

Федеральное агентство лесного хозяйства  
(Рослесхоз)  
Федеральное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский  
институт лесоводства и механизации лесного хозяйства»  
(ФБУ ВНИИЛМ)

**Методы прогнозирования угрозы вспышек  
массового размножения хозяйственно опасных  
лесных насекомых**

Пушкино  
2023

УДК 630.4  
ББК 44.9  
Л97

**Лямцев Н.И. Методы прогнозирования угрозы вспышек массового размножения хозяйственно опасных лесных насекомых [Электронный ресурс] / Н.И. Лямцев. – Пушкино : ВНИИЛМ, 2023. – 62 с. – 1 CD-ROM. – Загл. с титул. экрана**

#### **Текстовое электронное издание**

Рецензенты:

**Ю.Н. Баранчиков** – заведующий лабораторией лесной зоологии Института леса им. В.Н. Сукачева ФИЦ КНЦ СО РАН, кандидат биологических наук;

**А.В. Селиховкин** – заведующий кафедрой защиты леса, лесоведения и охотоведения ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова», профессор, доктор биологических наук.

Методика разработана в результате выполнения НИР по теме «Прогнозирование угрозы вспышек массового размножения хозяйственно опасных лесных насекомых» Государственного задания ФБУ ВНИИЛМ на осуществление научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ в 2016–2018 гг. Используются материалы многолетних исследований массовых размножений насекомых, опыт ведения лесопатологического мониторинга, отечественная и зарубежная литература. Описаны алгоритмы оценки встречаемости очагов и частоты массовых размножений насекомых с использованием баз данных площадей очагов по всем регионам России. Предложены способы использования метеорологической информации и фазовых портретов популяций насекомых как инструментов прогнозирования. Установлены пороговые значения показателей. Для двух эколого-хозяйственных групп – хвое-листогрызущих и стволовых вредителей – предложены разные алгоритмы прогнозирования.

Методика рассмотрена секцией охраны и защиты лесов НТС Федерального агентства лесного и рекомендована для апробации, внедрения и учета в работе (протокол № НК-14/595-опер от 18 декабря 2018 г.).

**Lyamtsev N. Prediction procedures of commercially hazardous forest insects mass outbreaks. [E-resource] / N. Lyamtsev. – Pushkino : VNIILM, 2023. – 62 p. – 1 CD-ROM. – Title from title screen**

#### **Text e-publication**

The procedure was developed as a result of studies under «Prediction of commercially hazardous forest insects mass outbreaks» government assignment for VNIILMM research and development project in 2016–2018. Long-term mass insect outbreak study findings, forest pathology monitoring experience, national and foreign literature was applied. Outbreak occurrence evaluation algorithms and insect mass propagation are based on outbreak areas in all Russian regions. Ways of meteorological information and insect population phase profile applications as prediction tools are offered. Indicator threshold values have been identified. Various prediction algorithms were proposed for 2 environmental commercial groups – needle, leaf-eating and stem pests.

**ISBN 978–5–94219–295–2**

**Минимальные системные требования:** процессор AMD, Intel от 1 ГГц, 100 Мб HDD, ОЗУ от 1 Гб, CD-ROM, видеоадаптер от 1024 Мб или аналог; Windows Vista/7/8/10 или аналог; ПО – Adobe Acrobat Reader или аналог.

© ФБУ ВНИИЛМ, 2023

## Содержание

Введение .....	4
1. Выделение зон слабой, средней и сильной угрозы массовых размножений лесных насекомых .....	5
2. Анализ многолетней динамики площадей очагов .....	10
2.1. Долгосрочный и краткосрочный прогноз угрозы образования очагов... 17	
2.2. Прогнозные сценарии на основе анализа временных рядов.....20	
2.3. Оценка изменения степени угрозы массовых размножений насекомых во времени .....	23
3. Прогноз массовых размножений хвое-листогрызущих вредителей для зон слабой и средней угрозы.....	25
3.1. Оценка продолжительности текущего и среднего многолетнего межвспышечного периода .....	26
4. Прогноз массовых размножений хвое-листогрызущих вредителей для зоны сильной угрозы .....	28
4.1. Качественные показатели начала массового размножения .....	29
4.2. Количественные критерии угрозы массового размножения .....	30
4.3. Фазовые портреты и пороговые критерии массовых размножений .....	32
4.4. Метеорологические показатели прогноза массовых размножений.....	36
5. Прогноз угрозы массовых размножений стволовых вредителей.....	43
5.1. Зона слабой и средней угрозы .....	44
5.2. Зона сильной угрозы .....	45
5.3. Оценка угрозы размножения ксилофагов по фазовым портретам.....	46
6. Экспертная оценка и интегрированный прогноз массовых размножений .....	51
6.1. Расчеты точности моделей прогнозирования.....	53
Список использованной литературы.....	54
Приложение 1	
Список основных хозяйственно опасных лесных насекомых .....	56
Приложение 2	
Показатели угрозы массового размножения насекомых по регионам России .....	57

## Введение

Впервые система прогнозирования в России была разработана для важнейших хвое- и листогрызущих вредителей А.И. Ильинским [1, 2]. Она используется в практике лесозащиты и до настоящего времени [3]. Бурное развитие математического моделирования и применения компьютерных технологий создали предпосылки для повышения эффективности прогнозирования [4-8]. Однако для их реализации требуется получение и накопление информации в виде баз данных, а также создание, верификация и корректировка прогнозных моделей с учетом экологических особенностей различных видов и макропопуляций насекомых, занимающих определенные ландшафтно-географические зоны [9-14]. Для решения этих задач необходимы достаточно длинные временные ряды. Таким условиям в целом отвечают данные инвентаризации очагов, входящие в состав ежегодной статистической отчетности по защите леса [3].

Угроза массового размножения максимальна в условиях, благоприятных для вредных насекомых и неблагоприятных для их естественных врагов и насаждений [15-17]. Для прогноза необходим анализ связи реализации массового размножения с легко измеримыми показателями, определение наиболее эффективных из них, а также пороговых значений, указывающих на наличие угрозы и ее степень (слабую, среднюю, сильную).

Методика прогнозирования угрозы вспышек массового размножения разработана для наиболее опасных лесных насекомых, образующих очаги на большой территории (приложение 1). Методика обеспечивает возможность оценки и прогнозирования угрозы во времени и пространстве. Причем классификация территории и выделение зон слабой, средней и сильной угрозы (оценка ее среднего многолетнего уровня) должны предшествовать определению текущей и прогнозу будущей угрозы.

Выделение зон слабой, средней и сильной угрозы массовых размножений наиболее значимых видов отражает пространственное распределение (приуроченность) вспышек размножения, с учетом их частоты и распространения. Это позволяет, прежде всего, исключить из рассмотрения большие территории со стабильно низкой численностью вредных организмов [18-20].

Границы зон определяют, используя многолетние данные ежегодной инвентаризации площадей очагов вредных насекомых в регионах Российской Федерации, в том числе результаты государственного лесопатологического мониторинга. Эта единственная сопоставимая информация, охватывающая всю территорию. В разных регионах встречаемость очагов и ча-

стота массовых размножений существенно отличаются. Динамика площадей очагов насекомых имеет колебательный характер и коррелирует с изменением плотности популяций, что позволяет характеризовать частоту массовых размножений. Для корректировки этого показателя используют литературные данные детальных исследований периодичности массовых размножений [2, 5, 10-16].

Использование всех возможностей электронных таблиц для накопления и анализа лесопатологической информации позволяет решать различные задачи автоматизированной обработки данных: сортировку, выборку по критериям, представление в виде таблиц, графиков, диаграмм. Это значительно повышает эффективность анализа и особенно его оперативность, позволяет разрабатывать различные прогнозные сценарии и оценивать их реалистичность.

Предлагаемые подходы к организации оценки и прогнозирования угрозы массовых размножений вредных лесных насекомых и конкретные примеры прогнозов на основе многолетних данных могут быть полезными не только для специалистов по защите лесов, но и при решении задач в области экологического мониторинга и обеспечения экологической безопасности.

## **1. Выделение зон слабой, средней и сильной угрозы массовых размножений лесных насекомых**

Определение степени угрозы массовых размножений осуществляется для конкретного насекомого и территории. Единицей зонирования регионального уровня является лесничество (участковое лесничество), федерального уровня – субъект Российской Федерации или лесничество.

На подготовительном этапе подбирается и анализируется информация о видовом составе вредных насекомых с учетом приложения 1, о количестве вспышек массового размножения за определенный период (для каждого вида), о ландшафтной, лесотипологической, административно-территориальной приуроченности их очагов. Используются ретроспективные данные лесопатологического мониторинга, другие ведомственные и литературные данные, а также картографические материалы, интегрирующие накопленную многоплановую информацию.

Для повышения точности классификации территории и создания карт-схем степени угрозы массовых размножений насекомых используется интеграция показателей в виде средневзвешенной оценки в баллах.

Критериями для классификации территории по степени угрозы массовых размножений насекомых являются:

- частота (повторяемость) массовых размножений;
- встречаемость и вероятность образования очагов;
- интенсивность массовых размножений.

Пороговые значения показателей степени угрозы массовых размножений (конкретные числовые или балльные оценки) определяются на основе анализа многолетних данных ежегодной инвентаризации очагов вредных лесных насекомых в разных регионах Российской Федерации (приложение 2). Продолжительность периода для оценки показателей не менее 20 лет (желательно 30-50 лет).

Наиболее эффективным показателем для классификации (районирования) является периодичность массовых размножений насекомых. Она характеризуется высокой пространственной изменчивостью. Массовые размножения насекомых в благоприятных условиях наблюдаются в среднем примерно каждые 10-11 лет, в мало благоприятных – раз в 50 лет, в неблагоприятных условиях очаги не образуются.

Периодичность массовых размножений – средняя продолжительность интервала между годами начала следующих друг за другом массовых размножений на одной и той же территории. Периодичность можно приблизительно определять как отношение количества лет наблюдений к количеству массовых размножений за этот период.

Встречаемость (вероятность образования) очагов массового размножения в регионе Российской Федерации или лесничестве определяется как доля лет с очагами соответственно в регионе Российской Федерации или лесничестве от общего периода наблюдения, выраженная в процентах.

Интенсивность массовых размножений характеризуется двумя показателями: максимальной (за весь период наблюдений) и относительной площадью очагов.

Относительная площадь очагов определяется как доля площади очагов от покрытой лесом площади, занятой кормовыми породами конкретного насекомого.

Критерием зоны сильной угрозы массовых размножений является периодичность вспышек массового размножения раз в 10 лет, средней угрозы – раз в 20-25 лет, слабой угрозы – более редкая повторяемость массовых размножений. Этот показатель является универсальным и не зависит от размера единицы районирования.

Границами зоны сильной угрозы массового размножения насекомых для регионов является встречаемость очагов более 50%, средней угрозы

– 21-50%, слабой угрозы – 1-20%. Для лесничеств сильная угроза массового размножения существует при встречаемости очагов более 30%, средняя угроза – 11-30%, слабая угроза – до 10%.

По интенсивности массовых размножений границами зоны сильной угрозы массового размножения насекомых для регионов является площадь очагов (при максимальном их распространении) более 10000 га, средней угрозы – 1000-10000 га, слабой угрозы – до 1000 га.

Границами зоны сильной угрозы массового размножения насекомых является относительная площадь очагов более 10%, средней угрозы – 1-10%, слабой угрозы – до 1%.

По степени угрозы массовых размножений можно оценивать вредоносность насекомых. Используем следующие показатели вредоносности, выраженные в баллах [20]. *Максимальная* вредоносность (5 баллов) - распад насаждений вследствие гибели основной лесообразующей породы. *Высокая* вредоносность – хроническое снижение продуктивности насаждений вследствие куртинного усыхания деревьев первого, а также массового усыхания деревьев второго яруса. *Умеренная* вредоносность – хроническое снижение продуктивности насаждений, связанное с глубокими потерями прироста древесины и семеношения. *Слабая* вредоносность – временное снижение продуктивности насаждений за счет потерь прироста древесины и семеношения. *Незначительная* вредоносность (1 балл) – экономически неощутимые потери прироста древесины.

Критерии степени (пороговые значения, границы зон) угрозы с использованием 5-ти балльной шкалы (низкая, слабая, средняя, сильная, максимальная) приведены в таблице 1.

При оценке показателей таблицы используются уже имеющиеся данные и картографические материалы, отражающие зонирование территории регионов Российской Федерации по степени вредоносности, популяционной динамике и другим составляющим, характеризующим угрозу массовых размножений [17, 18, 20].

Среднюю (интегральную) оценку угрозы массового размножения насекомого рассчитываем как средне взвешенную балльных значений показателей таблицы. Такой подход позволяет проводить расчеты и тогда, когда имеются оценки не всех показателей. При этом границы интервалов интегральной оценки остаются стабильными, а в случае суммирования баллов показателей это условие не выполняется.

Использование показателя «периодичность массовых размножений» является обязательным.

Шкала (границы классификационных интервалов) интегральной балльной оценки угрозы массовых размножений насекомых: слабая – до

1,7 балла, средняя – 1,8-3,4 балла, сильная – 3,5 балла и более. Это позволяет использовать результаты классификации в других системах районирования, например, лесозащитного (зоны слабой, средней и сильной лесопатологической угрозы).

Таблица 1

**Шкала балльной оценки показателей угрозы массовых размножений насекомых**

Показатели	Распределение оценок показателей по пятибалльной шкале				
	1	2	3	4	5
Периодичность массовых размножений, лет	более 50	26-50	21-25	12-20	до 11
Встречаемость очагов в регионах, %	до 10	11-30	31-50	51-70	71-100
Встречаемость очагов в лесничествах, %	до 3	4-10	11-20	21-40	более 40
Максимальная площадь очагов, га	до 10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup> -10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> -10 <sup>4</sup>	10 <sup>4</sup> -10 <sup>5</sup>	более 10 <sup>5</sup>
Относительная площадь очагов, %	менее 0,1	0,1-1,9	2,0-9,9	10-19,9	20 и более
Угроза массового размножения	Низкая	Слабая	Средняя	Сильная	Максимальная

Объединяя территории с близкими показателями, проводим районирование по степени угрозы массового размножения насекомых. Для создания карты зон угрозы (риска) массового размножения насекомых осуществляем территориальную привязку полученных оценок к картографической основе.

**Алгоритм зонирования территории.** Используя многолетние данные инвентаризации очагов по каждому виду насекомых за период, продолжительностью не менее 20 лет (желательно 30-50 лет), проводим оценку показателей для каждого региона (лесничества). Устанавливаем периодичность массовых размножений, максимальную площадь очагов, рассчитываем относительную площадь очагов и встречаемость очагов. Сравнивая регионы по величине каждого показателя или средней (интегральной) оценки с пороговыми значениями (шкала в таблице), объединяем (классифицируем) их в более однородные группы (на картах-схемах они образуют зоны или районы), отличающиеся по степени угрозы массового размножения (низкая, слабая, средняя, сильная, максимальная).

*Примеры.* Рассчитаем оценку угрозы массового размножения соснового шелкопряда в Воронежской обл. Периодичность его массовых размножений – около 10 лет (5 баллов), встречаемость (вероятность образования) очагов – 65% (4 балла), максимальная площадь очагов – 22095 га (4 балла). Средний балл – 4,25. Следовательно, регион относится к зоне сильной угрозы массового размножения.

Для Ульяновской обл.: периодичность массовых размножений соснового шелкопряда – около 30 лет (2 балла), встречаемость очагов – 5% (1 балл), максимальная площадь очагов – 1000 га (2 балла). Средний балл – 1,67. Регион относится к зоне слабой угрозы массового размножения.

Для Тамбовская обл.: периодичность массовых размножений соснового шелкопряда – около 20 лет (4 балла) встречаемость очагов – 15% (2 балла), максимальная площадь очагов – 110 га (2 балла). Средний балл – 2,7. Регион относится к зоне средней угрозы массового размножения соснового шелкопряда.

Рассчитаем оценку угрозы массового размножения непарного шелкопряда в Волгоградской обл. Периодичность его массовых размножений – около 10 лет (5 баллов), встречаемость очагов – 100% (5 баллов), максимальная площадь очагов – 115425 га (5 балла). Средний балл – 5. Следовательно, регион относится к зоне максимальной угрозы массового размножения.

Оценка угрозы массового размножения непарного шелкопряда в Ольховском лесничестве Волгоградской обл. Периодичность его массовых размножений – около 10 лет (5 баллов), встречаемость очагов – 72% (5 баллов), относительная площадь очагов – 19% (4 балла). Средний балл – 4. Следовательно, лесничество относится к зоне сильной угрозы массового размножения.

Оценка угрозы массового размножения непарного шелкопряда в Быковском лесничестве Волгоградской обл. Периодичность его массовых размножений – 21 год (3 балла), встречаемость очагов – 12% (3 балла), относительная площадь очагов – 13% (4 балла). Средний балл – 3,33. Следовательно, лесничество относится к зоне средней угрозы массового размножения.

На локальном уровне при оценке угрозы массового размножения насекомых используем территориальную приуроченность очагов к оптимальным для развития насекомых насаждениям. Оптимальность и степень угрозы массового размножения характеризуется лесоводственно-таксационными показателями, характеристиками рельефа. Это позволяет дать описание (параметры) резерваций, первичных и вторичных очагов насекомых.

На их основе выделяются территории (создаются карты-схемы) потенциального расположения очагов. При этом необходимо учитывать географическую изменчивость параметров приуроченности очагов.

## 2. Анализ многолетней динамики площадей очагов

Для оценки показателей угрозы массового размножения проводим ретроспективный анализ данных по площадям очагов насекомых. Он позволяет оценить важные для прогноза параметры: периодичность образования очагов, продолжительность межочагового периода, наличие устойчивых тенденций в их изменении. По индивидуальным особенностям ряда площадей очагов массового размножения можно судить о специфике их пространственной (в разных регионах) и временной динамики. При этом необходимо учитывать основной недостаток этих данных, обусловленный неточностью оценки площадей очагов и запаздыванием их выявления. С повышением достоверности материалов и по мере их накопления точность прогнозов будет увеличиваться.

Важным моментом является также создание баз данных. Во многих регионах России учет очагов вредителей леса осуществляется с 1955 г. Информация по площадям очагов представлена в виде электронных таблиц в формате Microsoft Excel (XLS). Многолетние данные площадей очагов имеются для наиболее опасных насекомых: сибирского шелкопряда (*Dendrolimus sibiricus* Tschetv.), соснового шелкопряда (*Dendrolimus pini* L.), сосновой совки (*Panolis flammea* Schiff.), сосновой пяденицы (*Bupalus piniarius* L.), шелкопряда-монашенки (*Lymantria monacha* L.), непарного шелкопряда (*Lymantria dispar* L.), зеленой дубовой листовертки (*Tortrix viridana* L.), златогузки (*Euproctis chrysorrhoea* L.), обыкновенного соснового (*Diprion pini* L.) и рыжего (*Neodiprion sertifer* Geoffr.) пилильщиков.

База данных обеспечивает формирование выборок для последующего графического представления, статистического анализа и моделирования при помощи соответствующих запросов. Обработка данных осуществляется с помощью стандартных программ. По временным рядам определяем количественные оценки показателей, прогнозируем периодичность (частоту) массовых размножений, время начала новой вспышки численности.

Рассмотрим алгоритмы прогнозирования массовых размножений на примере анализа динамики площадей очагов сибирского шелкопряда. Наиболее простым показателем угрозы массового размножения является относительная продолжительность функционирования очагов за доста-

точно длинный период наблюдений (табл. 2). Этот показатель характеризует частоту встречаемости очагов и определяется как отношение количество лет с очагами к количеству лет наблюдений.

Таблица 2

**Продолжительность существования очагов сибирского шелкопряда по регионам России (данные 1962–2022 гг.)**

№	Субъект РФ	Число лет		№	Субъект РФ	Число лет	
		с очагами	без очагов			с очагами	без очагов
1	Алтайский край	36	25	13	Сахалинская обл.	8	53
2	Республика Алтай			14	Свердловская обл.	2	59
3	Амурская обл.	24	37	15	Томская обл.	32	29
4	Башкортостан	3	58	16	Тыва	53	8
5	Бурятия	32	29	17	Тюменская обл.	5	56
6	Иркутская обл.	53	8	18	Удмуртия	9	52
7	Кемеровская обл.	15	46	19	Хабаровский край	8	53
8	Красноярский край	29	32	20	Хакасия	15	43
9	Марий Эл	1	60	21	Челябинская обл.	13	48
10	Новосибирская обл.	22	39	22	Читинская обл.	22	39
11	Омская обл.	2	59	23	Саха (Якутия)	38	23
12	Приморский край	8	53				

*\*Временные ряды по Алтайскому краю и Республике Алтай незначительные, поэтому анализ проведен по объединенной территории.*

Рассчитываем *встречаемость очагов*. Как видно из табл. 2 очаги сибирского шелкопряда в Красноярском крае были в течение 29 лет из 61 (их встречаемость равна 47,5%), а с учетом не выявленных (неучтенных) очагов – предположительно около 60%. Следовательно, по этому показателю степень угрозы массового размножения сибирского шелкопряда характеризуется как высокая. Встречаемость очагов (за период 1962–2022 гг.) больше только на Алтае (59%), в Якутии (62,3%), Иркутской обл. и Тыве (86,9%).

Для более детального и наглядного представления особенностей многолетней динамики очагов начинаем с графического анализа. Используя данные лесопатологического мониторинга, составляем диаграммы динамики показателей по регионам (рис. 1).

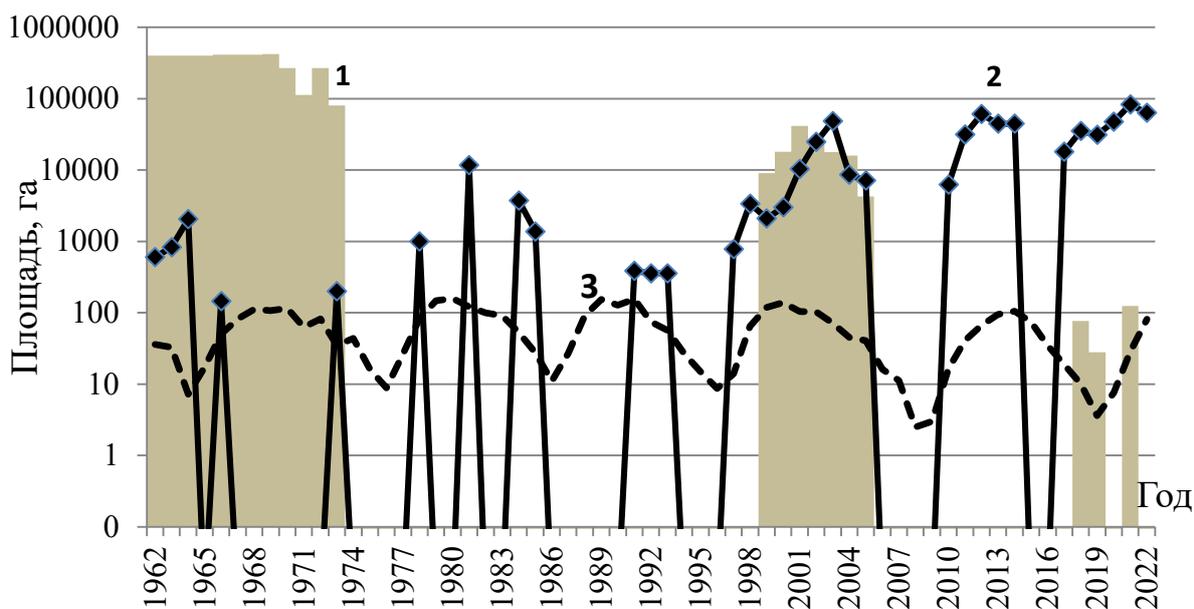


Рис. 1. Динамика площадей очагов сибирского шелкопряда  
1 – Читинской обл. (Забайкальский край), 2 – Республике Бурятия, 3 – числа Вольфа

Как видно из рис. 1 и табл. 2 очаги сибирского шелкопряда в Читинской обл. (Забайкальский край) были в течение 22 лет из 61 (их встречаемость равна 36,1%). В близко расположенной Республике Бурятия очаги были в течение 32 лет из 61 (их встречаемость равна 52,5%). Основное отличие заключается в том, что массовые размножения в Республике Бурятия происходили в два раза чаще. С учетом незавершенной в 2022 г. вспышки размножения их будет шесть. Для региона характерны циклические массовые размножения с максимально возможной периодичностью 10-11 лет. Кроме того наблюдается устойчивое увеличение площади очагов. Для Забайкальского края наоборот наблюдается устойчивое снижение площадей очагов и в два раза меньшая частота массовых размножений.

Для повышения точности выделения начала и завершения массового размножения сопоставляем диаграммы изменения площадей очагов с диаграммой солнечной активности (рис. 2).

Возникновение очагов в основном приурочено к максимальной солнечной активности. Очаги достигают наибольшей величины в период низкой солнечной активности (ее снижения). Регионы отличаются по степени запаздывания образования очагов относительно пика солнечной активности. Например, для непарного шелкопряда минимальный период запаздывания наблюдается в областях, расположенных на юго-востоке зоны вспышек массового размножения в европейской части России (Республики Башкортостан, Татарстан, Саратовская и Оренбургская области). Через два года реакция на изменение солнечной активности проявляется в Во-

ронезской, Ульяновской, Челябинской областях, через три года – в Пензенской, Тамбовской. Существование такой последовательности в возникновении очагов, ориентированной с юго-востока на северо-запад, также необходимо использовать для прогнозов.

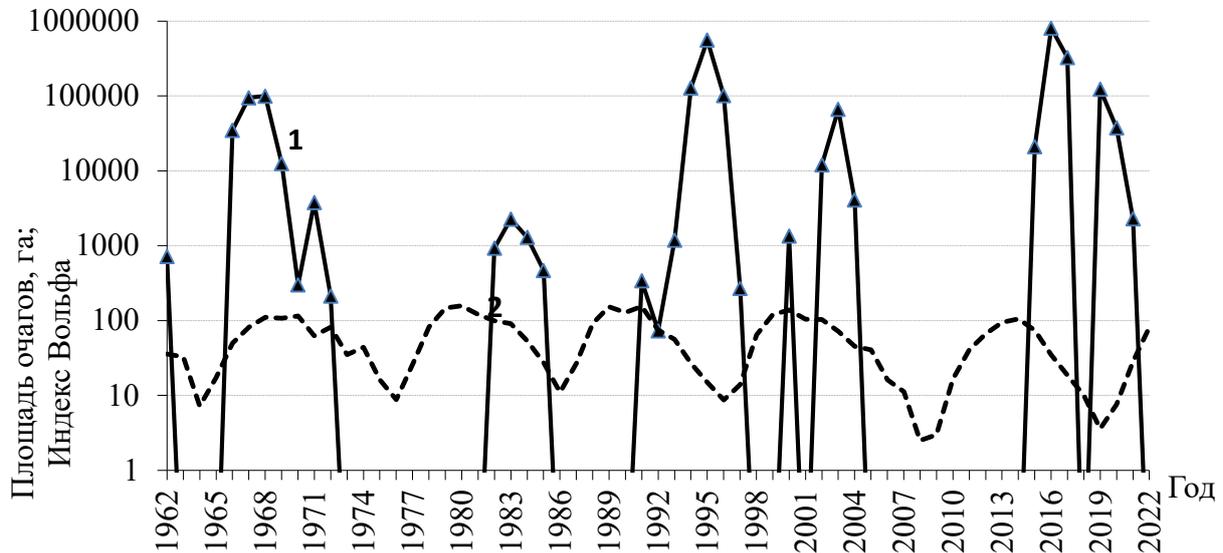


Рис. 2. Многолетняя динамика площадей очагов сибирского шелкопряда (1) и солнечной активности (2) в Красноярском крае

Анализ динамики площадей очагов (рис. 1) показывает, что массовые размножения сибирского шелкопряда в Республике Бурятия начинались раньше, чем в Забайкальском крае и других регионах. Это позволяет использовать их как показатель для ранней диагностики угрозы образования очагов.

*Оценка периодичности образования очагов.* Данные инвентаризации очагов позволяют дать предварительную характеристику цикличности массовых размножений. В ситуации, когда очаги наблюдаются часто, бывает трудно определить годы начала и завершения массовых размножений. Для более точного определения их количества (частоты массовых размножений) предлагаем использовать график динамики солнечной активности и проводить сопряженный анализ (рис. 1, 2).

Анализ многолетней динамики площадей очагов показывает, что в Красноярском крае с 1963 г. реализовалось 5 вспышек численности сибирского шелкопряда со средней периодичностью 11 лет (рис. 2).

При этом прослеживается некоторая закономерность – интенсивные вспышки (1966–1972, 1991–1997 гг.) чередуются с менее интенсивными (1982–1985, 2000–2004 гг.). Последняя вспышка массового размножения (началась наиболее вероятно в 2013 г.) с учетом этой закономерности яв-

ляется интенсивной, действительно площадь очагов составила около миллиона гектар. Кроме того, она оказалась одной из наиболее продолжительных (2015–2021 гг.), а отсутствие зарегистрированных очагов в 2018 г. наиболее вероятно является некорректной оценкой ситуации при их инвентаризации.

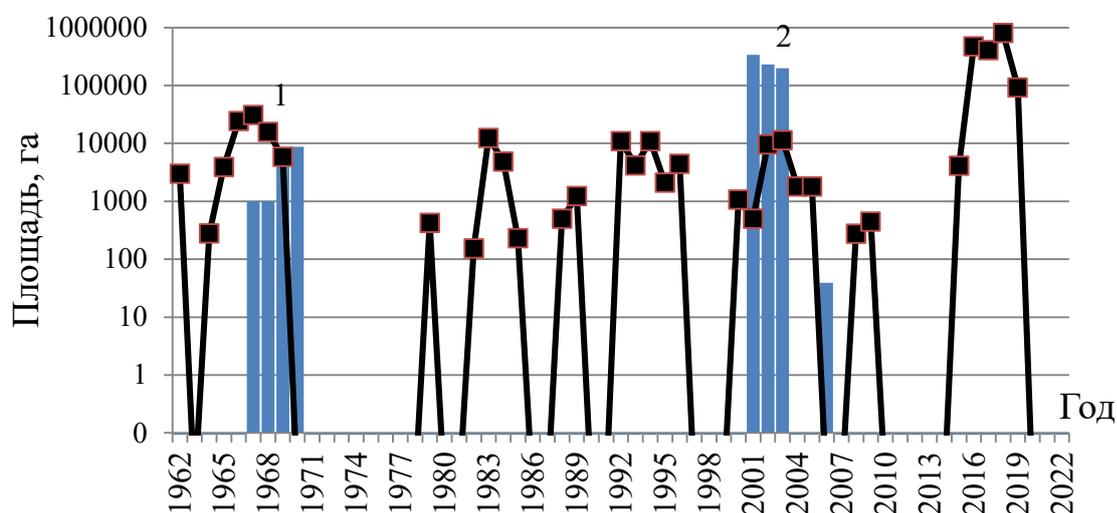


Рис. 3. Динамика площадей очагов сибирского шелкопряда в Томской обл.(1) и Хабаровском крае (2)

Как видно из рис. 2 и 3, динамика очагов в Томской обл. и Красноярском крае аналогичны, что позволяет рассматривать их как единое пространство при оценке угрозы образования очагов. По сравнению с ними в Хабаровском крае частота интенсивных массовых размножений в два-три раза меньшая, их периодичность составляет около 30 лет.

В Тюменской обл. очаги массового размножения сибирского шелкопряда были зафиксированы только в 1991–1992 годах на площади 19230 и 39349 га. Следующее массовое размножение было существенно менее интенсивное, очаги только в 2005 г. на площади 200 га. Последнее массовое размножение оказалось самым интенсивным, очаги в 2018–2019 гг. были на площади 307136 и 276053 га.

Таким образом, Тюменская обл. сравнительно недавно вошла в зону очагового распространения сибирского шелкопряда. В последние 30 лет массовые размножения возникают с периодичностью около 13 лет, наблюдается чередование размножений по степени интенсивности. В динамике очагов имеется тренд, значительное (на порядок) увеличение площади. Прогноз: следующее массовое размножение не будет интенсивным (незначительный охват территории), после длительного (8-10 лет) межвспышечного периода очаги сформируются в районе 2030 г. на площади около 100 тыс. га.

Аналогичная ситуация, но с еще меньшей угрозой массового размножения, характерна для Омской обл., где очаги отмечены только в 1992 г. (640 га) и 2018 г. (21623 га).

Изложенные методы используются для оценки показателей угрозы массового размножения насекомых на конкретных территориях лесного фонда. При прогнозировании угрозы, прежде всего, анализируются данные приложения 2. В табл. 1 приложения 2 приведена площадь очагов (средняя ежегодная за период их существования и максимальная), встречаемость очагов, число и периодичность массовых размножений сибирского шелкопряда для 23 регионов России.

Чем чаще массовые размножения, тем выше угроза их образования. Так за 55 лет число массовых размножений сибирского шелкопряда в различных регионах колебалось от 1 (Свердловская, Омская области, Марий Эл) до 5 (Республики Якутия, Тыва, Бурятия, Алтай; Иркутская, Томская, Амурская области, Красноярский край). Период колебаний при этом составляет соответственно от 55 до 11 лет. В Приморском крае и Кемеровской обл. за 55 лет было 4 массовых размножения, в Новосибирской и Челябинской областях – 3. В республиках Башкортостан, Удмуртия, Хакасия; Тюменской, Читинской, Сахалинской областях и Хабаровском крае было по 2 массовых размножения сибирского шелкопряда.

Зона распространения очагов массового размножения соснового шелкопряда по данным за 1977–2020 гг. охватывает 24 региона России (табл. 2, приложение 2). Наиболее крупные очаги наблюдались в Алтайском крае (30800 га), Воронежской (22095 га) и Ростовской (8896 га) областях.

Зона сильной вредоносности соснового шелкопряда относительно невелика. Очаги встречаются наиболее часто (более 65% лет от всего периода наблюдения) только в трех регионах: Волгоградской, Воронежской и Ростовской областях. В этих областях, а также и в Алтайском крае наибольшая частота массовых размножений, они происходят раз в 10-11 лет (четыре вспышки за период наблюдения). Встречаемость очагов в Алтайском крае и Республике Удмуртия составляет 25-50%; в Новосибирской, Тамбовской, Читинской областях – 10-20%. В Новосибирской, Тамбовской и Курганской областях массовые размножения наблюдаются раз в 20 лет. В остальных 14 регионах очаги действовали эпизодически (за 40 лет наблюдения одно массовое размножение продолжительностью 1-3 года).

Зона сильной вредоносности сосновой совки также относительно невелика, но ее очаги распространены на значительно большей территории,

чем у соснового шелкопряда. Наиболее крупные очаги наблюдались в Алтайском крае (259879 га), Ростовской (39637 га), Тюменской (12000 га), Челябинской (9042 га), Пермской (7300 га) и Воронежской (6785 га) областях.

Наиболее длительно (60% лет от всего периода наблюдения) очаги сосновой совки существовали только в Республике Удмуртия. Встречаемость очагов в Воронежской и Ростовской областях и Алтайском крае составляет 25-50%; в Саратовской и Читинской областях – 10-25%. В остальных 17 регионах очаги существовали 1-3 года из 40 лет. Наиболее часто массовые размножения наблюдались в Воронежской области (раз в 13 лет), Алтайском крае, Республике Удмуртия, Ростовской, Саратовской, Оренбургской, Новгородской и Свердловской областях (раз в 20 лет).

Зона сильной вредоносности шелкопряда-монашенки сопоставима с сосновой пяденицей и совкой. Наиболее длительно очаги монашенки существовали в Челябинской обл. (более 75% лет от всего периода наблюдения); в Пензенской, Курганской, Тюменской, Новосибирской областях и Республике Удмуртия – 51-75% лет. В Ульяновской, Самарской, Омской, Амурской областях, Республике Башкортостан, Алтайском крае очаги действовали в течение 25-50% лет от всего периода наблюдения; в Липецкой, Рязанской, Оренбургской, Томской областях, Хабаровском крае и Республике Татарстан – 10-25% лет. В остальных 10 регионах очаги монашенки существовали 1-3 года из 32 лет наблюдения.

Наиболее длительно очаги сосновой пяденицы существовали в Пензенской обл. (более 75% лет от всего периода наблюдения); в Белгородской, Воронежской, Ростовской и Курганской областях, Алтайском крае и Республике Удмуртия – 51-75% лет. В Ленинградской, Липецкой, Тверской, Ульяновской, Челябинской областях очаги действовали в течение 25-50% лет от всего периода наблюдения, в Республике Башкортостан, Оренбургской, Пермской, Читинской областях – 10-25% лет. В остальных 16 регионах очаги существовали 1-3 года из 32 лет наблюдения.

Очаги рыжего соснового пилильщика наиболее длительно существовали в Белгородской, Воронежской, Волгоградской, Липецкой, Оренбургской, Пензенской, Ростовской, Самарской, Саратовской, Ульяновской областях и Республике Удмуртия (более 75% лет от всего периода наблюдения); в Тюменской, Томской, Новосибирской Челябинской областях и Ставропольском крае – 51-75% лет. В Курганской, Кемеровской областях, республиках Татарстан и Башкортостан очаги действовали в течение 25-50% лет от всего периода наблюдения. В Смоленской, Омской, Новгородской областях, Республике Чувашия и Красноярском крае очаги существовали 1-3 года из 32 лет наблюдений. В остальных 15 регионах очаги наблюдались в среднем 2 года за 10-летний период.

Зона вредности обыкновенного соснового пилильщика существенно меньше, чем рыжего пилильщика. Наиболее длительно очаги существовали в Волгоградской, Пензенской, Ростовской областях (более 75% лет от всего периода наблюдения); в Воронежской, Новосибирской областях и Республике Удмуртия – 51-75% лет. В Белгородской, Липецкой, Оренбургской, Самарской, областях очаги действовали в течение 25-50% лет от всего периода наблюдения. В Кемеровской и Тюменской областях очаги существовали в среднем 2 года за 10-летний период, в остальных 21 регионе очаги наблюдались в 4-5 раз реже.

Очаги звездчатого пилильщика-ткача встречались наиболее часто (более 50% лет от всего периода наблюдения) в Владимирской, Волгоградской, Курганской, Оренбургской, Тверской, Томской, Челябинской, областях и Алтайском крае (табл. 7, приложение 2). Ежегодно очаги встречались в Оренбургской и Челябинской областях. Один из эпицентров формирования очагов звездчатого пилильщика-ткача в Сибири – сосновые молодняки, находящиеся на юге Челябинской и Курганской областей, а также Алтайского края. Таким образом, в азиатской части России можно выделить зону сосняков, произрастающих в Южном Зауралье и Алтайском крае, где очаги ткача действуют на крупных площадях. К ним примыкают сосняки Омской, юга Тюменской и Новосибирской областей.

### ***2.1. Долгосрочный и краткосрочный прогноз угрозы образования очагов***

Для наиболее общей характеристики угрозы образования очагов опасных хвое- и листогрызущих насекомых в лесах России используются такие показатели как минимальное, наибольшее и среднее ежегодное количество регионов, в которых наблюдалось их размножение за период с 1977 по 2020 гг., а также наибольшая и средняя ежегодная площадь очагов (табл. 3).

Среднюю площадь очагов рассчитывают как частное от суммы площадей очагов за период наблюдений и количества лет наблюдений.

Очаги сибирского и соснового шелкопряда, рыжего соснового пилильщика, звездчатого пилильщика-ткача, непарного шелкопряда, дубовой зеленой и других листоверток регистрируются в лесах России ежегодно.

Площадь очагов соснового шелкопряда варьировала от 1320 га в 1984 г. до 33688 га в 2008 г., количество регионов с очагами – от 1 в 2002 г. до 9 в 2005 г.

**Характеристика распространения очагов хвое- и листогрызущих насекомых в лесах России (1977–2020 гг.)**

Вид насекомого	Площадь очагов, га		Число регионов с очагами		
	max	средняя	min	max	среднее
Сибирский шелкопряд	6934228	583115	3	12	7
Сосновый шелкопряд	33689	11227	1	9	4
Сосновая совка	260377	29295	0	8	3
Сосновая пяденица	149892	25084	0	14	6
Шелкопряд-монашенка	155643	34016	0	14	7
Рыжий сосновый пилильщик	137879	503665	5	24	16
Обыкновенный сосновый пилильщик	45250	16533	0	12	6
Звездчатый пилильщик-ткач	46266	25390	5	11	8
Непарный шелкопряд	2143712	744072	12	34	23
Зеленая дубовая листовертка	654693	244539	9	31	22

Площадь очагов сосновой совки была максимальной в 2015 г. (260377 га). До 2008 г. ее очаги в России встречались ежегодно. Максимальное количество регионов с очагами (8 административных территорий) отмечено в 2013 г. По данным за последние 40 лет невозможно выявить тренд в изменении площади очагов сосновой совки и числа регионов с очагами.

Для уточнения многолетних (долгосрочных) прогнозов проводят текущую (ежегодную) оценку риска образования очагов. Используя результаты учета площадей очагов по регионам для каждого вида вредителя, анализируют временные ряды (рис. 4).

Проводится графический анализ (рис. 4), учитывая многолетние оценки вероятности образования очагов. Для Воронежской обл.: сосновый шелкопряд – 83%, сосновая пяденица – 87%, рыжий сосновый пилильщик – 87%, сосновая совка – 25% лет от всего периода наблюдения. Определяется продолжительность текущего периода без очагов. Очагов сосновой пяденицы не было с 2005 г. (11 лет), шелкопряда – с 2010 г. (6 лет). Прогноз: учитывая высокую (более 80%) встречаемость очагов и длительный период, прошедший после массового размножения, угроза образования очагов сосновой пяденицы и соснового шелкопряда в Воронежской обл. становится максимальной.

*Сосновый шелкопряд.* Для временного ряда площадей очагов характерны колебания с периодичностью 8-11 лет (рис. 4). Продолжительность существования очагов составляет 5-6 лет. Это в целом отражает общую длительность основных фаз вспышки массового размножения (роста численности, собственно вспышки и кризиса), когда дефолиация уже заметна и очаги регистрируются. С учетом минимальной продолжительности межвспышечного периода (3 года) можно сделать вывод, что массовые

размножения соснового шелкопряда в лесостепи имеют перманентный характер и реализуются с периодичностью в 11 лет.

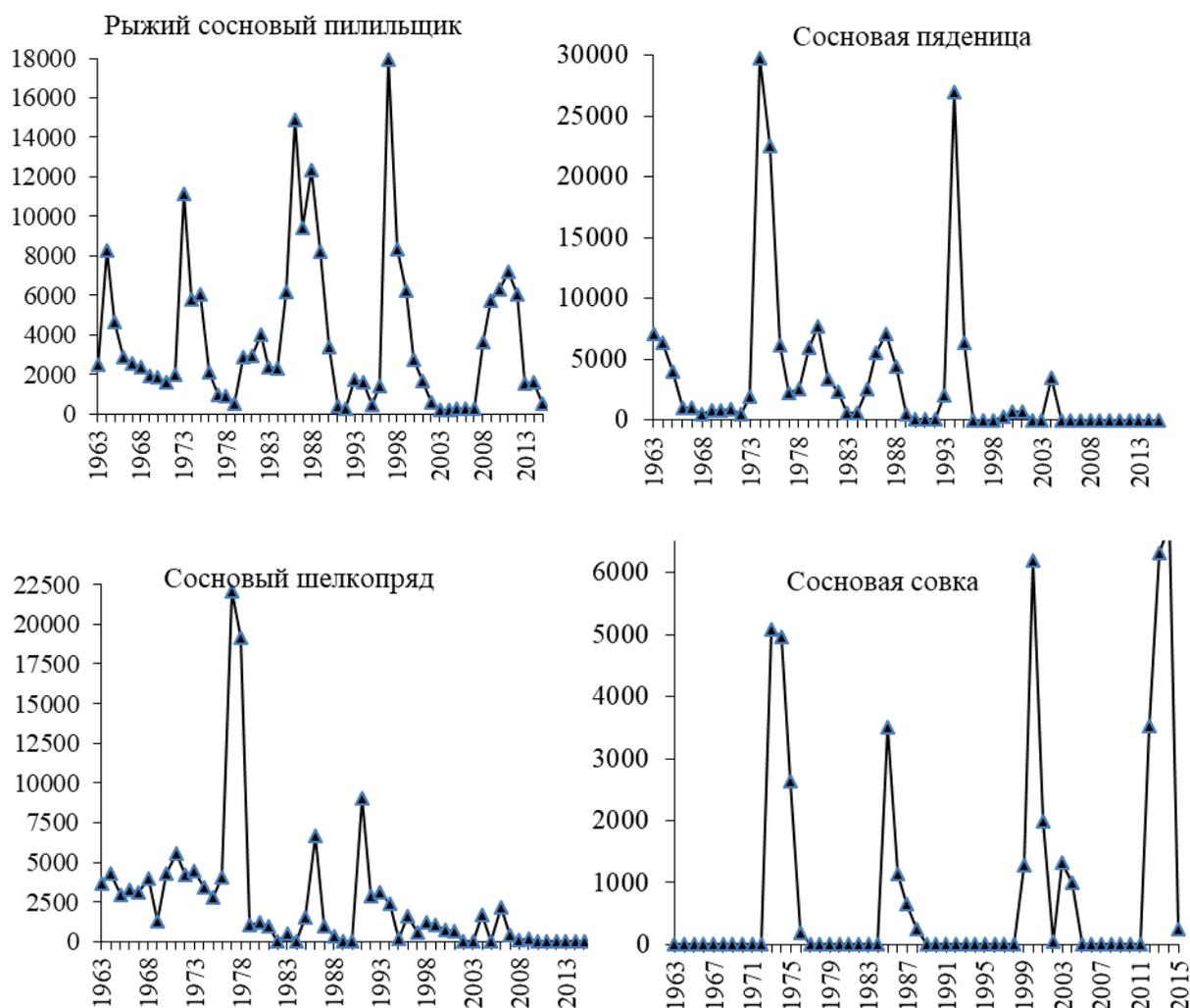


Рис. 4. Динамика площадей очагов (га) хвоегрызущих вредителей (Воронежская обл., 1963–2015 гг.)

*Сосновая совка.* Анализ временного ряда площадей очагов сосновой совки показал, что для него характерны колебания с периодичностью 13 лет (рис. 4). Продолжительность существования очагов составляет 4-6 лет. Сокращение продолжительности происходило при интенсивной деятельности энтомофагов и болезней, в результате чего наблюдалось совмещение второго года фазы собственно вспышки с первым годом фазы кризиса.

*Сосновая пяденица.* Для динамики площадей очагов сосновой пяденицы характерны колебания с периодичностью 11 лет (рис. 4). Продолжительность существования очагов составляет 4-7 лет.

*Рыжий сосновый пилильщик.* Продолжительность основных фаз вспышек составляет 7-9 лет, при длительности фазы роста численности – 2-4 года. Поэтому цикл в динамике очагов 1978–1983 гг. (рис. 4), вероятно, не является самостоятельным. Наиболее распространенным является мнение, что вспышки массового размножения рыжего соснового пилильщика случаются часто, но неустойчивы и непродолжительны (7-8 лет). Изредка наблюдались затяжные вспышки.

## **2.2. Прогнозные сценарии на основе анализа временных рядов**

В условиях невысокой точности данных инвентаризации очагов и, прежде всего, значительным запаздыванием их обнаружения, большое значение имеет разработка прогнозных сценариев с использованием компьютерных программ анализа временных рядов. Автоматизация процесса позволяет создавать различные варианты прогнозов с учетом обоснованных предположений об изменении экологической ситуации и угрозы массового размножения [10, 16]. Моделирование проводили при помощи специализированной компьютерной программы «Мезозавр» (версия 1.0, 1989, авторы С. Кузнецов, А. Халилеев и др.). Для прогноза динамики площадей очагов применяют алгоритм, включающий:

- графический анализ, визуальное определение наличия колебаний, их регулярности, тренда. Выбор метода трансформации данных и сглаживание методом скользящих средних первого или второго порядка с 3 или 5-летним интервалом усреднения;

- определение статистических характеристик ряда, расчет периодограмм для оценки периодичности колебаний и возможности применения сезонной модели;

- расчет автокорреляционной функции для определения стационарности процесса, возможности использования модели авторегрессии и определения порядка авторегрессии;

- корреляционный анализ, выявление взаимосвязанных переменных, оценки тесноты связи, определения показателей, имеющих наибольшее прогностическое значение;

- выбор вида модели и определение ее структуры: выбор переменных, расчет коэффициентов, анализ модели. Оценка точности прогнозов, расчет прогнозных оценок по нескольким моделям и сопоставление с результатами учета (мониторинга) очагов. Выбор наиболее точной модели и ее корректировка с учетом данных мониторинга. Анализ и определение факторов, наиболее сильно влияющих на точность (реалистичность) модели.

Проведенный анализ и подбор типа модели показали, что для прогноза динамики очагов насекомых по имеющимся рядам их площадей

наиболее адекватна комбинированная модель авторегрессии и скользящего среднего. Она имеет вид:

$$P_n = A + b_1P_{(n-1)} + b_2P_{(n-2)}, \quad (1)$$

где:  $P$  – площадь очагов (га) в текущем ( $n$ ) и предыдущие годы ( $lg$ ).  
 $A$  и  $b$  – коэффициенты, зависящие от вида насекомого

Ряды площадей очагов вредных насекомых должны отвечать условиям стационарности. В этом случае для большинства регионов и вредителей определяются достоверные коэффициенты уравнений авторегрессии второго порядка. Для этого необходимо проводить сглаживание исходных данных методом скользящих средних, что существенно увеличивает тесноту корреляции ( $R$ ) между площадями очагов в году  $n$  и  $n-1$  (лаг 1) и в году  $n$  и  $n-2$  (лаг 2) и коэффициент детерминации авторегрессии. Доля дисперсии площадей очагов, объясняемая этой моделью, намного выше, поэтому и точность прогноза увеличивается. Сглаживание выполняли в основном полиномом первого порядка с трехлетним интервалом усреднения.

На рис. 5 представлены три варианта прогноза по модели авторегрессии на основе многолетних данных динамики площадей очагов, сибирского шелкопряда в Красноярском крае, оценки продолжительности межвспышечного периода и погодной ситуации. При этом площади очагов были скорректированы с учетом табл. 5.

После того как в 2011 г. продолжительность межвспышечного периода составила 7 лет и превысила среднюю (5 лет) настала необходимость ежегодно моделировать дальнейшую динамику площадей очагов и прежде всего время их появления. Проведя анализ, получили следующую модель авторегрессии второго порядка (кривая 3 на рис. 5).

$$P_n = 0,4174 + 1,64P_{(n-1)} - 0,844P_{(n-2)}, \quad R^2 = 0,832 \quad (2)$$

где:  $P$  – площадь очагов ( $lg$ ) в текущем ( $n$ ) и предыдущие годы.  
 $R$  – коэффициент корреляции

Как видно из рис. 5, модель авторегрессии показывает возникновение очагов уже в 2012 г. и дальнейшее увеличение их площади. Верификация прогноза показывает, что модель правильно предсказала тенденции в изменении площадей очагов (их рост), но при долгосрочном прогнозировании она дает значительную ошибку.

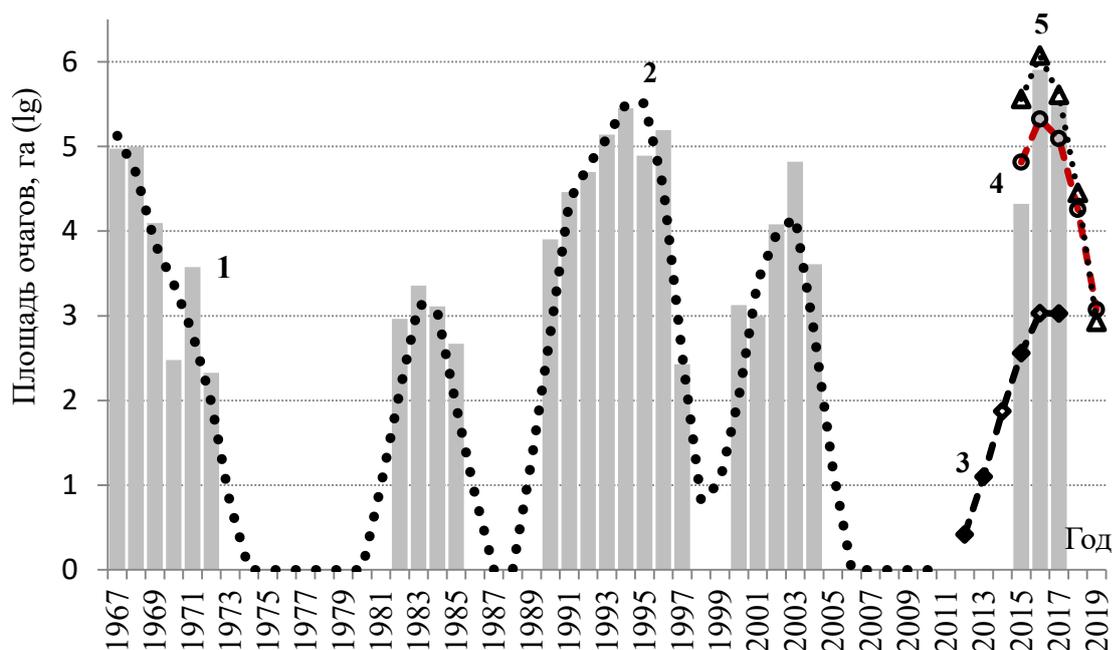


Рис. 5. Сценарии прогноза площадей очагов сибирского шелкопряда (1 – площади очагов; 2 – сглаженный ряд площадей очагов скользящей средней с 3-летним интервалом; 3 – модель авторегрессии, разработанная в 2011 г.; 4 и 5 – модели авторегрессии для прогноза обычного и более интенсивного развития массового размножения, разработанные в 2012 г.)

Для прогноза очагов в 2012 г. разработаны еще две модели (рис. 5) с учетом менее (линия 4) и более (линия 5) интенсивного роста площадей очагов. Очаги в 2012 г. не были обнаружены, но с учетом засухи 2012 г. и предыдущего прогноза исходили из предположения, что возможно очаги сибирского шелкопряда появятся уже в 2013 г. и их площадь будет 100 га, а в 2014 г. – 1000 га. По этому сценарию дальнейшая динамика площадей очагов описана уравнением (рис. 5, линия 4):

$$P_n = 0,4642 + 1,664P_{(n-1)} - 0,879P_{(n-2)}, \quad R^2 = 0,832 \quad (3)$$

По сценарию более интенсивного массового размножения, (возможная площадь очагов в 2013 г. – 1000 га и в 2014 г. – 10000 га) дальнейшая динамика площадей очагов описана уравнением (рис. 5, линия 5):

$$P_n = 0,4798 + 1,673P_{(n-1)} - 0,891P_{(n-2)}, \quad R^2 = 0,832 \quad (4)$$

Эти модели оказались наиболее реалистичными и правильно предсказывают не только тенденцию распространения очагов и дают минимальную ошибку прогноза их площади.

### 2.3. Оценка изменения степени угрозы массовых размножений насекомых во времени

Данные, характеризующие баланс числа регионов впервые вошедших в зону очагового распространения восьми наиболее важных хвоегрызущих насекомых и кандидатов на исключение из этой зоны, приведены в табл. 4.

Ретроспективный анализ данных по площадям очагов позволил установить, что для всех насекомых кроме сибирского шелкопряда количество регионов России, где очаги больше не наблюдаются, является значительным. Оно варьирует от 7 (сосновый шелкопряд) до 17 (сосновая совка).

Очаги соснового шелкопряда не регистрировались последние 45 лет (1977–2020 гг.), но по данным А.И. Ильинского [2] были ранее, в 7 регионах (Владимирская, Ивановская, Калининградская, Кировская, Рязанская, Самарская области и Республика Татарстан).

Таблица 4

#### Характеристика тенденций распространения очагов хвоегрызущих насекомых

Вид насекомого	Число регионов, где очаги были в 1977–2020 гг.	Число регионов, где очаги в 1977–2020 гг. выявлены впервые			Регионы, где очаги в 1977–2020 гг. не наблюдались, но отмечались раньше
		всего	в том числе		
			ранее не отмечались	были возможны	
Сибирский шелкопряд	23	3	1	2	0
Сосновый шелкопряд	24	9	5	4	7
Сосновая пяденица	33	8	3	5	12
Сосновая совка	25	6	0	6	17
Шелкопряд-монашенка	31	7	0	7	10
Рыжий сосновый пилильщик	44	11	3	8	9
Обыкновенный сосновый пилильщик	36	12	10	2	13
Звездчатый пилильщик-ткач	16	8	7	1	1

Очаги сосновой совки не наблюдались последние 45 лет (1977–2020), но были ранее в 17 регионах (Брянская, Владимирская, Калининградская, Кировская, Костромская, Курская, Ленинградская, Липецкая,

Московская, Нижегородская, Псковская, Смоленская, Тамбовская, Томская, Ульяновская области; республики Башкортостан, Чувашия).

Очаги сосновой пяденицы не наблюдались последние 45 лет, но были ранее в 12 регионах (Брянская, Владимирская, Ивановская, Калининградская, Курганская, Курская, Московская, Рязанская, Самарская, Смоленская, Тульская области; республика Марий Эл).

Очаги шелкопряда-монашенки не наблюдались последние 45 лет, но были ранее в 10 регионах (Брянская, Воронежская, Ивановская, Кировская, Костромская, Орловская, Псковская, Смоленская, Тамбовская области; республика Марий Эл).

Очаги массового размножения соснового шелкопряда впервые зарегистрированы в лесах Калужской (1995 г.), Курганской (1990 г.), Новосибирской (1977 г.), Саратовской (2003 г.), Кемеровской (1997 г.), Свердловской (1983 г.), Читинской (1998 г.), Ярославской (2005 г.) областей и Республике Удмуртия (1990 г.). Причем в последних 5 регионах появление очагов ранее (до 1960 г.) считалось маловероятным. Очаги имели не только локальный характер, они существенно варьировали по площади (от 6 до 5000 га) и продолжительности существования (от 1 до 9 лет).

Очаги шелкопряда-монашенки впервые отмечены в лесах Амурской, Калужской, Липецкой, Новосибирской, Омской областей и Красноярском крае. На возможность образования очагов в этих регионах указывал А.И. Ильинский [2], однако до 1975 г. они не регистрировались.

Очаги массового размножения звездчатого пилильщика-ткача до 1960 г. не наблюдались, но после 1995 г. регистрировались в лесах Брянской, Владимирской, Курганской, Орловской, Ростовской, Тверской, Тюменской областей и Республики Марий Эл. Причем, в этих регионах они считались А.И. Ильинским [2] невозможными, а в Курганской и Ростовской областях маловероятными. Наоборот, в Республике Башкортостан, по данным А.И. Ильинского [2], очаги наблюдались до 1960 г., но их не было в 1995–2020 гг. В Воронежской обл. также очаги регистрировались только в 2015, 2017 годах и их встречаемость низкая.

Выбор алгоритма определения текущей и прогноза будущей угрозы осуществляется также с учетом зонирования территории по степени угрозы массового размножения насекомых (МРН), оценки ее среднего многолетнего уровня. При этом обеспечивается оптимизация усилий и затрат на прогнозирование. Так в зоне слабой угрозы для разработки прогноза необходимо минимальное количество данных (информационного обеспечения). В зоне сильной угрозы МРН необходим ежегодный и более точный прогноз, что требует дополнительной информации.

### 3. Прогноз массовых размножений хвое-листогрызущих вредителей для зон слабой и средней угрозы

Для прогноза массовых размножений вредителей используется следующий алгоритм (рис. 6). Он основан на анализе ретроспективных данных по площадям очагов массового размножения и погодных аномалий (степени засушливости текущего вегетационного периода).

Основой оценки является сравнение текущего межвспышечного периода ( $A_m$ ) со средней длительностью межвспышечного периода ( $A_{cp}$ ). Поэтому должны быть данные, характеризующие не менее трех массовых размножений. При  $A_m$  больше  $A_{cp}$  – угроза МРН сильная,  $A_m$  равна  $A_{cp}$  – угроза МРН средняя,  $A_m$  меньше  $A_{cp}$  – угроза МРН слабая.

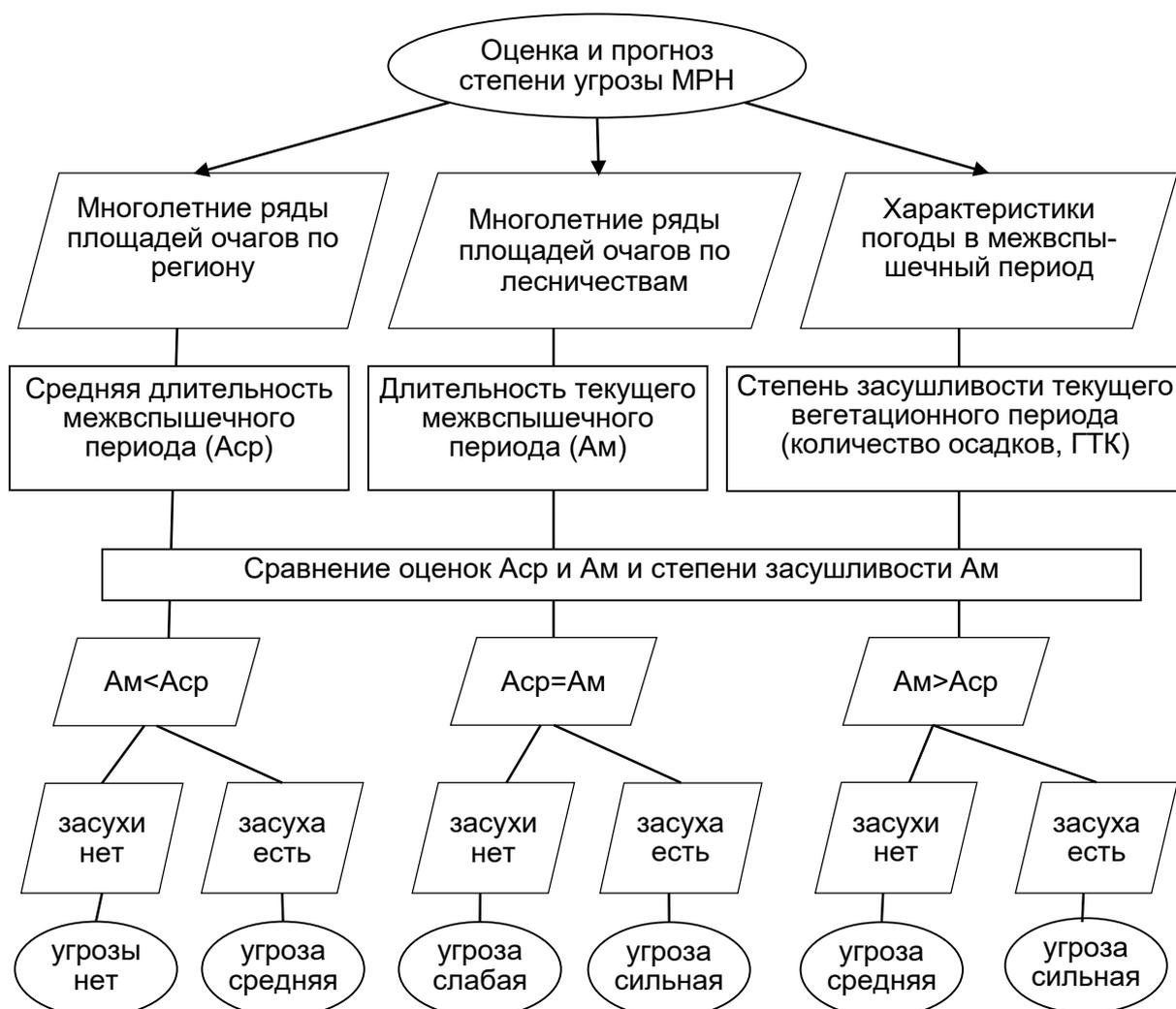


Рис. 6. Алгоритм прогноза массовых размножений хвое-листогрызущих вредителей (определение возможного времени развития) для зон слабой и средней лесопатологической угрозы

Степень угрозы увеличивается при наличии засухи в межвспышечный период и возрастает до максимальной при двух засухах подряд или появлении очагов в соседних лесничествах.

### ***3.1. Оценка продолжительности текущего и среднего многолетнего межвспышечного периода***

Для оценки продолжительности межвспышечного периода, используя многолетние данные, составляются диаграммы для наглядного представления изменений площадей очагов во времени (рис. 7).

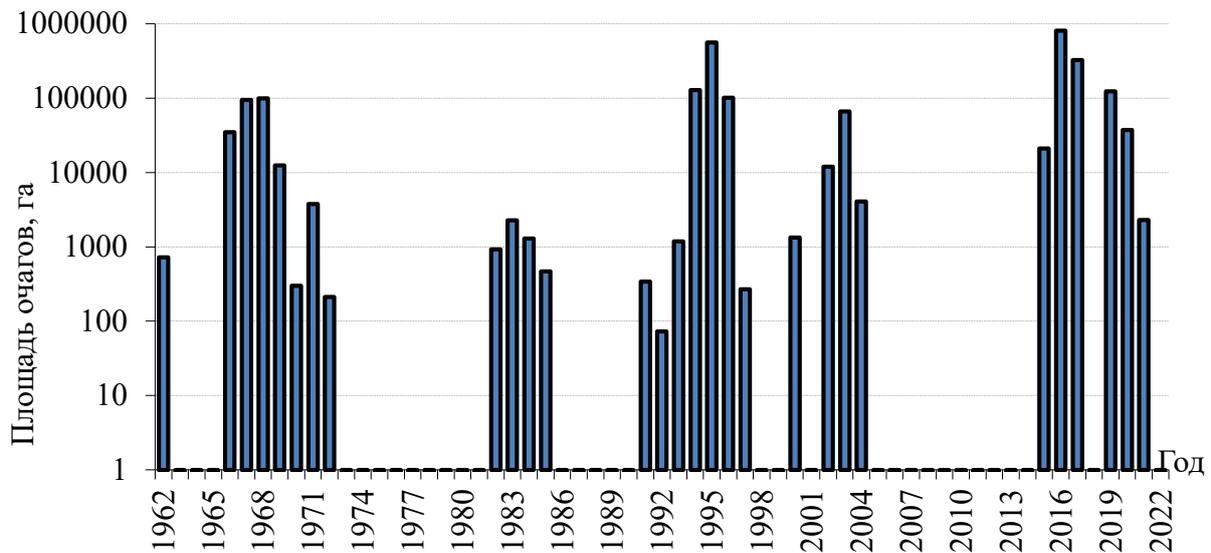


Рис. 7. Многолетняя динамика площадей очагов сибирского шелкопряда в Красноярском крае

Наличие межвспышечных периодов (годы без очагов) позволяет отделить одно массовое размножение от другого. В зоне постоянных массовых размножений (лесостепная и степная зоны) общая продолжительность вспышки численности насекомых с однолетней генерацией в одном и том же насаждении составляет 7-8 лет при 3-4-летней длительности межвспышечного периода.

Из диаграммы многолетней динамики площадей очагов в Красноярском крае следует, что первый безочаговый период был в 1963–1965 гг., второй – 1973–1981 гг., третий – 1986–1990 гг., четвертый – 1998–1999 гг. Отсутствие очага в 2001 г. не является межвспышечным периодом, это погрешность учета (очаг, вероятно, пропущен).

Допустим, прогноз осуществляем в 2013 г. на 2014 г. По рис. 7 определяем среднюю продолжительность межочагового периода для 4-х массовых размножений с 1963 по 2005 г. Она равна 5 годам (средняя для периодов 1963–1965, 1973–1981, 1986–1990 и 1998–1999 гг., соответственно

равных 3, 9, 5 и 2 года:  $A_{cp} = 19 : 4 = 4,75$  лет.). Продолжительность текущего межочагового периода ( $A_m$ ) составляет 9 лет (с 2005 по 2013 г. включительно) (рис. 7). Это существенно больше средней продолжительности межвспышечного периода (5 лет). Следовательно, степень угрозы образования очагов в 2014 г. высокая (период депрессии популяции сибирского шелкопряда давно завершился, произошло восстановление стабильной численности и она готова к массовому размножению).

При анализе используемых для прогноза данных необходимо учитывать два момента, влияющих на достоверность результатов. Первый связан с неточностью оценки площадей очагов и возможным пропуском непродолжительных (один год) локальных очагов. Второй – с большим размером и варьированием территориальной единицы, которая является регионом России (особенно в Сибири и на Дальнем Востоке). Использование стандартных процедур корректировки пропусков и выбросов во временных рядах необходимо, однако лучше найти достоверные данные из других источников для более обоснованного и существенного уточнения рядов площадей очагов. Процесс этот трудоемкий и таких источников мало. Так, по документированным данным Ю.П. Кондакова [14] очаги сибирского шелкопряда в Красноярском крае возникли в 1990 г. на 8000 га и в 1992 г. выросли до 50000 га, хотя по официальной статистике их не было (табл. 5).

Таблица 5

**Площадь очагов сибирского шелкопряда, официальные и экспертные данные**

Источник информации	Площадь очагов (га), по годам							
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
Данные мониторинга	0	340	0	1180	127970	557455	101462	270
Ю.П. Кондаков [14]	8000	29000	50000	138500	283500	782000	156000	270

По официальной статистике очагов не было в 2001 и 2018 гг., но рис. 7 убедительно показывает, что это погрешность мониторинга. Действительно, наиболее распространенным является выявление очагов с запаздыванием на 1-2 года, а также определение момента их затухания. Поэтому и расхождения в оценке распространения очагов в начале массового размножения очень велики: площади отличаются в 100 и более раз (табл. 5).

#### 4. Прогноз массовых размножений хвое-листогрызущих вредителей для зоны сильной угрозы

Для прогноза начала МРН используется следующий алгоритм (рис. 8). Он основан на анализе данных учетов плотности популяции (мониторинга) насекомого в насаждениях-резервациях на стационарных участках, погодных аномалий (степени засушливости текущего вегетационного периода) и многолетних данных динамики очагов в соседних регионах (лесничествах).

Прогнозировать угрозу необходимо в межвспышечный период, что должно своевременно предсказать начало вспышки массового размножения, когда численность вредителя низкая и увеличивается незначительно, чаще в 2-3 раза по сравнению с численностью предшествующего вспышке поколения. Основой оценки является определение фазы массового размножения (стадии текущего межвспышечного периода). Учитываем плотность популяции, оцениваем направление и степень ее изменения (коэффициент размножения). Анализируется положение относительно стадии текущего межвспышечного периода и пороговой численности. Плотность популяции выше пороговой – угроза МРН сильная, близка к пороговой (произошло восстановление стабильной численности) – угроза МРН средняя, ниже пороговой – угроза МРН слабая, фаза депрессии – угрозы нет.

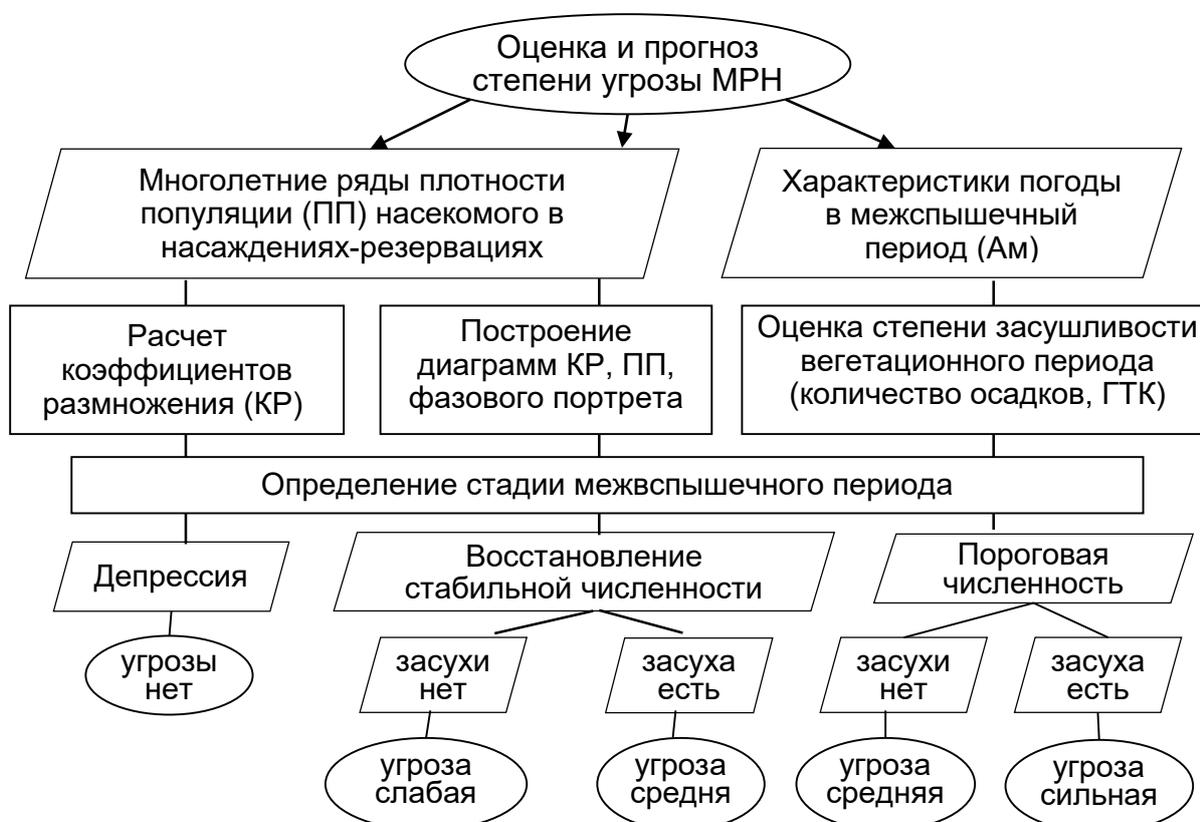


Рис. 8. Алгоритм прогноза массовых размножений хвое- и листогрызущих вредителей (определение возможного времени развития) для зоны сильной лесопатологической угрозы

Анализируется погода. Если засуха есть, то угроза МРН в следующем году увеличится. Например, угроза становится сильной, если в год засухи популяция достигла пороговой численности. Степень угрозы характеризуется как максимальная при наличии двух засух в межвспышечный период или очагов в соседних лесничествах.

#### **4.1. Качественные показатели начала массового размножения**

Цикл динамики численности вредных насекомых включает два периода – массового размножения и межвспышечный (межочаговый). Вспышка массового размножения закономерно развивается во времени и проходит четыре фазы: первую, или начальную; вторую, или фазу роста численности вредителя (продромальная, нарастание численности); третью, или фазу собственно вспышки (эруптивная, максимума) и четвертую, или фазу кризиса (разреживания).

Межвспышечный период состоит из трех стадий – депрессии, восстановления стабильной численности, стабильной численности.

При мониторинге популяции насекомого диагностика фаз его массового размножения не представляет труда. Однако при разовых обследованиях решение такой задачи существенно усложняется, так как при одной и той же плотности популяции в начале массового размножения будет наблюдаться рост численности насекомого, а в конце – ее снижение (затухание вспышки). Это требует оценки дополнительных показателей. Для прогноза фаз вспышки массового размножения используется комплекс критериев. Наиболее эффективными являются параметры популяции, характеризующие ее состояние, структуру и особенности распределения в пространстве. На разных фазах градации они значительно и достоверно отличаются по абсолютной величине или направлению и степени изменения.

К качественным показателям относятся: плодовитость (среднее число яиц в кладке), соотношение полов (половой индекс, доля самок), жизнеспособность (смертность или выживаемость насекомых), изменчивость окраски его гусениц (соотношения фенотипов), численность и эффективность паразитов и хищников, распространение болезней (степень зараженности). Так, А.И. Ильинский [2] для диагностики фаз вспышки предлагал использовать следующие критерии (табл. 6).

Таблица 6

#### **Оценки плодовитости насекомых в начале массового размножения**

<b>Вид насекомого</b>	<b>Масса куколок, г</b>	<b>Плодовитость</b>
Сибирский шелкопряд	4,0	430
Сосновый шелкопряд	3,9	425
Сосновая совка	0,42	320
Шелкопряд-монашенка	0,95	615
Сосновая пяденица	0,24	250
Рыжий сосновый пилильщик	0,195	175
Звездчатый пилильщик-ткач	-	80
Непарный шелкопряд	2,5	1250
Зеленая дубовая листовертка	0,075	115
Зимняя пяденица		400

## 4.2. Количественные критерии угрозы массового размножения

Для диагностики фаз массового размножения и стадий межвспышечного периода осуществляются ежегодные учеты (оценка плотности популяции на одной и той же стадии развития насекомого). Данные заносятся в электронные таблицы, что позволяет выполнять все расчеты автоматически по заданным алгоритмам.

*Плотность популяции* (абсолютная заселенность) – число особей насекомого, приходящихся в среднем на единицу площади насаждений или на одно дерево, ветвь, единицу пищевого субстрата.

Выполняется построение диаграммы многолетней динамики плотности популяции (рис. 9), которая в первом приближении позволяет определить точки перехода из одной фазы массового размножения в другую.

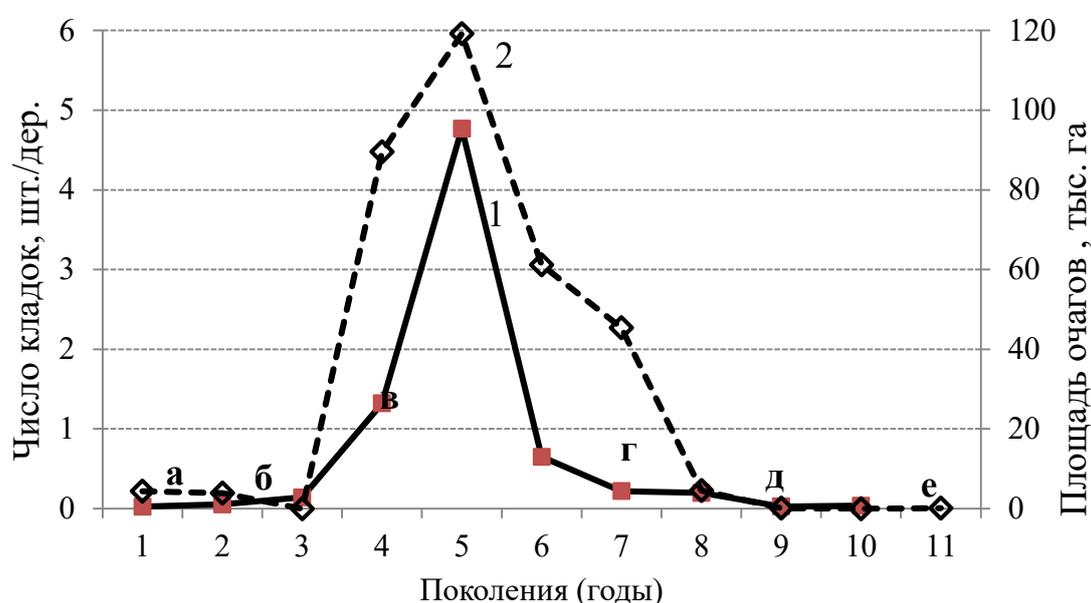


Рис. 9. Изменение плотности популяции непарного шелкопряда (1) и площади очагов (2) по фазам вспышки массового размножения в дубравах Саратовской обл. аб – начальная фаза; бв – фаза роста численности; вг – собственно вспышка; гд – фаза кризиса; де – период депрессии

При небольшом количестве наблюдений выделение фаз и особенно стадий межвспышечного периода является сложной задачей. Для ее решения рассчитывается коэффициент размножения.

*Коэффициент размножения* – отношение абсолютной заселенности в данном году к заселенности в предыдущем году, или отношение плотности популяции двух смежных поколений на одной и той же стадии развития насекомого.

Наиболее наглядным и эффективным инструментом прогнозирова-

ния угрозы массового размножения являются графические модели (градиционные кривые, фазовые портреты популяции) [5, 10, 16], построенные на основании экспериментальных данных.

В первой **фазе (начальной)** вспышки массового размножения численность вредителя увеличивается незначительно, чаще в 2-3 раза по сравнению с численностью предшествующего вспышке поколения.

Во второй **фазе (роста численности)**, охватывающей несколько (чаще всего два) поколений, численность вредителя увеличивается, однако повреждение крон можно обнаружить лишь при специальном осмотре. Происходит формирование очагов размножения вредителя, расширение их территории. В начале этой фазы имеющиеся локальные очаги не выявляются (не регистрируются).

При переходе в третью **фазу (собственно вспышки)** численность вредителя скачкообразно увеличивается, кроны повреждаются в сильной степени или полностью. В конце фазы, в результате перенаселения и недостатка корма, резко снижаются плодовитость и доля самок в популяции, увеличивается зараженность паразитами и болезнями. Наблюдается интенсивная миграция насекомых и образование вторичных очагов. Третья фаза охватывает чаще всего два поколения и является кульминацией вспышки. В четвертой **фазе (кризиса)** численность вредителя начинает резко идти на убыль, наблюдается минимальная плодовитость и доля самок (в начале фазы), максимальная зараженность паразитами и болезнями.

Диагностика текущей и прогноз следующей фазы массового размножения также начинаются с графического анализа. При наличии ежегодных оценок плотности популяции на одной и той же стадии развития насекомого в течение массового размножения строится диаграмма их изменения (рис. 9). Выделяются точки перехода из одной фазы массового размножения в другую (а-е).

Если таких данных нет, то используют этот рисунок или другую диаграмму (из литературных источников), условия которой аналогичны или достаточно близки к исследуемым объектам. Для определения текущей фазы оценку плотности популяции сравнивают с диаграммой. Например, средняя плотность популяции – одна кладка на дерево. Это означает, что фаза роста численности завершилась, и популяция перешла во вспышечное состояние. При этом уже зафиксированы повреждения крон деревьев и локальные очаги насекомого, однако часто их обнаруживают достаточно поздно, уже в конце фазы роста численности. В результате начало вспышки часто регистрируется на 1-2 года позже.

Период между вспышками включает этапы депрессии (линия д-е на рис. 9), восстановления и стабилизации численности. Поэтому массовое

размножение в одном и том же насаждении может повториться не ранее чем через 3 года после завершения предыдущей вспышки.

Продолжительность и интенсивность массового размножения определяются развитием второй фазы вспышки. Неблагоприятные гидротермические условия в этот период могут сократить (при эффективном комплексе энтомофагов) или, наоборот, увеличить на 2-3 года продолжительность массового размножения, привести к повторному объединению насаждений. Затяжные вспышки формируются при повторных засухах за счет охвата новых насаждений. Прервать вспышку массового размножения можно только в случае, если она имеет локальный характер.

### **4.3. Фазовые портреты и пороговые критерии массовых размножений**

Результаты учетов численности вредных насекомых используются для построения графических моделей – фазовых портретов популяций. Они являются наиболее наглядным и эффективным инструментом прогнозирования угрозы массового размножения. Например, получены оценки плотности популяции (кладок яиц в среднем на дерево) для пяти поколений непарного шелкопряда (табл. 7). Они используются для расчета коэффициента размножения.

Таблица 7

#### **Временные ряды оценок плотности популяции и коэффициента размножения**

Показатели	Изменение показателей по годам (поколениям)				
	1	2	3	4	5
Плотность популяции (x)	0,038	0,010	0,007	0,013	0,030
Коэффициент размножения	0,263	0,7	1,857	2,308	5,333
lgx	-1,420	-2,000	-2,155	-1,886	-1,523
lgx <sub>n+1</sub> - lgx <sub>n</sub>	-0,580	-0,155	0,269	0,363	0,727

Затем оценки трансформируются в логарифмы (используем логарифмическую шкалу). Логарифмическая шкала намного нагляднее отражает особенности движения численности особенно при низком ее уровне, когда оперативное выявление роста плотности популяции наиболее важно [4, 12, 16].

Для построения фазового портрета плотность популяции насекомых и ее изменение за каждый год представляется на фазовой плоскости в виде точки (рис. 10), где ось x – плотность популяции в начале генерации (x<sub>n</sub>), y – коэффициент размножения (x<sub>n+1</sub>/x<sub>n</sub>).

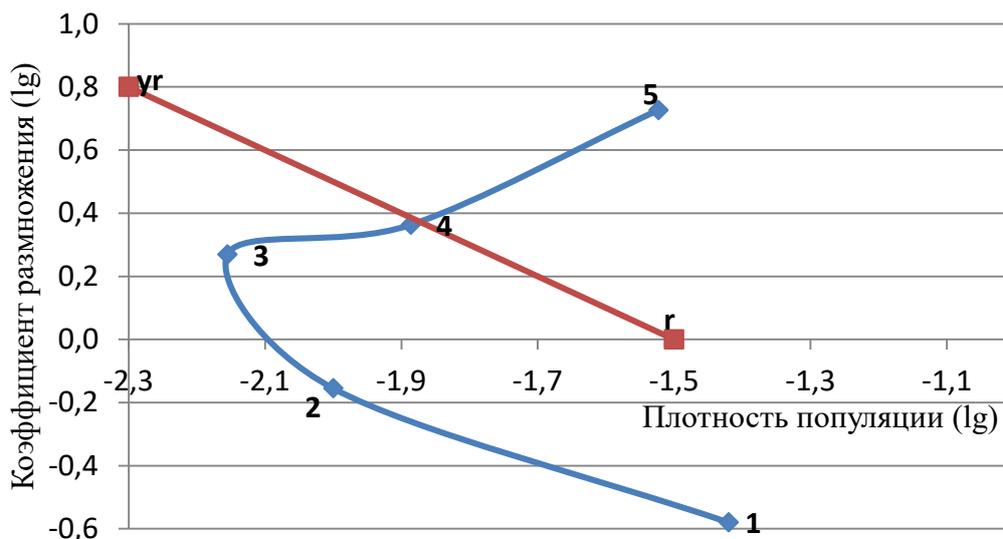


Рис. 10. Фазовый портрет динамики численности непарного шелкопряда по данным таблицы 7. Стадии межвспышечного периода, (1 – депрессии; 2-3 – восстановления стабильной численности; 3-4 – стабильной численности); 4-5 – фаза роста численности; пороговая линия –  $(r - y_r)$

Многолетние данные образуют фазовую траекторию последовательного (год за годом) изменения плотности популяции. Очевидно, что при  $y = 1$  ( $\lg y = 0$ ) роста численности нет, популяция стабильна, если  $y > 1$ , то популяция возрастает, а  $y < 1$  – убывает.

Анализируем положение точек на фазовом портрете относительно стадий межвспышечного периода: в течение депрессии – угрозы МРН нет; произошло восстановление стабильной численности популяции – угроза появляется; рост численности продолжается – угроза массового размножения усиливается. Из рис. 10 видно, что в точке 3 степень угрозы можно характеризовать от слабой до средней, а еще через год плотность популяции увеличивается до порогового уровня и степень угрозы становится сильной. Это подтверждает и наступившая фаза роста численности (точка 5).

Фазовый портрет позволяет определить пороговые значения плотности популяции и соответствующего коэффициента размножения, превышение которых приводит к вспышке массового размножения. Пороговой линией является биссектриса прямого угла, вершина которого находится на оси  $x$  в точке стабильной плотности популяции ( $r$ ), когда коэффициент размножения равен 1. Биссектриса направлена в сторону оси ординат ( $y$ ). Именно для этого геометрического места точек (биссектрисы) в логарифмической шкале при изменении плотности популяции коэффициент размножения изменяется на такую же величину, но в противоположном направлении (осуществляется процесс регулирования). Например, сниже-

ние численности насекомого в 10 раз приводит к такому же росту коэффициента размножения, что стабилизирует популяцию.

С использованием программы Excel пороговую прямую ( $r$ ) (рис. 10) аппроксимируем уравнением

$$y = -x - 1,5, \quad (5)$$

где:  $x$  – среднее количество кладок на 100 деревьев ( $\lg$ );

$y$  – коэффициент размножения ( $x_{n+1}/x_n$ ) ( $\lg$ )

По формуле устанавливаем следующие пороговые соотношения показателей (пример расчета показан ниже):

Число кладок на 100 деревьев	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7	3,0	3,3
Коэффициент размножения	5,3	3,5	2,6	2,1	1,8	1,5	1,3	1,2	1,1	1,0

Положение точки  $r$  на оси  $x$  определяется экспертным путем на основе экспериментальных данных учетов численности насекомого. Это значение плотности популяции, после достижения которой, как правило, начинается рост численности и вспышка массового размножения.

Например, по литературным данным [14], для темнохвойных лесов Красноярского края значение стабильной плотности популяции сибирского шелкопряда с учетом степени пригодности насаждений составляет около 0,5–5 гусениц на дерево. При превышении этих значений начинается фаза роста численности. Поэтому плотность популяции, равную 5 гусениц на дерево, считаем пороговой. В этом случае координаты точки  $r$  в логарифмической шкале следующие:  $x = 0,7$ ;  $y = 0$ .

Далее из пороговой точки на фазовой плоскости строим пороговую линию или переходим от графического к аналитическому описанию с использованием программы Excel. Для этого только необходимы координаты второй точки –  $y_r$ . Они равны:  $x = 0$ ;  $y = 0,7$  (точка биссектрисы прямого угла, направленная в сторону оси ординат).

Пороговая линия ( $r$ ) в логарифмической шкале характеризуется уравнением:

$$y = -x + 0,7, \quad (6)$$

где:  $x$  – среднее количество гусениц на дерево ( $\lg$ );

$y$  – коэффициент размножения ( $x_{n+1}/x_n$ ) ( $\lg$ )

Для получения абсолютных значений пороговых показателей рассчитываем по уравнению коэффициенты размножения, соответствующие разной пороговой численности гусениц и используем стандартный алго-

ритм извлечения антилогарифмов (табл. 8). Например, для начала массового размножения коэффициент размножения при плотности популяции 0,5 гусеницы на дерево должен быть около 10, при плотности популяции 5 гусениц на дерево – 1. То есть при низкой плотности популяции для преодоления порогового значения прирост численности должен быть значительно выше.

Таблица 8

**Результаты расчета пороговых значений плотности популяции и соответствующих ей коэффициентов размножения сибирского шелкопряда**

Количество гусениц/дер. (lg)	Количество гусениц/дер.	Коэффициент размножения (lg)	Коэффициент размножения
0,7	5,01	0	1,0
0,6	3,98	0,1	1,3
0,5	3,16	0,2	1,6
0,4	2,51	0,3	2,0
0,3	2,00	0,4	2,5
0,2	1,58	0,5	3,2
0,1	1,26	0,6	4,0
0	1,00	0,7	5,0
-0,1	0,79	0,8	6,3
-0,2	0,63	0,9	7,9
-0,3	0,50	1,0	10,0

Как видно из табл. 8, чем меньше плотность популяции шелкопряда, тем больше должен быть ее прирост (коэффициент размножения), чтобы началось массовое размножение (фаза роста численности). Например, чтобы началось массовое размножение сильно разреженных популяций, когда на дереве в среднем 0,5–1 гусеница шелкопряда, необходимо значительное, в 5-10 раз, увеличение его численности. При плотности популяции в 10 раз выше (например, в резервациях – наиболее благоприятных для развития шелкопряда насаждениях) для начала массового размножения может быть достаточно и сравнительно небольшого (в 1,5 раза) увеличения численности.

Для оценки степени угрозы массового размножения необходим анализ близости (сопоставление) оценок текущего состояния популяции к пороговым значениям численности насекомых и степени ее изменения.

Выход популяции в область пороговой численности не всегда приводит к началу массового размножения. При отсутствии благоприятной погоды численность насекомого снова стабилизируется. Поэтому для прогноза особенно важен анализ метеорологической информации и погодной ситуации.

#### ***4.4. Метеорологические показатели прогноза массовых размножений***

Через сколько лет после восстановления стабильной численности начнется массовое размножение (реализуется фаза роста численности) уточняем путем анализа метеорологической ситуации. Выход популяции насекомого из состояния стабильности наиболее часто связан с засухой, которая приводит к росту его выживаемости и плодовитости, снижению эффективности естественных врагов и биологической устойчивости насаждений [1, 2, 13-16].

Темпы реализации массового размножения зависят также от состояния популяции в год засухи, ее готовности к выходу из депрессии, эффективности энтомофагов. Если состояние вредителя неудовлетворительное (низкие плодовитость, половой индекс, жизнеспособность), то численность растет медленно или стабилизируется на низком уровне.

Для динамики численности непарного шелкопряда существенное значение имеет термический режим в период развития гусениц младшего возраста, а также куколок и бабочек вредителя. Выход популяции златогузки из депрессии происходит обычно в годы с мягкой зимой и засушливой жаркой погодой в мае. Для зеленой дубовой листовертки большое значение имеют погодные условия зимой и во время отрождения и внедрения гусениц в почки. При снижении абсолютной минимальной температуры зимой до  $-25^{\circ}\text{C}$  увеличивается смертность эмбрионов. Умеренно влажная, теплая погода во время лета бабочек имеет большое значение для полной реализации потенциальной плодовитости дубовой зеленой листовертки и возникновения вспышек ее массового размножения.

Для монашенки теплая погода в июле и августе при условии теплого и влажного мая в течение двух-трех лет подряд являются основными факторами, вызывающие подъемы ее численности. В годы с высокими гидро-термическими коэффициентами мая складывается благоприятный пищевой режим для отрождения гусениц монашенки, т.к. они в течение длительного периода могут питаться цветочными почками и молодой хвоей, что значительно увеличивает их выживаемость.

Сосновая пяденица появляется в массе синхронно с засушливыми годами, которые наблюдаются обычно в период спада солнечной активности в 11-летних циклах, когда показатель дефицита влажности воздуха во время развития гусениц (июль-сентябрь) повышается на 140-180%. Критическим периодом в развитии пяденицы являются ранние осенние заморозки, когда происходит массовая гибель личинок и проницеф.

Вспышке массового размножения сосновой совки предшествует за-

сушливый период продолжительностью 3 года преимущественно с мягкими зимами. Очень засушливый год служит индикатором возможной вспышки через 1-2 года.

Рост численности соснового шелкопряда начинается обычно после засушливых лет, когда гидротермический коэффициент за май-сентябрь составляет 60-70% от нормы. Критическим периодом развития гусениц соснового шелкопряда является их выход весной из подстилки. Заморозки на почве ниже  $-10^{\circ}\text{C}$  вызывают их массовую гибель. Высокая смертность яиц шелкопряда отмечена при температуре воздуха более  $40^{\circ}\text{C}$ .

Массовому размножению обыкновенного соснового пилильщика обычно предшествуют засушливые годы, охватывающие 3-4 поколения.

Критерием для оценки засушливости может служить гидротермический коэффициент, который вычисляют за май-сентябрь. Коэффициент от 1,0 и ниже свидетельствует о благоприятных условиях для развития обыкновенного соснового пилильщика.

Теплая и сухая погода в мае-июле в течение нескольких лет подряд может привести к вспышке массового размножения рыжего соснового пилильщика. Это заключение действительно для центральных и северо-западных регионах нашей страны. В лесостепной зоне подъемам численности рыжего соснового пилильщика предшествовали годы с влажной и прохладной погодой во время питания личинок, что вело к существенному росту их выживаемости.

При анализе погодной ситуации большое значение имеют метеорологические показатели, характеризующие диапазон изменчивости всех основных климатических данных по годам и частоту повторяемости наибольших отклонений.

Прежде всего, необходимо учитывать засухи как фактор, воздействующий на состояние насаждений и популяции вредных организмов. Для этого накапливаются и постоянно обновляются данные по температуре воздуха и осадкам (табл. 9). Используется база данных месячной и суточной температуры воздуха и количества осадков на метеорологических станциях России и бывшего СССР (<http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation#описание-массива-данных>).

Состояние погоды анализируем за многолетний период, хотя бы за предшествующее десятилетие, по материалам метеостанции, находящейся поблизости от обследуемого лесного массива.

Осадки являются более информативным показателем характеристики засушливости периода и степени благоприятности условий роста насаждений. Изменчивость осадков от года к году более существенна, чем варьирование температуры воздуха. Используется количество осадков за

разные периоды, прежде всего за период активного развития (питания) насекомых, например, апрель–июль (табл. 9).

Таблица 9

**Фрагмент электронной таблицы месячного количества осадков  
(Саратовская метеостанция)**

Год	Количество осадков по месяцам, мм												$\Sigma_{(4-7)}$
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2010	91,4	65,3	44,7	22,7	17,7	16,8	20,5	1,1	19	56,7	91,7	38,7	78
2011	63,8	34,7	8,9	17	12,3	62,7	4,9	19,9	52,7	35,4	31,1	50,6	97
2012	69,6	59,1	59,1	17	6,3	46,7	27,2	94,8	22,6	61,8	33,1	26,8	97
2013	49,2	21,5	53,3	30,8	44	141	37,2	11,1	115,1	8,7	15	17,5	253
2014	47,2	26,5	38,8	34,7	17,2	73,5	13,9	34,3	39	7,9	17,9	60,6	139
2015	37,5	20,9	3,3	39	58,8	48,5	30,2	17,2	4,8	43,8	118,9	39	177
2016	84,6	64,3	29,5	45,2	77,5	9,1	28,8	8,3	100,1	18,7	49,2	27,8	161

Для прогнозирования угрозы массовых размножений насекомых оцениваем степень засушливости вегетационных и других периодов и встречаемости засух. Выбор периода и конкретных метеорологических показателей является достаточно сложной задачей, так как они не достаточно универсальны. Критерий отбора – наибольшее влияние особенностей погоды на состояние вредителей и насаждений. Оценку показателей рассчитываем для наиболее восприимчивых к гидротермическим условиям стадий развития вредных насекомых (критических периодов).

Используя электронные таблицы среднемесячных (при необходимости суточных) температур воздуха и количества осадков проводим графический анализ, определяем средние многолетние и отклонения от средних значений и рассчитываем другие интегральные метеорологические показатели. Для оценки условий увлажнения используется отношение количества осадков к испаряемости или основным факторам испарения (температуре и дефициту влажности воздуха, солнечной радиации и др.).

*Коэффициент водности* – количество выпавших осадков за определенный период, выраженное в процентах от среднего многолетнего значения за этот же период. Определяется за календарный год, за гидрологический год (за период от октября предшествующего года по сентябрь текущего включительно), по скользящим периодам в 2-3 года, за 3 летних месяца (июнь, июль, август) и т.д.

*Гидротермический коэффициент (ГТК)* учитывает не только выпавшие осадки, но и температурный режим. Его вычисляют по формуле:

$$\text{ГТК} = \Sigma P \times 10 / \Sigma (T_n), \text{ или } \text{ГТК} = \Sigma P / (0,1 \times \Sigma (T_n)), \quad (7)$$

где:  $\Sigma P$  – сумма осадков за определенный период (не менее трех декад);

$T_n$  – среднесуточная температура воздуха за каждый день периода с  $T_n$  больше  $10^\circ\text{C}$ .

Испаряемость в этой формуле (мм) численно приравнена к сумме средних суточных температур за период с температурой выше  $10^\circ\text{C}$ , уменьшенной в 10 раз. Например, ГТК за 3 летних месяца (июнь, июль, август) определяем путем деления суммы осадков на сумму среднесуточных температур всех 92 дней этого периода и полученное частное умножаем на 10. ГТК нельзя применять для оценки погодных условий весны и осени, когда температура воздуха ниже  $10^\circ\text{C}$ .

В программе Excel гидротермический коэффициент рассчитывается автоматически после введения данных о количестве осадков и температуре воздуха. При этом используем ежедневные или месячные данные в зависимости от длительности оцениваемого периода (табл. 10).

Таблица 10

**Фрагмент электронной таблицы оценки гидротермических коэффициентов (Саратовская метеостанция)**

Год	Температура воздуха, $^\circ\text{C}$		Сумма температур ( $T_n$ ), $^\circ\text{C}$		ГТК		
	май	июнь	май	июнь	май	июнь	май-июль
2006	15,6	22,1	483,6	663	0,87	0,39	0,62
2007	17,8	19,9	551,8	597	0,30	1,09	0,88
2008	16	18,9	496	567	0,70	0,66	0,79
2009	15,3	22,7	474,3	681	0,66	0,30	0,42
2010	18,2	24,4	564,2	732	0,31	0,23	0,26
2011	17,1	19,5	530,1	585	0,23	1,07	0,45
2012	19,2	23	595,2	690	0,11	0,68	0,38
2013	19,6	20,9	607,6	627	0,72	2,25	1,18
2014	18,9	19,1	585,9	573	0,29	1,28	0,59
2015	17,1	23,8	530,1	714	1,11	0,68	0,74
2016	16,1	21	499,1	630	1,55	0,14	0,70

Численные значения гидротермического коэффициента, по Г.Т. Селянинову, означают: 2,0 – избыточное увлажнение, 1,5 – хорошее, 1,0 – на грани засухи, 0,5 – сильная засуха, 0 – полное бездождье. Определяем годы засух, их интенсивность и длительность засушливого периода.

Как видно из табл. 10 за период с 2006 по 2016 год без засухи в мае было только 2 года, в июне – 4 года, в мае-июле – 1 год. Наиболее сильная засуха была в 2010, 2012, 2009, 2011 годах.

Для повышения достоверности прогнозов необходимо располагать данными об изменении погодной ситуации за возможно более длительный

период, сопоставляя их с данными об уровне численности и площади очагов вредителей.

Проводим графический анализ изменения во времени метеорологических и лесопатологических показателей, например количества осадков (рис. 11) и (или) ГТК и площадей очагов за 1966-2016 гг. Отмечаем наличие или отсутствие связи возникновения очагов с проявлением засушливых периодов, интенсивностью и продолжительностью засух.

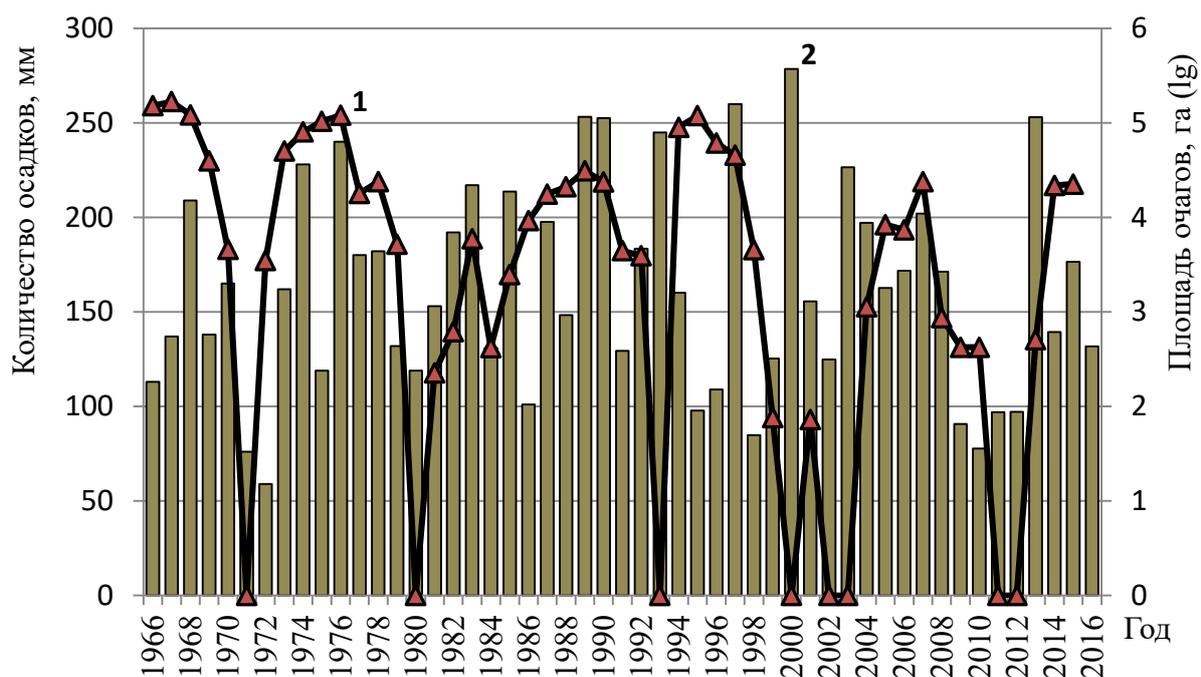


Рис. 11. Изменение количества осадков (2) за апрель-июль 1966–2016 гг. и площадей очагов непарного шелкопряда (1) в Саратовской области

Среднее многолетнее количество осадков за апрель-июль 1966–2016 гг. составляет 163 мм. В 2009–2012 гг. ежегодно выпадало только 48–60% нормы осадков (рис. 11). Такого продолжительного периода дефицита осадков за 50 лет еще не было. Только в 1971–1972 гг. дефицит осадков был сильнее (36–47%), однако засуха была менее длительной. По результатам анализа погодной ситуации 2010 г. прогноз следующий: новое массовое размножение непарного шелкопряда начнется через 2 года.

Так как условия увлажнения отдельных лет отличаются от средних, используют изменчивость этого коэффициента во времени или отклонения значений ГТК от среднего. Например, в табл. 11 приведены оценки ГТК мая-июля (Саратовская метеостанция) и основных параметров популяции непарного шелкопряда осенью 2007–2021 гг.

Таблица 11.

**Динамика ГТК, площадей очагов и плотности популяции непарного шелкопряда (Саратовская обл.)**

Год	Изменение показателей по годам			
	ГТК <sub>5-7</sub>	Площадь очагов, га	Кладок, шт./дерево	Коэффициент размножения
2007	0,88	23787	1,485	1,892
2008	0,79	871	0,451	0,304
2009	0,42	423	0,018	0,040
2010	0,26	423	0,003	0,167
2011	0,45	0	0,004	1,333
2012	0,38	0	0,057	14,25
2013	1,18	510	0,646	11,33
2014	0,59	21745	1,125	1,741
2015	0,74	22428	0,538	0,478
2016	0,70	1074	0,092	0,171
2017	1,43	66	0,015	0,163
2018	0,64	0	0,006	0,00
2019	0,55	0	0,008	1,333
2020	0,82	0	0,014	1,750
2021		0	0,048	3,429

Примечание: выделены цветом засушливые года

Данные показывают, что в период с мая по июль засуха была 4 года подряд (2009–2012). Поэтому после затухания очагов непарного шелкопряда уже в 2011 г. можно было прогнозировать новое массовое размножение. Действительно, в 2012 г. численность насекомого выросла в 14 раз, а очаги были зарегистрированы уже в 2013 г.

Для прогнозирования угрозы массового размножения сибирского шелкопряда также рекомендуется использовать показатели засушливости. Рассчитанные нами по данным метеостанции Красноярск ГТК лета варьировали от 0,79 до 2,35 (рис. 12). Они были меньше единицы, что является показателем засухи по Г.Т. Селянинову, в 1973, 1974, 1982, 1986, 1989, 1993, 1998, 2001, 2012, 2016 и 2018 гг. Доля лет с засухами составляет 20% (11 лет из 55).

Все пять массовых размножений сибирского шелкопряда, наблюдавшихся в течение 55 лет и представленных на рис. 12 начались после засушливых периодов.

Последняя крупномасштабная вспышка размножения с максимальной за весь период наблюдения площадью очагов (803832 га в 2016 г.) началась в 2013 г. после засухи 2012 г. (ГТК = 0,93) и двух предшествующих засушливых лет (ГТК равны 1,22 и 1,28):

Год	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
ГТК	1,22	1,28	0,93	1,83	1,97	1,23	0,79	1,63	0,67	1,12	2,17	1,54

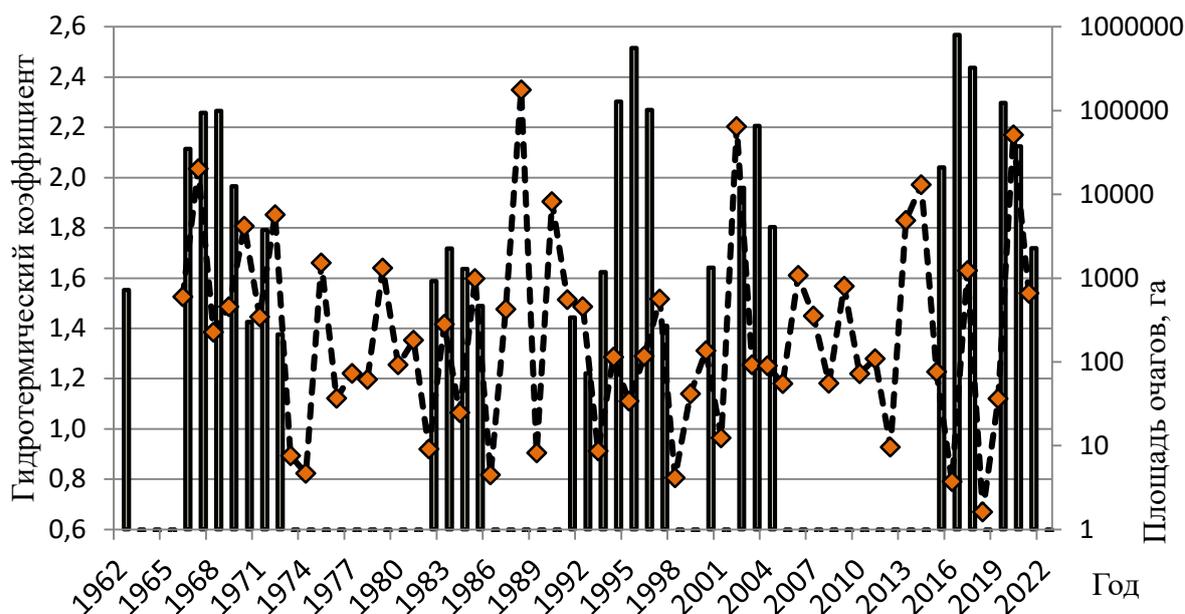


Рис. 12. Изменение гидротермического коэффициента за летний период и площадей очагов сибирского шелкопряда в Красноярском крае

На фоне засух 1998 (ГТК = 0,81), 2001 (ГТК = 0,96) годов и засушливых 1999 (ГТК = 1,14), 2000 (ГТК = 1,31) лет реализовалась вспышка размножения сибирского шелкопряда в 2000–2004 гг.

Засуха 1989 г. (ГТК = 0,91) привела к образованию очагов, а повторение засухи в 1993 г. (ГТК = 0,91) способствовало реализации интенсивной вспышки размножения сибирского шелкопряда, охватившей лесные массивы 14 лесхозов Красноярского края и Республики Хакасия. Образование очагов в 1966–1972 гг. также обусловлено достаточно интенсивными засухами 1964 и 1965 гг.

Исключением является массовое размножение и очаги сибирского шелкопряда 1982–1985 гг. Они образовались спустя только 7 лет после засух 1973 (ГТК = 0,89) и 1974 (ГТК = 0,82) годов. Причины такого значительного запаздывания реакции популяции на столь благоприятное модифицирующее воздействие погоды нам не известны.

Для прогноза образования очагов сибирского шелкопряда может быть использован интегральный показатель засушливости (ИПЗ) [7]. Он представляет собой отношение числа засушливых декад за период с температурой воздуха выше +10°C к сумме гидротермических коэффициентов в июне и июле.

Если величина показателя засушливости в течение 2-3 вегетационных периодов превышает критическую норму (для темнохвойных лесов Красноярского Приангарья она равна 3,5 балла, а для темнохвойных лесов юго-восточной части Западно-Сибирской низменности – 2,5-3,0 балла), то

создается потенциальная угроза массового размножения сибирского шелкопряда. В связи с повышенной температурой популяция или ее часть начинает развиваться ускоренно – по одногодичному циклу. Вероятность засушливой погоды в Красноярском Приангарье в период развития двух смежных поколений шелкопряда составляет около 9%. Например, в 1964 г. и повторно в 1965 г. показатель засушливости (5,3 и 5,8 балла) существенно превысил критическую норму (3,5 балла). На этой основе была своевременно предсказана вспышка размножения сибирского шелкопряда. Его численность за три года (1964–1966) увеличилась в 138 раз, а энергия размножения возросла более чем в 550 раз.

Крайние отклонения погоды вносят существенные изменения и в дальнейшее развитие массового размножения, влияя на его интенсивность, продолжительность в целом и отдельных фаз.

Для повышения точности прогноза численности вредных насекомых кроме рассмотренных показателей необходимо учитывать и минимальные температуры в критические периоды их развития, когда они особенно восприимчивы к гидротермическим условиям. Наиболее неблагоприятны для непарного шелкопряда сильные заморозки в мае (от  $-3$  до  $-5^{\circ}\text{C}$ ). После них численность вредителя снижается в несколько раз. При благоприятной дальнейшей погоде смертность частично компенсируется ростом плодовитости и доли самок и увеличением численности в следующем году.

Холодная и дождливая погода, удлиняя период развития, повышает смертность вредителя, а сильные морозы (до  $-40^{\circ}\text{C}$ ) существенно не влияют. Для развития вредителя неблагоприятны также мягкие малоснежные зимы, когда кладки яиц находятся ниже уровня снега

При повышении температуры мая на  $2-3^{\circ}\text{C}$  и уменьшении осадков в мае на 20-30% возникает климатическая обстановка, благоприятная для развития массового размножения. Качественная перестройка состояния популяции и ее переход к массовому размножению происходят из-за теплой и засушливой погоды мая–июля.

## **5. Прогноз угрозы массовых размножений стволовых вредителей**

Анализ взаимодействия в системе «древостой – короед» показывает, что многолетние колебания численности насекомых имеют три точки потенциального равновесия: устойчивое равновесие при низкой плотности популяции, неустойчивый порог вспышки массового размножения и циклическое равновесие при высокой плотности популяции [7].

Равновесная плотность популяции определяется количеством пригодных для заселения деревьев (текущий отпад). При отпаде в пределах

естественного численность короеда стабилизируется и наблюдается состояние устойчивого равновесия.

Массовое размножение вызывается тремя основными факторами: увеличением числа пригодных для заселения елей при ветровалах, что выводит популяцию из состояния равновесия и приближает к порогу вспышки; снижением устойчивости насаждения (засуха, высокий возраст) снижает порог вспышки; иммиграцией жуков из прилегающих насаждений (очагов), что увеличивает популяцию до пороговой численности. Важным условием массового размножения, его начала, является совпадение снижения жизнеспособности (устойчивости) древостоев с ростом численности типографа.

### 5.1. Зона слабой и средней угрозы

Для прогноза МРН используется следующий алгоритм (рис. 13). Он основан на анализе поврежденности насаждений, оценки текущего отпада (ОТ) и погодных аномалий (штормовые ветра, степени засушливости текущего вегетационного периода и др.). Анализируем состояние (поврежденность) насаждений.



Рис. 13. Алгоритм прогноза массовых размножений стволовых вредителей (определение возможного времени развития) для зоны средней и слабой лесопатологической угрозы

Основой оценки является сопоставление текущего отпада (ОТ) с естественным (ОЕ) и увеличение угрозы при наличии засухи и очагов стволовых вредителей в соседних лесничествах. Есть ветровал, насаждения, пройденные устойчивым низовым пожаром, после сильной дефолиации (текущий отпад в 2-3 раза больше нормального) – угроза МРН сильная.

Поврежденных насаждений нет. Анализируем погоду. Если есть засуха, появляется слабая угроза, которая в следующем году может увеличиться до средней. Анализируем многолетние данные динамики очагов в соседних лесничествах. При наличии очагов степень угрозы увеличивается.

## 5.2. Зона сильной угрозы

Алгоритм прогноза МРН основан на результатах анализа наличия поврежденных насаждений, погодных аномалий (степени засушливости текущего вегетационного периода) и многолетних данных динамики очагов стволовых вредителей в соседних регионах (лесничествах) (рис. 14).



Рис. 14. Алгоритм прогноза массовых размножений стволовых вредителей (определение возможного времени развития) для зоны сильной лесопатологической угрозы

Определяем плотность популяции насекомых по результатам мониторинга текущего отпада деревьев (доля поврежденных стволовыми вредителями), феромонного мониторинга насекомых.

Анализируем положение текущей оценки численности вредителя относительно пороговой. Если она достигла или выше пороговой – угроза МРН сильная, близка к пороговой – угроза МРН средняя, ниже пороговой – угроза МРН слабая, фаза депрессии – угрозы нет. Если плотность популяции близка к пороговой, а засухи нет – угроза МРН слабая, засуха есть – средняя. При наличии двух засух в межвспышечный период степень угрозы увеличивается до сильной. Степень угрозы также увеличивается при наличии очагов в соседних лесничествах.

### ***5.3. Оценка угрозы размножения ксилофагов по фазовым портретам***

Необходимо учитывать сложность определения угрозы возникновения очагов стволовых вредителей по усредненным для большой территории показателям (динамика среднего отпада по регионам). Для построения фазовых портретов массового размножения необходимо анализировать отпад деревьев в конкретных насаждениях и оценивать встречаемость участков леса с повышенным отпадом. Анализ данных мониторинга состояния древостоев на пунктах постоянных наблюдений показывает, что при небольшом среднем текущем отпаде (2,5%) в лесах региона очаги стволовых вредителей (отпад деревьев 10% и выше) не только существуют, но и могут занимать значительную площадь (около 10%).

Построение фазовых портретов для стволовых насекомых и хвоелистогрызущих происходит аналогично. Межвспышечный период также состоит из трех стадий – депрессии, восстановления стабильной численности, стабильной численности.

Для диагностики фаз массового размножения и стадий межвспышечного периода осуществляют ежегодные учеты численности насекомого [15, 21]. Данные заносятся в электронные таблицы, что позволяет выполнять все расчеты автоматически по заданным алгоритмам.

Оценка плотности популяции стволовых вредителей более трудоемка. Поэтому предлагаем использовать фазовые портреты, построенные на основе упрощенной, косвенной оценки численности насекомого. В качестве такой характеристики используем количество (долю) поврежденных стволовыми насекомыми деревьев (текущий отпад) на единице площади насаждения (пробной площади). В табл. 12, как пример, приведены результаты мониторинга этого показателя на постоянном пункте наблюдения в течение шести лет.

**Оценка доли поврежденных стволовыми насекомыми деревьев и ее изменения за шестилетний период наблюдений**

Год	1	2	3	4	5	6
Доля поврежденных короедом деревьев, % (x)	6	2	1	2	3	10
Прирост отпада деревьев	0,33	0,5	2,0	1,3	3,3	2,7
$\lg x$	0,778	0,301	0	0,301	0,477	1
$\lg x_{n+1} - \lg x_n$	-0,477	-0,301	0,301	0,176	0,523	0,431

Отношение доли заселенных деревьев в данном году к их встречаемости в предыдущем году характеризует приблизительно тенденцию прироста популяции вредителей (коэффициент размножения насекомых).

Долю поврежденных деревьев (x) и ее изменение ( $x_{n+1}/x_n$ ) за каждый год в логарифмической шкале представляем на фазовой плоскости в виде точки (рис. 15). Выделяем стадии межвспышечного периода и фазу роста численности. С учетом этого экспертным путем, используя алгоритм приведенный в разделе 4.3, определяем границу перехода популяции от стабильного состояния к росту численности (пороговую линию).

Анализируем положение точек на фазовом портрете относительно стадий межвспышечного периода: начало депрессии – угрозы нет, произошло восстановление стабильной численности – угроза от слабой до средней, рост численности продолжается – угроза сильная.

Анализируем положение точек на фазовом портрете относительно пороговой линии. Плотность популяции выше пороговой – угроза МРН сильная, близка к пороговой – угроза МРН средняя, ниже пороговой – угроза МРН слабая.

Из рис. 15 видно, что на второй год восстановления стабильной численности популяции (точка 3) уровень угрозы увеличился до среднего, а еще через год (точка 4) до сильного, что подтвердилось интенсивным ростом текущего отпада на следующий год (точка 5).

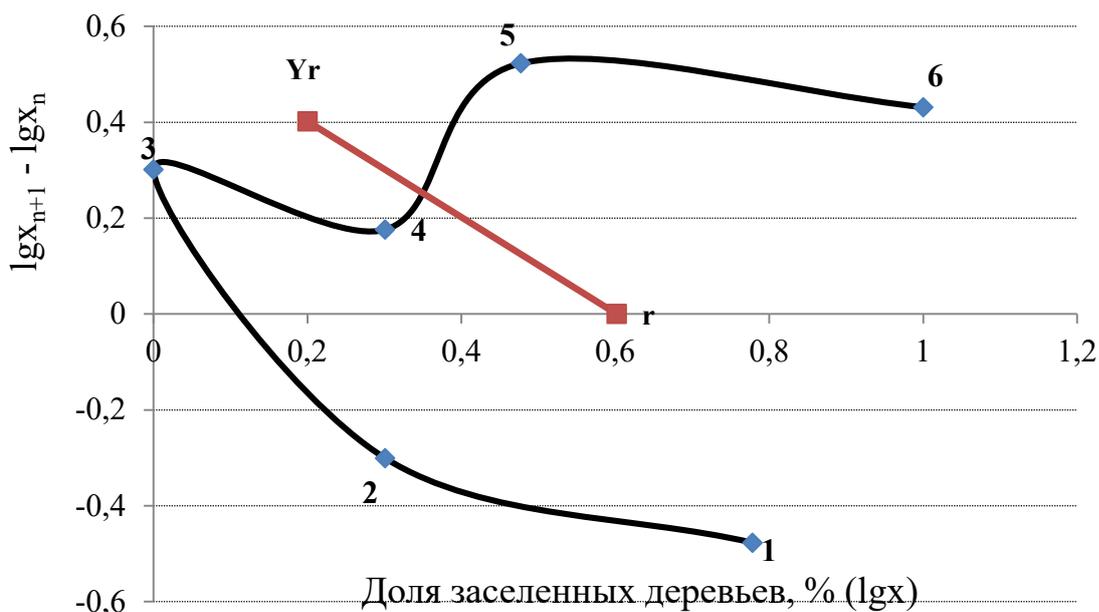


Рис. 15. Фазовый портрет динамики численности поврежденных короедом деревьев. Стадии межвспышечного периода (1-2 – депрессия, 2-3 – восстановления стабильной численности, 3-4 – стабильная численность, 4-5 – фаза роста численности, (r - yr) – пороговая линия)

Пороговая линия (рис. 15) в аналитическом виде характеризуется уравнением:

$$y = 0,6 - x, \quad (7)$$

где:  $x$  – доля поврежденных короедом деревьев, % (lg);  
 $y$  – прирост отпада деревьев ( $\lg X_{n+1} - \lg X_n$ )

По уравнению получаем значения доли поврежденных деревьев и степень ее изменение за год в абсолютных значениях:

Поврежденных деревьев, %,	1	2	3	4	5
Прирост отпада	4,0	2,0	1,3	1,0	0,8

Превышение приведенных пороговых значений указывает на высокую угрозу массового размножения. Например, об этом свидетельствует обнаружение на пробной площади 4% заселенных деревьев.

Анализ литературных данных показывает, что значение стабильной плотности популяции типографа составляет около 10-15 тыс. жуков на гектар. Пороговая численность превышает стабильную в среднем в 2 раза и составляет 20-25 тыс. жуков на гектар [17]. В этом случае координаты точки r в логарифмической шкале следующие:  $x = 4,4$ ;  $y = 0$ . Пороговую прямую

(линия высокой угрозы массового размножения) характеризуем уравнением:

$$y = 4,4 - x, \quad (8)$$

где:  $x$  – среднее количество жуков на га (lg);  
 $y$  – коэффициент размножения ( $x_{n+1}/x_n$ ) (lg)

Пороговые плотности популяции и соответствующие им коэффициенты размножения получаем по уравнению и переходим от логарифмов к абсолютным значениям:

Число жуков, тыс. шт./га	25,12	15,85	10,0	6,31	3,98
коэффициент размножения	1,0	1,6	2,5	4,0	6,3

Если имеются данные феромонного мониторинга насекомых [23], то на их основе по изложенной выше методике строим фазовый портрет (рис. 16).

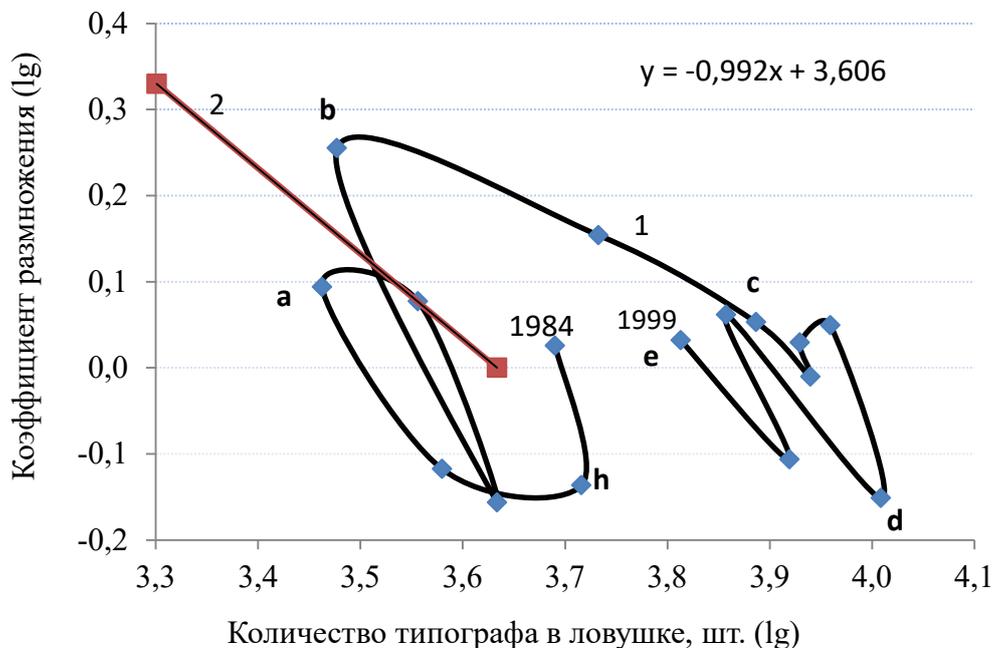


Рис. 16. Фазовый портрет (1) и пороговая линия (2) динамики численности короэда-типографа (данные феромонного мониторинга 1984-2000 гг.). Фазы массового размножения: нарастание численности (bc), максимум (cd), разреживание (de), депрессия (eh), восстановление стабильной численности (ha), колебания в зоне стабильной численности (ab)

Нанося на график (рис. 16) точку, соответствующую текущей численности короэда и ее приросту, сопоставляем положение точки относительно фазовой траектории (1) и пороговой линии (2), определяем уровень угрозы массового размножения.

Фаза депрессии – угрозы нового массового размножения нет, произошло восстановление стабильной численности (а) – угроза выросла от слабой до средней, но в конкретной ситуации (рис. 16) она не переросла в сильную. Не было повреждения насаждений, засухи. С 1987 г. по 1990 г. наблюдались колебания плотности популяции в зоне стабильной численности. В 1990 г. (точка b) популяция преодолела пороговую линию. За 1991 г. численность значительно выросла, угроза стала сильной, что подтверждает дальнейший рост численности и массовое размножение типографа.

Анализ фазового портрета необходим и для построения пороговой линии 2 на рис. 16, так как ее координаты (положение) определяются экспертным путем на основе такого анализа. Анализ фазового портрета многолетнего изменения отлова типографа за сезон позволил установить пороговые оценки численности жуков, которые описываются уравнением:

$$y = -0,992x + 3,606, \quad (9)$$

где:  $x$  – число короедов в ловушке за сезон (lg);

$y$  – прирост численности ( $x_{n+1}/x_n$ )  
(коэффициент размножения) (lg)

По уравнению, трансформируя данные в логарифмы и наоборот, рассчитали пороговые величины отлова типографа, при достижении которых образуются очаги его массового размножения.

В абсолютной шкале эта пороговая численность жуков ( $x_n$ ) и коэффициент размножения ( $x_{n+1}/x_n$ ) короеда-типографа характеризуется следующими соотношениями:

Число жуков в ловушке за сезон, шт.	1000	1500	2000	2500	3000	4300
Коэффициент размножения	4,3	2,9	2,1	1,7	1,4	1,0

Полученная пороговая функция в целом соответствует оценке результатов отлова, приведенной в рекомендациях по применению феромонов для мониторинга насекомых [22]. В них указано, что патологический отпад в пределах естественной нормы наблюдается при отлове за сезон (май-август) до 3000 жуков.

Полученные результаты позволяют более точно оценивать пороговую численность с учетом состояния популяции. Массовое размножение (фаза нарастания численности) может реализоваться и при меньшем отлове жуков (например, 2000 шт.), однако для этого рост плотности популяции должен быть более чем в 2 раза (коэффициент размножения 2,1).

## 6. Экспертная оценка и интегрированный прогноз массовых размножений

Прогноз угрозы массового размножения по отдельным показателям целесообразно дополнять интегрированной экспертной оценкой, что повышает его точность. При этом осуществляется некоторый синтез и комбинирование различных вариантов прогнозов. Преимущество метода заключается в использовании комплекса разнородных, в том числе и качественных показателей (табл. 13).

Таблица 13

### Экспертная оценка угрозы массового размножения

№	Показатели прогноза	Критерии степени угрозы		
		слабая	средняя	сильная
1	Встречаемость очагов по регионам, %	до 30	30-60	60 и более
2	Встречаемость очагов по лесничествам, %	до 10	10-40	40 и более
3	Периодичность массовых размножений, лет	25-50	20-25	10-12
4	Продолжительность текущего межвспышечного периода, лет	меньше средней	средняя	больше среднего
5	Наличие засухи в межвспышечный период	нет	есть	есть в конце периода
6	Близость к порогу массового размножения	депрессия	восстановление численности	пороговая численность
7	Превышение нормы текущего отпада	до 1,5 раз	1,5-2 раза	более 2 раз

Для прогноза угрозы массового размножения конкретного хозяйственно опасного насекомого по многолетним данным (не менее 10 лет) оцениваем встречаемость очагов в лесничестве и регионе, а также частоту массовых размножений. При отсутствии данных учета очагов используем экспертные оценки. Чем чаще встречаются очаги массовых размножений, тем выше угроза их образования.

Например, встречаемость очагов сибирского шелкопряда в Красноярском крае 46% (25 лет из 55), с учетом неучтенных очагов – предположительно около 60%. Встречаемость очагов в Усть-Ангарском лесничестве предположительно 40%, частота вспышек – в среднем раз 11-15 лет. Следовательно, по этим трем показателям для этой территории степень угрозы массового размножения сибирского шелкопряда высокая.

Оценим изменение угрозы во времени. Допустим, прогноз осуществляем в 2013 г. на 2014 г. Оцениваем показатель № 4 (табл. 13). Период

между вспышками включает этапы депрессии, восстановления и существования стабильной численности. Поэтому массовое размножение в том же самом насаждении может повториться не ранее чем через 3 года после завершения предыдущей вспышки. Продолжительность текущего межвспышечного (межочагового) периода (включая 2013 г.) в Красноярском крае составляет 9 лет. Это существенно больше средней продолжительности межвспышечного периода, который равен 6 лет. Следовательно, по этому показателю степень угрозы образования очагов в 2014 г. также высокая (период депрессии популяции сибирского шелкопряда давно завершился, произошло восстановление стабильной численности и вероятность массового размножения существенно выросла).

Проведем оценку показателя № 5 (табл. 13). По данным метеостанции Красноярск ГТК лета в 2010-2012 гг. были 1,22; 1,28; 0,93, то есть этот период был засушливым, особенно 2012 г. Следовательно, по этому показателю степень угрозы образования очагов в 2014 г. также высокая.

Показатель № 6 (табл. 13) «Близость к порогу массового размножения» при отсутствии учетов численности сибирского шелкопряда не оцениваем. Косвенно его можно характеризовать, используя алгоритм оценки показателя №4 и литературные данные по длительности межвспышечного периода популяции сибирского шелкопряда на этой территории. После восстановления стабильной численности популяции угроза массового размножения увеличивается до средней степени. При нахождении популяции в зоне ограниченного роста численности (5-6 лет после вспышки) – угроза максимальна (начальная фаза роста численности). При наличии оценок плотности популяции используем пороговые значения, например из таблицы 7.

Таким образом, в 2014 г. прогнозные показатели указывали на высокую вероятность образования очагов сибирского шелкопряда. Однако очаги не были выявлены и в «Прогноз состояния лесов Российской Федерации, расположенных на землях лесного фонда, и основные мероприятия по улучшению их состояния на 2015 год» указывалось, что «при благоприятных погодных условиях возможно увеличение численности сибирского шелкопряда». Однако с учетом сильной угрозы необходимо было прогнозировать не «увеличение численности», а образование очагов, которые уже сформировались в 2014 г., но не были обнаружены. На это указывает то, что в следующем году в отдельных участках было полное объедание не только деревьев, но и подроста.

## 6.1. Расчеты точности моделей прогнозирования

Точность прогноза определяется путем сравнения степени совпадения прогнозируемых оценок и фактических данных. Проводится графический анализ и различия оцениваются аналитически. Строится график изменения реальных и прогнозных оценок во времени. Определяется согласие между модельными и натурными оценками: отклонение по абсолютной величине и фазовый сдвиг между рядами. Либо на оси абсцисс откладываются прогнозные оценки ( $N_{\text{прогн.}}$ ), а на оси ординат – реальные ( $N_{\text{реализ.}}$ ) и сравнивается их отклонение от линии «совершенного» прогноза, когда эти оценки совпадают (100-процентная точность). Дисперсия прогноза вычисляется по формуле:

$$\sigma^2 = \sum (\lg N_{\text{прогн.}} - \lg N_{\text{реализ.}}) / n,$$

где:  $N$  – оценки прогнозируемые и фактические;  
 $n$  – количество слагаемых;  
 $\sigma^2$  – дисперсия прогноза

Для сопоставления моделей определяется относительная величина их ошибок (отношение отклонений  $\sigma^2$  к фактическим данным). При ошибке меньше 40% считается, что модель составлена достаточно точно.

Прогноз должен обеспечивать, по меньшей мере, оценку тенденции изменения плотности популяции на один год вперед. При увеличении заблаговременности прогноза его точность уменьшается, так как для года ( $n+2$ ) и далее для расчета используются не только наблюдаемые данные, но и их модельные оценки, доля которых с каждым годом растет, а точность снижается.

Величина фазового сдвига между модельным и натурным временными рядами важна при прогнозировании кульминации вспышки массового размножения и перехода в фазу кризиса.

## Список использованной литературы

1. Ильинский, А.И. Организация надзора за хвое- и листогрызущими вредителями в лесах и прогнозирование их массовых размножений / А.И. Ильинский // Защита лесов от вредителей и болезней. – М. : Сельхозгиз, 1961. – С. 57–96.
2. Надзор, учет и прогноз массовых размножений хвое- и листогрызущих насекомых в лесах СССР. – М. : Лесн. пром-сть, 1965. – 525 с.
3. Обзор санитарного и лесопатологического состояния лесов Российской Федерации в 2010 г. и прогноз лесопатологической ситуации на 2011 г. – М. : ФГУ «Рослесозащита», 2011. – 179 с.
4. Семевский, Ф.Н. Математическое моделирование экологических процессов / Ф.Н. Семевский, С.М. Семенов. – Л. : Гидрометеиздат, 1982. – 280 с.
5. Динамика численности лесных насекомых / А.С. Исаев, Р.Г. Хлебоброс, Л.В. Недорезов, Ю.П. Кондаков, В.В. Киселев. – Новосибирск : Наука, 1984. – 224 с.
6. Наставление по надзору, учету и прогнозу хвое- и листогрызущих насекомых в Европейской части РСФСР. – М. : Минлесхоз РСФСР, 1988. – 84 с.
7. Берриман, А. Защита леса от насекомых вредителей [пер. с англ.]. – М. : Агропромиздат, 1990. – 288 с.
8. Воронцов, А.И. Технология защиты леса / А.И. Воронцов, Е.Г. Мозолевская, Э.С. Соколова. – М. : Экология, 1991. – 304 с.
9. Методы мониторинга вредителей и болезней леса / Под общ. ред. В.К. Тузова. – М. : ВНИИЛМ, 2004. – 200 с.
10. Лямцев, Н.И. Прогноз динамики численности основных видов фитофагов // Методы мониторинга вредителей и болезней леса. Справочник, т. III. – М. : ВНИИЛМ, 2004. – С. 121–141.
11. Рубцов, В.В. Анализ взаимодействия листогрызущих насекомых с дубом / В.В. Рубцов, Н.И. Рубцова. – М. : Наука, 1984. – 184 с.
12. Динамика численности лесных насекомых-филлофагов: модели и прогнозы. / А.С. Исаев, Е.Н. Пальникова, В.Г. Суховольский, О.В. Тарасова. – М. : Товарищество научн. изд. КМК, 2015. – 262 с.
13. Катаев, О.А. Динамика плотности популяции короедов (Coleoptera, Scolytidae) в древостоях, ослабленных природными и антропогенными факторами. Чтения памяти Н.А. Холодковского. Вып. 51 / О.А. Катаев, А.В. Осетров, Б.Г. Поповичев, А.В. Селиховкин. – СПб, 2001. – 82 с.

14. Кондаков, Ю.П. Массовые размножения сибирского шелкопряда в лесах Красноярского края / Ю.П. Кондаков // Энтомологические исследования в Сибири. Выпуск 2. – Красноярск : КФ РЭО, 2002. – С. 25–74.
15. Маслов, А.Д. Короед-типограф и усыхание еловых лесов / А.Д. Маслов. – Пушкино : ВНИИЛМ, 2010. – 138 с.
16. Лямцев, Н.И. Прогнозирование массовых размножений непарного шелкопряда, угрозы повреждения дубрав и необходимости защитных мероприятий / Н.И. Лямцев. – Пушкино : ВНИИЛМ, 2018. – 84 с.
17. Районы массового размножения насекомых-филлофагов в лесах Приенисейской Сибири. Карта (М 1:1 800 000) / Ю.П. Кондаков, Ю.Н. Баранчиков, В.П. Черкашин, М. А. Корец. – Красноярск : Ин-т леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, Проект USAID ФОРЕСТ, 2003. – 1 лист (69x88 см).
18. Юрченко, Г.И. Сибирский и белополосый шелкопряды на Дальнем Востоке (Пособие по мониторингу) / Г.И. Юрченко, Г.И. Турова. – Хабаровск, 2007. – 57 с.
19. Яновский, В.М. Лесоэнтомологическое районирование : задачи и пути решения проблемы / В.М. Яновский, А.С. Плешанов // Лесоведение, 1991. – №6. – С. 10–15.
20. Эпова, В.И. Зоны вредоносности насекомых-филлофагов Азиатской России / В.И. Эпова, А.С. Плешанов. – Новосибирск : Наука, 1995. – 147 с.
21. Методические рекомендации по надзору, учёту и прогнозу массовых размножений стволовых вредителей и санитарного состояния лесов. МПР РФ, ФАЛХ. – Пушкино : ВНИИЛМ, 2006. – 108 с.
22. Применение феромонов важнейших вредителей леса при ведении лесопатологического мониторинга / А.Д. Маслов и др. – Пушкино : ВНИИЛМ, 2013. – 36 с.
23. Meier F., Gall R., Forster B. Ursachen und Verlauf der Buchdrucker-Epidemien (*Ips typographus* L.) in der Schweiz von 1984 bis 1999. Schweiz. Z. Forstwes. 2003, (154), 11. S. 437–441.

**Список основных хозяйственно опасных лесных насекомых**

**Хвое- и листогрызущие:**

сибирский шелкопряд (*Dendrolimus sibiricus*),  
сосновый шелкопряд (*Dendrolimus pini*),  
сосновая пяденица (*Bupalus piniarius*),  
сосновая совка (*Panolis flammea*),  
шелкопряд-монашенка (*Lymantria monacha*),  
рыжий сосновый пилильщик (*Neodiprion sertifer*),  
обыкновенный сосновый пилильщик (*Diprion pini*),  
звездчатый пилильщик-ткач (*Acantolyda posticalis*),  
пихтовая пяденица (*Ectropis bistortata*),  
пяденица Якобсона (*Erannis jacobsoni*),  
непарный шелкопряд (*Lymantria dispar*),  
зеленая дубовая листовертка (*Tortrix viridana*),  
златогузка (*Euproctis chysorrhoea*),  
дубовая хохлатка (*Peridea anceps*),  
зимняя пяденица (*Operophtera brumata*).

**Стволовые вредители:**

короед-типограф (*Ips typographus*),  
шестизубчатый короед (*Ips sexdentatus*),  
большой черный еловый усач (*Monochamus urusovi*),  
малый черный еловый усач (*Monochamus sutor*),  
черный сосновый усач (*Monochamus galloprovincialis*),  
большой еловый лубоед (*Dendroctonus micans*),  
уссурийский полиграф (*Polygraphus proximus*),  
союзный короед (*Ips amitinus*),  
вершинный короед (*Ips acuminatus*).

## Приложение 2

### Показатели угрозы массового размножения насекомых по регионам России

Таблица 1

**Характеристика очагов массового размножения (МР) сибирского шелкопряда по регионам России (1962–2016 гг.). Средняя площадь – оценка за весь период наблюдений**

№	Субъект РФ	Площадь очагов, га		Встречаемость очагов, %	Число МР	Периодичность МР, лет
		средняя	максимальная			
1	Алтайский край	12179,0	237642	60	5	11
2	Республика Алтай					
3	Амурская обл.	786,2	4128	38,2	5	11
4	Башкортостан	17,1	516	3,6	2	27
5	Бурятия	3033,6	48250	47,3	5	11
6	Иркутская обл.	26048,0	96582	85,5	5	11
7	Кемеровская обл.	488,9	8353	21,8	4	14
8	Красноярский край	38959	803832	45,5	5	11
9	Марий Эл	0,6	25	1,9	1	54
10	Новосибирская обл.	950,2	2785	40,0	3	18
11	Омская обл.	15,2	640	1,8	1	54
12	Приморский край	19335,7	236600	14,5	4	14
13	Сахалинская обл.	641	32060	18,2	2	27
14	Свердловская обл.	34,0	862	3,6	1	54
15	Томская обл.	12232	474776	53,7	5	11
16	Тыва	6654	73400	86	5	11
17	Тюменская обл.	19593	39349	6	2	27
18	Удмуртия	35	753	18	2	27
19	Хабаровский край	18675,4	336641	16	2	27
20	Хакасия	559,2	4353	30	2	27
21	Челябинская обл.	52,3	900	22	3	18
22	Читинская обл.	50207,1	421820	28	2	27
23	Саха (Якутия)	473804,3	6375080	64	5	11

Таблица 2

**Характеристика очагов соснового шелкопряда по регионам России  
(1977–2016 гг.). Средняя\* площадь – оценка только за годы с очагами**

№	Субъект РФ	Площадь очагов, га		Вероятность очагов, %	Число массовых размножений
		средняя*	макси- мальная		
1	Алтайский край	12729,7	30800,0	45,0	4
2	Белгородская обл.	1002,5	1007,0	7,5	1
3	Брянская обл.	336,4	336,0	2,5	1
4	Волгоградская обл.	917,3	3703,0	80,0	4
5	Воронежская обл.	3168,1	22095,0	65,0	4
6	Калужская обл.	7,2	8,0	5,0	1
7	Кемеровская обл.	192,4	192,0	2,5	1
8	Курганская обл.	2877,1	3926,0	7,5	2
9	Липецкая обл.	50,4	50,4	2,5	1
10	Мордовия	30,2	30,2	5,0	1
11	Нижегородская обл.	273,2	410,4	7,5	1
12	Новосибирская обл.	239,2	490,0	17,5	2
13	Оренбургская обл.	2,2	2,2	5,0	1
14	Пензенская обл.	272,2	432,0	5,0	1
15	Ростовская обл.	3657,5	8896,0	79,5	4
16	Саратовская обл.	685,1	1427,0	7,7	1
17	Свердловская обл.	5000,4	5000,4	2,6	1
18	Тамбовская обл.	33,4	110,0	15,4	2
19	Удмуртия	88,7	120,0	23,1	1
20	Ульяновская обл.	1000,2	1000,2	5,1	1
21	Челябинская обл.	1314,2	1314,2	5,1	1
22	Читинская обл.	2250,1	3000,0	10,3	1
23	Чувашия	2002,4	2002,4	2,6	1
24	Ярославская обл.	203,4	203,4	2,5	1

Таблица 3

## Характеристика очагов сосновой совки по регионам России (1977–2016 гг.)

№	Субъект РФ	Площадь очагов, га			Встречаемость очагов, %	Число массовых размножений
		средняя	средняя*	максимальная		
1	Алтайский край	26468,0	105871,9	259879,0	25,0	2
2	Белгородская обл.	0,8	16,0	16,0	5,0	1
3	Волгоградская обл.	209,9	2798,5	5900,0	7,5	1
4	Воронежская обл.	919,2	2451,3	6785,0	37,5	3
5	Ивановская обл.	148,8	5950,0	5950,0	2,5	1
6	Иркутская обл.	29,0	1159,0	1159,0	2,5	1
7	Калужская обл.	1,0	20,0	20,0	5,0	1
8	Кемеровская обл.	8,7	174,2	280,0	5,0	1
9	Курганская обл.	11,3	225,7	307,0	5,0	1
10	Марий Эл	624,1	12481,7	12482,0	5,0	1
11	Мордовия	1,8	35,0	35,0	5,0	1
12	Новгородская обл.	23,5	469,2	910,0	5,0	2
13	Оренбургская обл.	12,6	168,5	408,0	7,5	2
14	Пензенская обл.	4,8	190,0	190,0	2,5	1
15	Пермская обл.	227,5	4550,2	7300,0	5,0	1
16	Ростовская обл.	2341,9	5510,3	39637,0	42,5	2
17	Самарская обл.	41,0	533,5	700,0	7,7	1
18	Саратовская обл.	13,6	90,6	308,0	15,0	2
19	Свердловская обл.	57,8	1155,2	1350,0	5,0	2
20	Татарстан	7,8	310,0	310,0	2,5	1
21	Тверская обл.	12,9	251,2	427,0	5,1	1
22	Тюменская обл.	600,0	12000,0	12000,0	5,0	1
23	Удмуртия	154,0	256,6	366,0	60,0	2
24	Челябинская обл.	232,3	4646,2	9042,0	5,0	1
25	Читинская обл.	51,5	412,1	-	12,5	1

Таблица 4

**Угроза (вероятность) образования очагов шелкопряда-монашенки  
(1977–2016 гг.)**

№ п/п	Регион	Вероятность, %	№ п/п	Регион	Вероятность, %
1	Алтайский край	40	17	Пензенская обл.	55
2	Республика Алтай		18	Приморский край	5
3	Амурская обл.	27,5	19	Рязанская обл.	7,7
4	Башкортостан	21	20	Самарская обл.	20
5	Владимирская обл.	5	21	Сахалинская обл.	5
6	Калининградская обл.	7,5	22	Свердловская обл.	37
7	Калужская обл.	2,5	23	Татарстан	21
8	Красноярский край	5	24	Тверская обл.	5
9	Курганская обл.	65	25	Томская обл.	17,5
10	Липецкая обл.	10	26	Тюменская обл.	47,5
11	Мордовия	17,5	27	Удмуртия	56,4
12	Московская обл.	12,5	28	Ульяновская обл.	27,5
13	Нижегородская обл.	12,5	29	Хабаровский край	10
14	Новосибирская обл.	57,5	30	Челябинская обл.	80
15	Омская обл.	22,5	31	Читинская обл.	5
16	Оренбургская обл.	17,5	32	Чувашия	7,5

Таблица 5

**Угроза (вероятность) образования очагов сосновой пяденицы  
(1977–2016 гг.)**

№ п/п	Регион	Вероятность, %	№ п/п	Регион	Вероятность, %
1	Алтайский край	56,4	18	Новосибирская обл.	5,1
2	Республика Алтай		19	Омская обл.	5,1
3	Амурская обл.	27,5	20	Оренбургская обл.	12,5
4	Башкортостан	12,8	21	Пензенская обл.	67,5
5	Белгородская обл.	50	22	Пермская обл.	17,9
6	Бурятия	5,1	23	Ростовская обл.	53,8
7	Волгоградская обл.	2,6	24	Свердловская обл.	7,7
8	Воронежская обл.	50	25	Тамбовская обл.	7,7
9	Кемеровская обл.	5,1	26	Татарстан	23,1
10	Кировская обл.	2,6	27	Тверская обл.	2,6
11	Красноярский край	5,1	28	Томская обл.	7,5
12	Курганская обл.	52,5	29	Тува	2,6
13	Курская обл.	2,6	30	Удмуртия	60,5
14	Ленинградская обл.	20,5	31	Ульяновская обл.	25,6
15	Липецкая обл.	30	32	Челябинская обл.	33,3
16	Мордовия	5,1	33	Читинская обл.	15,4
17	Нижегородская обл.	7,7	34	Чувашия	5,1

Таблица 6

**Угроза (вероятность) образования очагов рыжего соснового пилильщика (1977–2016 гг.)**

№ п/п	Регион	Вероятность, %	№ п/п	Регион	Вероятность, %
1	Алтайский край	15,0	24	Новосибирская обл.	7,5
2	Республика Алтай		25	Омская обл.	40,0
3	Архангельская обл.	12,5	26	Оренбургская обл.	7,5
4	Башкортостан	27,5	27	Пензенская обл.	97,5
5	Белгородская обл.	82,5	28	Пермская обл.	77,5
6	Брянская обл.	30,0	29	Ростовская обл.	15,0
7	Владимирская обл.	2,5	30	Рязанская обл.	92,5
8	Волгоградская обл.	90,0	31	Самарская обл.	15,4
9	Воронежская обл.	97,5	32	Саратовская обл.	67,5
10	Калужская обл.	5,0	33	Свердловская обл.	97,5
11	Карелия	17,5	34	Смоленская обл.	17,5
12	Кемеровская обл.	35,0	35	Ставропольский край	2,5
13	Кировская обл.	17,5	36	Тамбовская обл.	60,0
14	Краснодарский край	12,5	37	Татарстан	17,5
15	Красноярский край	2,5	38	Тверская обл.	52,5
16	Курганская обл.	50,0	39	Томская обл.	10,3
17	Курская обл.	22,5	40	Тюменская обл.	67,5
18	Ленинградская обл.	17,5	41	Удмуртия	60,0
19	Липецкая обл.	70,0	42	Ульяновская обл.	82,5
20	Мордовия	25,0	43	Челябинская обл.	75,0
21	Московская обл.	22,5	44	Читинская обл.	57,5
22	Нижегородская обл.	5,0	45	Чувашия	2,5
23	Новгородская обл.	5,1			

Таблица 7

**Площади и встречаемость очагов звездчатого пилильщика-ткача по регионам России (1995–2020 гг.)**

№ п/п	Регион	Площадь очагов (Р), га		Вероятность очагов, %
		средняя	максимальная	
1	Алтайский край	2650	8515	80,8
2	Брянская обл.	209,4	1605	46,2
3	Владимирская	4203,2	17737	69,2
4	Волгоградская обл.	2105	9728	69,2
5	Воронежская обл.	69,5	1500	7,7
6	Курганская обл.	3175,5	7907	88,5
7	Марий Эл	78,2	223	26,9
8	Оренбургская обл.	1513,7	3296	100,0
9	Орловская обл.	0,2	2	11,5
10	Ростовская обл.	105,3	548	42,3
11	Самарская обл.	1645,3	8841	33,3
12	Тверская обл.	2306,9	11180	69,2
13	Томская обл.	70,3	117	69,6
14	Тюменская обл.	1,3	16	8,0
15	Челябинская обл.	6577,4	21067	96,0
16	Читинская обл.	1107,1	5335	42,3

*Автор-составитель:*

**Лямцев Николай Иванович**

канд. биол. наук, заведующий отделом защиты леса – Центр приоритетных биотехнологий в защите леса, ФБУ ВНИИЛМ

**Методы прогнозирования угрозы вспышек  
массового размножения хозяйственно опасных  
лесных насекомых**

В авторской редакции

**Текстовое электронное издание**

Корректор *Е.Б. Кузнецова*  
Компьютерная верстка *С.А. Трушенкова*

Подписано к использованию 29.09.2023

Объем 1.0 МБ

Тираж 10 CD-ROM

Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства  
и механизации лесного хозяйства.  
Московская область, г. Пушкино, ул. Институтская, д. 15  
[www.vniilm.ru](http://www.vniilm.ru), e-mail: [info@vniilm.ru](mailto:info@vniilm.ru)  
Тел.: +7 (495) 993-30-54