лесного фонда Российской Федерации за 2010 г. М.: ФГУ Российский центр защиты леса. 2011. 220 с.
9. Семевский Ф. Н. Прогноз в защите леса. М.: Лесн. пром-сть. 1971. 72 с.
10. Znamenskij V.S., Ljamcev N.I. Befalls- und Schadensprognose blattfressender Insekten // Forst und Holz. 1992. № 3. S. 53–56.