

4. МОНИТОРИНГ И КОНТРОЛЬ ФИТОПАТОГЕНОВ И НАСЕКОМЫХ-ВРЕДИТЕЛЕЙ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ

УДК 630*453.595.78

Н.И. Лямцев

ОЦЕНКА И ПРОГНОЗ УГРОЗЫ МАССОВОГО РАЗМНОЖЕНИЯ СИБИРСКОГО ШЕЛКОПРЯДА В ЛЕСАХ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

Введение. Повреждения лесов сибирским шелкопрядом *Dendrolimus sibiricus* Tschetverikov (Lepidoptera: Lasiocampidae) периодически повторяются и являются одной из основных причин ухудшения состояния и усыхания древостоев на больших площадях [Исаев и др., 1984, 2005; Кондаков, 1974, 2002]. Сопутствующее массовое размножение стволовых вредителей или дополнительное воздействие других негативных природных и антропогенных факторов делают ущерб лесам особенно значительным. Для своевременного проведения защитных мероприятий, эффективной профилактики и предотвращения ущерба необходимо оценивать и прогнозировать угрозу (риск, вероятность) массовых размножений сибирского шелкопряда и повреждения насаждений. Важность лесопатологических прогнозов и их необходимость не вызывают сомнения, и в любой системе лесного хозяйства они присутствуют как составная часть [Ильинский, 1961]. При интенсивном ведении хозяйства для обоснования решений все чаще используются прогнозные модели.

Разработка прогнозов является одной из основных задач государственного лесопатологического мониторинга. Однако получаемые при ведении мониторинга данные для целей прогнозирования используются не полностью [Лямцев, 2015]. Одни из причин этого – недостаточное применение информационных технологий для автоматизации процессов хранения, оперативного анализа и использования результатов мониторинга, а также трудоемкость и сложность вопросов прогнозирования. Еще одна причина заключается в том, что методов прогнозирования массовых размножений

лесных насекомых разработано много, но для практического применения необходима их адаптация к имеющимся базам данных.

Цель данного исследования – обоснование системы количественных критериев, методов и алгоритмов, позволяющих в результате накопления и систематизации лесопатологической информации повысить точность и оперативность прогнозов.

Методика исследования. Прогнозные модели и прогнозы разрабатываются на основе большого объема эмпирических данных, теоретических знаний и интуиции. При этом результаты моделирования дополнительно оцениваются специалистами с точки зрения соответствия реальной ситуации и экологическим закономерностям. Без этого эффективное прогнозирование невозможно. Сопоставляя модельные прогнозы с реальностью, модель адаптируется, совершенствуется, в итоге повышается точность и достоверность результатов.

Для оценки и прогноза угрозы массовых размножений необходимы достаточно длинные временные ряды, характеризующие несколько (три и более) последовательных вспышек массового размножения в одной и той же местности. Таких наблюдений практически нет. Поэтому для прогнозирования использовали данные инвентаризации очагов массового размножения сибирского шелкопряда, метеорологические данные и результаты единственных многолетних стационарных исследований.

Обработка данных проводилась с помощью стандартных программ. Для оценки угрозы массовых размножений анализировали временные ряды площадей очагов, индекса солнечной активности, гидротермического коэффициента и других метеорологических показателей. Определяли вероятность образования (встречаемость) и периодичность возникновения очагов (частоту массовых размножений) сибирского шелкопряда. Встречаемость – доля лет с очагами от периода наблюдений. Оценивали продолжительность межвспышечного периода (без формирования очагов). Анализировали фазовый портрет динамики численности сибирского шелкопряда, определяли параметры пороговой функции, характеризующей переход популяции из стабильного во вспышечное состояние.

Расчеты выполняли средствами электронных таблиц (Microsoft Excel). Проводили статистический анализ и моделирование при помощи соответствующих запросов. Графическое представление данных площадей очагов осуществлялось в виде диаграмм и карт-схем для анализа временных рядов или распространения очагов в пространстве.

Результаты исследования. По своей изученности сибирский шелкопряд занимает одно из первых мест среди лесных насекомых-вредителей [Исаев и др., 1984]. Однако выявленные закономерности возникновения и развития его массовых размножений (очагов) имеют разную степень детальности количественного описания. Не вызывают сомнения приуроченность вспышек размножения к периодам засушливых лет и подъем численности после засух [Надзор..., 1965]. Более сложным вопросом является оценка периодичности массовых размножений. Она существенно варьирует, особенно в пространстве. По данным Ю.П. Кондакова [2002], в темнохвойных южно-таежных лесах Красноярского края продолжительность градационного цикла изменяется в пределах 11–16 лет (средняя – 14 лет). По данным табл. 1, периодичность массовых размножений, рассчитанная по времени начала интенсивных повреждений, – 13 лет, образования очагов – 12,25 лет, а их затухания – 11,25 лет.

Таблица 1

**Периодичность вспышек размножения сибирского шелкопряда
в лесах Красноярского края**

Frequency of outbreaks of Siberian moth in the forests of the Krasnoyarsk Krai

Номер цикла	Период, годы		Площадь очагов, тыс. га [Кондаков, 2002]
	интенсивных повреждений [Кондаков, 2002]	очагов (по данным Рослесхоза)	
1	1942–1945	–	86,2
2	1954–1957	–	2336,8
3	1967–1968	1966–1972	260,0
4	1982–1984	1982–1985	9,8
5	1994–1995	1991–1997	782,6
6	–	2000–2004	–
7	–	2015–2017	–

Изменение периодичности градационных циклов зависит от величины и особенностей анализируемых временных интервалов и может указывать на наличие долговременных тенденций (трендов). Так, в темнохвойных лесах южной части Красноярского края с 1878 по 1998 гг. было девять вспышек массового размножения сибирского шелкопряда (средняя перио-

дичность – 13 лет) [Кондаков, 2002]. В последние 55 лет продолжительность градаций снизилась до 11 лет, и в период с 1963 по 2018 гг. было пять массовых размножений. Более продолжительные вспышки размножения принимают панзональный характер (например, 1920, 1950 и 1990-х гг.), когда очаги действовали на большой территории от Урала до Приморского края [Кондаков, 2002].

Наиболее точно периодичность массовых размножений оценивается по данным многолетних стационарных наблюдений (мониторинга численности насекомого). Однако таких данных мало, поэтому для этих целей использовали материалы Рослесхоза по инвентаризации очагов сибирского шелкопряда в регионах России [Обзор..., 1994; 2002; 2009; 2016]. По Красноярскому краю площади очагов имеются за 56-летний период (табл. 2).

Таблица 2

Площадь очагов сибирского шелкопряда в Красноярском крае в 1962–2017 гг.

Area of the foci of mass propagation of Siberian moth in the Krasnoyarsk Krai in the period of 1962–2017

Год	Площадь, га	Год	Площадь, га	Год	Площадь, га	Год	Площадь, га
1962	720	1976	0	1990	0	2004	4085
1963	0	1977	0	1991	340	2005	0
1964	0	1978	0	1992	73	2006	0
1965	0	1979	0	1993	1180	2007	0
1966	34800	1980	0	1994	127970	2008	0
1967	94548	1981	0	1995	557455	2009	0
1968	99140	1982	923	1996	101462	2010	0
1969	12510	1983	2270	1997	270	2011	0
1970	300	1984	1293	1998	0	2012	0
1971	3757	1985	468	1999	0	2013	0
1972	213	1986	0	2000	1339	2014	0
1973	0	1987	0	2001	0	2015	21034
1974	0	1988	0	2002	12009	2016	803832
1975	0	1989	0	2003	65963	2017	325401

К сожалению, площади очагов оцениваются субъективно, и эти оценки имеют погрешность, поэтому их использование требует определенной осторожности и привлечения дополнительных данных. Наиболее распространенным недостатком мониторинга очагов является их обнаружение с запаздыванием на 1–2 года. Например, по данным Ю.П. Кондакова [2002], очаги массового размножения 1990-х гг. в Красноярском крае возникли уже в 1990 г. на площади 8000 га и в 1992 г. выросли до 50000 га, хотя по официальной статистике их в эти годы не было. Поэтому и ошибка в оценке межочагового периода и распространения очагов в начале массового размножения очень велика: площади могут отличаться в 100 и более раз.

Данные табл. 2 и построенный на их основе график временного ряда площадей очагов (рис. 1) позволяют определять и прогнозировать периодичность образования очагов, их встречаемость и продолжительность межочагового периода [Лямцев, 2001, 2012, 2015].

Встречаемость очагов. Как видно из рис. 1 и табл. 2, очаги сибирского шелкопряда в Красноярском крае наблюдались в течение 26 лет из 56: их встречаемость равна 46,4%, а с учетом невыявленных (неучтенных) очагов – предположительно около 60%. Следовательно, по этому показателю степень угрозы массового размножения сибирского шелкопряда характеризуется как высокая. Встречаемость очагов (за период 1967–2016 гг.) больше только на Алтае (62%), в Якутии (64%), Иркутской обл. (84%) и Туве (86%) [Лямцев, 2012].

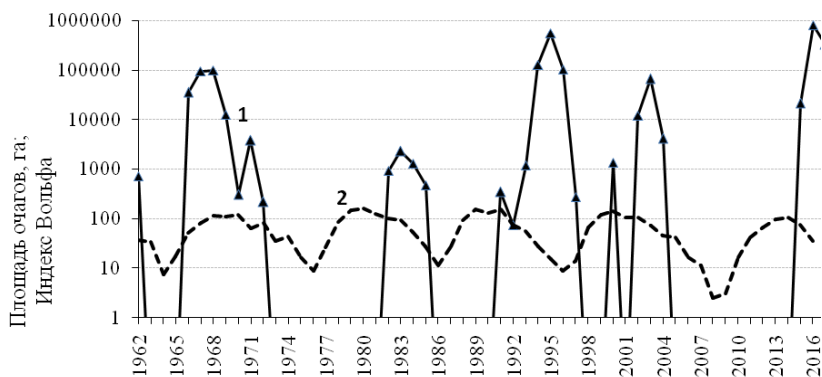


Рис. 1. Многолетняя динамика площади очагов сибирского шелкопряда в Красноярском крае (1) и солнечной активности (2)

Fig. 1. Long-term dynamics of areas of foci of mass propagation of Siberian moth in the Krasnoyarsk Krai (1) and solar activity (2)

Периодичность образования очагов. Анализ многолетней динамики площадей очагов (рис. 1) показывает, что с 1963 г. в Красноярском крае реализовалось пять вспышек численности сибирского шелкопряда со средней периодичностью 11 лет. 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 является интенсивной, площадь очагов составила более 1 млн га.

Продолжительность межвспышечного периода. Этот период включает этапы депрессии, восстановления и существования стабильной численности вредителя (классификация по А.С. Исаеву и др.) [Исаев и др., 1984]). Поэтому массовое размножение в том же насаждении может повториться не ранее, чем через 3 года после завершения предыдущей вспышки. Анализ продолжительности межочагового периода позволяет уточнить прогноз угрозы образования очагов, так как оценивается не только их периодичность, но и тенденции ее изменения.

Допустим, прогноз осуществляем в 2013 г. на 2014 г. По рис. 1 или табл. 2 определяем среднюю продолжительность межочагового периода для четырех 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 годам). Продолжительность текущего межочагового периода (с 2005 по 2013 г. включительно) составляет 9 лет (рис. 1). Это существенно больше средней продолжительности межочагового периода (5 лет). Следовательно, степень угрозы образования очагов в 2014 г. высокая (период депрессии популяции сибирского шелкопряда давно завершился, произошло восстановление стабильной численности, популяция готова к массовому размножению). Однако очаги не были выявлены, и ФБУ Рослесозащита в «Прогнозе состояния лесов Российской Федерации, расположенных на землях лесного фонда, и основных мероприятиях по улучшению их состояния на 2015 год» указывала, что «при благоприятных погодных условиях возможно увеличение численности сибирского шелкопряда». С учетом сильной угрозы более точно было бы прогнозировать образование очагов, а не только увеличение численности.

Очаги, вероятно, уже сформировались в 2014 г., но не были обнаружены. На это указывает «Обзор санитарного и лесопатологического состояния лесов в Российской Федерации в 2015 году и прогноз лесопатологической ситуации на 2016 год». В соответствии с Обзором, «в Красноярском

крае очаги сибирского шелкопряда были выявлены в конце 2015 г. Площадь очагов составила 21 тыс. га. Отмечено повреждение насаждений от слабой до сплошной степени. В отдельных лесных участках зафиксировано полное объедание деревьев пихты, кедра, ели, а также 100% объедание подроста» [Обзор..., 2016]. Большая площадь очагов и сплошное объедание указывают на то, что эти участки были повреждены уже в 2014 г., а локальные очаги, возможно, появились в конце 2013 г.

Для повышения точности и достоверности выводов необходимо ретроспективный анализ данных инвентаризации очагов сибирского шелкопряда дополнять результатами стационарных лесозащитных исследований [Исаев и др., 1984; Кондаков, 2002].

Наибольшую ценность для прогноза угрозы массового размножения насекомых имеют оценки плотности их популяций и ее изменения [Кондаков, 1974, 2002; Исаев и др., 1984]. Эти показатели являются в определенной степени интегральными, так как характеризуют реакцию популяции на воздействие всех факторов среды. Они максимально характеризуют изменчивость риска массового размножения, получаются заблаговременно и с относительно минимальными затратами. Плотность популяции определяется на той части контролируемой территории, где долгосрочные факторы риска велики. При необходимости проводится также оценка состояния (жизнеспособности) особей в популяции изучаемого вида, эффективность болезней, хищников и паразитов.

Например, в 1964–1966 гг. численность сибирского шелкопряда в темнохвойных лесах Красноярского Приангарья за 3 года увеличилась в 138 раз, а энергия размножения – более чем в 550 раз [Кондаков, 2002]. В 1966–1968 гг. наблюдалась кульминация вспышки массового размножения (фаза максимума численности).

На фазе нарастания численности популяции показатели абсолютной и максимальной заселенности насаждений незначительно отличались от уровня численности шелкопряда в предвспышечный период. Максимальная заселенность не превышала 10 гусениц/дерево, но резко выросла относительная заселенность (до 70–100%).

Начало массового размножения (1965 г.) было своевременным и точно предсказано Главным управлением лесного хозяйства и охраны леса при Совете министров РСФСР [Прогноз, 1965]. Основой производственного прогноза были данные надзора и материалы лесопатологических обследований, проведенных в 1964 г., которые подтвердили предположение, высказанное в прогнозе на 1964 г., об ожидающемся нарастании численности

шелкопряда в лесах Сибири. По данным 5-й Московской экспедиции, во всех обследованных в 1964 г. насаждениях лесосырьевых баз Ильинского (Бирилюсского) комплекса леспромхозов (Красноярский край) хотя и отмечалась незначительная степень заселенности (в среднем 0,6 гусеницы/дерево), но происходило нарастание численности шелкопряда.

Наиболее наглядным и эффективным инструментом прогнозирования угрозы массового размножения являются графические модели – градиционные кривые, фазовые портреты популяции, построенные на основании экспериментальных данных. Нами использован единственный опубликованный фазовый портрет (рис. 2).

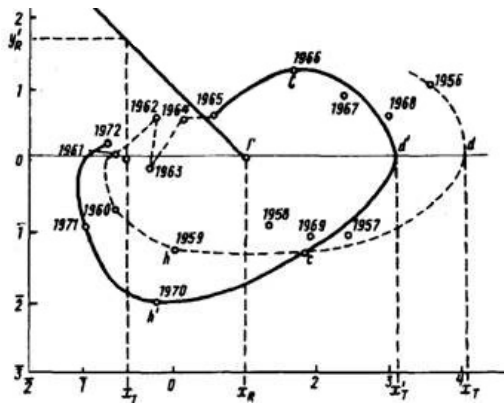


Рис. 2. Фазовый портрет динамики численности сибирского шелкопряда в Красноярском крае (по: Исаев и др. [1984]): ось x – логарифм плотности популяции гусениц на одно дерево; ось y – логарифм коэффициента размножения
 Fig. 2. Phase pattern of the population dynamics of Siberian moth in the Krasnoyarsk Krai (from: Isaev et al. [1984]): the x -axis is the logarithm of the caterpillar population density per tree; the y -axis is the logarithm of the multiplication factor

Для выявления перестроек в популяции необходимо данные трансформировать в логарифмы. Логарифмическая шкала намного нагляднее отражает особенности движения численности, особенно при низком уровне, когда оперативное выявление роста плотности популяции особенно важно.

Фазовые портреты более информативны для выявления начала массового размножения и оценки интенсивности роста численности насекомых, чем графики изменения плотности популяции в течение градации. Фазо-

вый портрет характеризует сопряженную (взаимообусловленную) многолетнюю динамику плотности популяции и коэффициента размножения.

Для его построения данные за год представляем на фазовой плоскости в виде точки, где ось x – плотность популяции насекомого в начале генерации, а y – коэффициент размножения (рис. 2). Многолетние данные образуют фазовые траектории последовательного (год за годом) изменения популяции. Очевидно, что при $y = 1$ ($\lg y = 0$) роста численности нет, популяция стабильна, если $y > 1$, то популяция увеличивается, а если $y < 1$, то убывает. Фазы динамики популяции: нарастания численности (1964–1966 гг.), максимума (1966–1968 гг.), разреживания (1968–1969 гг.), депрессии (1969–1970 гг.), восстановления стабильной численности (1970–1972 гг.) [Исаев и др., 1984].

Наклонной линией (биссектриса из точки r к оси y) показаны пороговые значения соотношения плотности популяции и коэффициента размножения, превышение которых приводит к вспышке (рис. 2). Пороговой функцией (геометрическим местом точек) является именно биссектриса r , потому что только для нее в логарифмической шкале при изменении плотности популяции коэффициент размножения изменяется на такую же величину, но в противоположном направлении (осуществляется процесс регулирования и стабилизация численности).

Координаты точки r ($x = 1$; $y = 0$), что в обычной шкале составляет: плотность популяции (x_R) – 10 гусениц/дерево, коэффициент размножения – 1. Превышение этих пороговых значений указывает на наличие угрозы массового размножения.

Точку r , отделяющую стабильную популяцию от переходящей к вспышечному состоянию, выявляем на фазовом портрете экспертным путем на основании анализа экспериментальных данных. Например, при стабильной численности $x_1 = -0,4$ или $0,4$ гусеницы/дерево (рис. 2) начало массового размножения возможно только при увеличении плотности популяции за поколение в 25 раз (y_R). Такая большая величина коэффициента размножения указывает на то, что порог угрозы массового размножения, приведенный на рис. 2, по-видимому, несколько завышен.

Наиболее реалистичной является пороговая плотность популяции 5 гусениц/дерево. По данным Ю.П. Кондакова [2002], для темнохвойных лесов Красноярского края значение стабильной плотности популяции шелкопряда с учетом степени пригодности насаждений составляет около 0,5–5 гусениц/дерево. При превышении этих значений начинается фаза нарастания численности массового размножения. В этом случае координаты точки r в логарифмической шкале следующие: $x = 0,7$; $y = 0$.

Далее переходим от графического к аналитическому описанию с использованием программы Microsoft Excel: пороговую линию (r) в логарифмической шкале характеризуем уравнением

$$y = -x + 0,7,$$

где x – среднее количество гусениц на дерево (lg); y – коэффициент размножения (lg).

Для получения абсолютных значений пороговых показателей рассчитываем по уравнению коэффициенты размножения, соответствующие разной пороговой численности гусениц и используем стандартный алгоритм извлечения антилогарифмов (табл. 3). Например, пороговый коэффициент размножения для плотности популяции 0,4 гусеницы/дерево составляет 12,6. То есть угроза массового размножения возникает при степени роста численности шелкопряда в два раза меньшей, чем при пороговой плотности популяции 10 гусениц/дерево.

Таблица 3

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

The results of the calculation of the threshold values of the population density and the corresponding reproduction coefficients in Siberian moth

Численность гусениц/дерево (lg)	Численность гусениц/дерево	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
-0,4	0,40	1,1	12,6

Как видно из табл. 3, чем меньше плотность популяции шелкопряда, тем больше должен быть ее прирост (коэффициент размножения), чтобы началось массовое размножение (фаза нарастания численности). Например, чтобы началось массовое размножение сильно разреженных популяций, когда на дереве в среднем 0,2 гусеницы шелкопряда, необходимо значительное, не менее чем в 25 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 2,5 раза) увеличения численности.

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 гелиофизической информации и погодной ситуации [Исаев и др., 1984; Кондаков, 2002; Лямцев, 2015]. Как видно из рис. 1, периодичность очагов массового размножения сибирского шелкопряда и солнечной активности (среднее значение чисел Вольфа за май–июль) в среднем близки, и они образуются в основном на пике или сразу после пика солнечной активности. Исключением является массовое размножение 1965–1972 гг., когда очаги возникли на фазе роста солнечной активности.

Особенно важным является учет засух как фактора, воздействующего на все компоненты лесных биоценозов, улучшающего качество корма и состояние популяции сибирского шелкопряда. Для этого необходимо накапливать и постоянно обновлять данные по температуре воздуха и осадкам. Основным источником такой информации является база данных месячной и суточной температуры воздуха и количества осадков на метеорологических станциях России и бывшего СССР [Булыгина и др., 2014].

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 в условиях значительного их варьирования. Критерий отбора – наибольшее влияние особенностей погоды на жизнеспособность популяции вредного насекомого и состояние насаждений (критические периоды сезонного цикла развития вредителя). Для этого создаем электронные таблицы, определяем средние многолетние и отклонения от средних различных метеорологических показателей, проводим графический анализ сопряженности изменения площадей очагов и комплексных показателей, например гидротермического коэффициента (ГТК) (рис. 3).

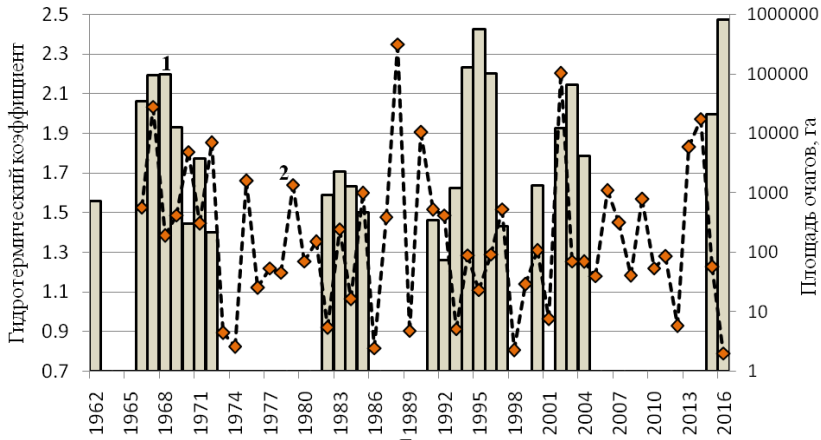


Рис. 3. Изменение площадей очагов сибирского шелкопряда (1) и гидротермического коэффициента за летний период (2) в Красноярском крае

Fig. 3. Changes in areas of the foci of mass propagation of Siberian moth (1) and hydrothermal coefficient over the summer period (2) in the Krasnoyarsk Krai

Рассчитанные нами по данным метеостанции Красноярск ГТК лета варьировали в пределах 0,79–2,35 (рис. 3). Они были меньше единицы, что является показателем засухи, по Г.Т. Селянину, в 1973, 1974, 1982, 1986, 1989, 1993, 1998, 2001, 2012 и 2016 гг. Доля лет с засухами составляет 20% (10 из 50 лет).

Все пять наблюдавшихся за 55 лет и представленных на рис. 3 массовых размножений сибирского шелкопряда 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 = 1,22 и 1,28).

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 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 [Кондаков, 2002].

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.

Образование очагов в 1966–1972 гг. также обусловлено достаточно интенсивными засухами 1964 и 1965 гг. [Исаев и др., 1984]. Использование метеорологической информации (комплексного показателя засушливости) [Кондаков, 1967, 2002] позволило в 1965 г. своевременно предсказать вспышку размножения сибирского шелкопряда в темнохвойных лесах Красноярского Приангарья. Показатель засушливости в 1964 г. (5,3 балла) и повторно в 1965 г. (5,8 балла) превысил критическую норму (3,5 балла). По данным Ю.П. Кондакова [2002], засушливая погода в период развития двух смежных поколений шелкопряда, вероятность которой в этом районе около 9%, всегда приводила к вспышке массового размножения. Количественная оценка и детальный анализ данного показателя нами не проводились и возможны в рамках отдельной статьи.

Выводы. Для прогноза угрозы массовых размножений сибирского шелкопряда наиболее информативными являются многолетние данные мониторинга численности насекомого (фазовый портрет динамики популяции). Они позволили оценить пороговую плотность популяции (5 гусениц/дереву) и рассчитать пороговую линию, превышение которой по плотности популяции и коэффициенту размножения приводит к началу массового размножения. О степени угрозы можно судить по расстоянию между пороговой линией и текущему положению этих параметров.

При отсутствии фазовых портретов угрозу прогнозируем по ретроспективным данным динамики площадей очагов сибирского шелкопряда (1962–2017 гг.). Сопоставляя среднюю периодичность образования очагов (11 лет в наиболее благоприятных для насекомого условиях) и продолжительность межочагового периода (5 лет) с текущими оценками этих показателей, определяем время (год) появления угрозы массового размножения и ее уровень.

Очаги сибирского шелкопряда образуются, в основном, на пике или сразу после пика солнечной активности, под воздействием засух или засушливой погоды. Вероятность такой погоды в темнохвойных южно-таежных лесах Красноярского края равна 20%, а в период развития двух смежных поколений шелкопряда составляет около 9%.

Предложенные методы, алгоритмы и критерии позволяют повысить эффективность использования данных лесопатологического мониторинга. Для прогнозирования массовых размножений хозяйственно опасных насекомых особенно важными являются накопление и повышение достоверности лесопатологической информации.

Библиографический список

Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Александрова Т.М. Описание массива данных суточной температуры воздуха и количества осадков на метеорологических станциях России и бывшего СССР (ТТТТ). URL: <http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation#описание-массива-данных>.

Ильинский А.И. Организация надзора за хвое- и листогрызущими вредителями в лесах и прогнозирование их массовых размножений // Защита лесов от вредителей и болезней. М.: Сельхозгиз, 1961. С. 57–96.

Исаев А.С., Хлебопрос Р.Г., Недорезов Л.В., Кондаков Ю.П., Киселев В.В. Динамика численности лесных насекомых. Новосибирск: Наука, 1984. 224 с.

Исаев А.С., Лямцев Н.И., Ершов Д.В. Прогнозирование и контроль массового размножения лесных насекомых в системе лесэнтмологического мониторинга // Лесная таксация и лесоведение. 2005. Вып. 1 (34). С. 86–106.

Кондаков Ю.П. Методы прогнозирования массовых размножений сибирского шелкопряда. М., 1967. 9 с.

Кондаков Ю.П. Закономерности массовых размножений сибирского шелкопряда // Экология популяций лесных животных Сибири. Новосибирск: Наука, Сиб. отд.-ние, 1974. С. 206–265.

Кондаков Ю.П. Массовые размножения сибирского шелкопряда в лесах Красноярского края // Энтмологические исследования в Сибири. 2002. Вып. 2. С. 25–74.

Лямцев Н.И. Прогнозирование очагов массового размножения сибирского шелкопряда // Лесное хозяйство. 2001. № 6. С. 43–44.

Лямцев Н.И. Долговременные тенденции в распространении очагов массового размножения хвоегрызущих насекомых в лесах России // Чтения памяти А.И. Ильинского: сб. докладов. Пушкино: ВНИИЛМ, 2012. С. 30–41.

Лямцев Н.И. Прогнозирование распространения очагов сибирского шелкопряда по данным их инвентаризации // Защита лесов от вредителей и болезней: научные основы, методы и технологии: матер. Всерос. науч. конф. с междунар. участием. Иркутск–Танхой, 14–17 сентября 2015 г. Иркутск, 2015. С. 50–55.

Надзор, учет и прогноз массовых размножений хвое- и листогрызущих насекомых в лесах СССР. М.: Лесн. пром-сть, 1965. 525 с.

Обзор санитарного состояния лесов России за 1993 год / сост. А.Н. Бобринский, Т.Е. Гендель, В.В. Карасев и др. М.: Росагросервис, 1994. 130 с.

Обзор санитарного и лесопатологического состояния лесов России за 2001 год / МПР РФ, Российский центр защиты леса. М., 2002. 140 с.

Обзор санитарного и лесопатологического состояния лесов Российской Федерации в 2008 г. и прогноз лесопатологической ситуации на 2009 г. М.: ФГУ «Рослесозащита», 2009. 179 с.

Обзор санитарного и лесопатологического состояния лесов в Российской Федерации в 2015 году и прогноз лесопатологической ситуации на 2016 год. Пушкино: ФБУ «Рослесозащита», 2016. 235 с. URL: <http://rosleshoz.gov.ru/activity/no-fire/docs/projects/obzor>

Прогноз размножения вредных насекомых в лесах РСФСР в 1965 году. М., 1965. 46 с.

References

Bulygina O.N., Razuvayev V.N., Aleksandrova T.M. Opisanie massiva dannykh sutochnoy temperatury vozdukhа i kolichestva osadkov na meteorologicheskikh stantsiyakh Rossii i byvshego SSSR (TTTR). URL: <http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation#opisanie-massiva-dannykh>.

Il'inskiy A.I. Organizatsiya nadzora za hvoe- i listogryzushchimi vreditelyami v lesah i prognozirovanie ih massovykh razmnozhenij. *Zashchita lesov ot vreditel'ey i boleznej*. М.: Sel'hozgiz, 1961, pp. 57–96. (In Russ.)

Isaev A.S., Hlebopros R.G., Nedorezov L.V., Kondakov YU.P., Kiselev V.V. Dinamika chislennosti lesnykh nasekomykh. Novosibirsk: Nauka, 1984. 224 p. (In Russ.)

Isaev A.S., Lyamcev N.I., Ershov D.V. Prognozirovanie i kontrol' massovogo razmnozheniya lesnykh nasekomykh v sisteme lesoehntomologicheskogo monitoringa. *Lesnaya taksatsiya i lesovedenie*, 2005, is. 1 (34), pp. 86–106. (In Russ.)

Kondakov Yu.P. Metody prognozirovaniya massovykh razmnozhenij sibirskogo shelkopryada. М., 1967. 9 p. (In Russ.)

Kondakov Yu.P. Zakonomernosti massovykh razmnozheniy sibirskogo shelkopryada. *Ekologiya populyatsiy lesnykh zhivotnykh Sibiri*. Novosibirsk: Nauka, Sib. otd., 1974, pp. 206–265.

Kondakov Yu.P. Massovyе razmnozheniya sibirskogo shelkopryada v lesah Krasnoyarskogo kraya. *Entomologicheskие issledovaniya v Sibiri*, 2002, is. 2, pp. 25–74. (In Russ.)

Lyamcev N.I. Prognozirovanie ochagov massovogo razmnozheniya sibirskogo shelkopryada. *Lesnoe hozyajstvo*, 2001, no. 6, pp. 43–44. (In Russ.)

Lyamcev N.I. Dolgovremennye tendentsii v rasprostranenii ochagov massovogo razmnozheniya hvoe Gryzushchih nasekomykh v lesah Rossii. *Chteniya pamyati A.I. Il'inskogo: sb. dokladov*. Pushkino: VNIILM, 2012, pp. 30–41. (In Russ.)

Lyamcev N.I. Prognozirovanie rasprostraneniya ochagov sibirskogo shelkopryada po dannym ih inventarizacii. *Zashchita lesov ot vreditelej i boleznej: nauchnye osnovy, metody i tekhnologii*: mater. Vseros. Nauch. Konf. s mezhdunar. uchastiem, Irkutsk-Tanhoj, 14–17 sentyabrya 2015 g. Irkutsk, 2015, pp. 50–55. (In Russ.)

Nadzor, uchet i prognoz massovyh razmnozhenij hvoe- i listogryzushchih nasekomyh v lesah SSSR. M.: Lesnaya prom-st', 1965. 525 p. (In Russ.)

Obzor sanitarnogo sostoyaniya lesov Rossii za 1993 god. Sost. A.N. Bobrinskij, T.E. Gendel', V.V. Karasev i dr. M.: Rosagroservis, 1994. 130 p. (In Russ.)

Obzor sanitarnogo i lesopatologicheskogo sostoyaniya lesov Rossii za 2001 god. MPR RF, Rossijskij centr zashchity lesa. M., 2002. 140 p. (In Russ.)

Obzor sanitarnogo i lesopatologicheskogo sostoyaniya lesov Rossijskoj Federacii v 2008 g. i prognoz lesopatologicheskoi situacii na 2009 g. M.: FGU «Roslesozashchita», 2009. 179 p. (In Russ.)

Obzor sanitarnogo i lesopatologicheskogo sostoyaniya lesov v Rossijskoj Federacii v 2015 godu i prognoz lesopatologicheskoi situacii na 2016 god. Pushkino: FBU «Roslesozashchita», 2016. 235 p. URL: <http://rosleshoz.gov.ru/activity/no-fire/docs/projects/obzor> (In Russ.)

Prognoz razmnozheniya vrednyh nasekomyh v lesah RSFSR v 1965 godu. M., 1965. 46 s. (In Russ.)

Материал поступил в редакцию 06.06.2019

Лямцев Н.И. Оценка и прогноз угрозы массового размножения сибирского шелкопряда в лесах Красноярского края // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2019. Вып. 228. С. 294–311. DOI: 10.21266/2079-4304.2019.228.294–344

Прогноз угрозы массовых размножений сибирского шелкопряда *Dendrolimus sibiricus* Tschetverikov (Lepidoptera: Lasiocampidae) осуществляется на основе оценки их периодичности (частоты), пороговой плотности популяции и благоприятности (степени засушливости) погоды. Приведены оценки этих показателей по литературным данным и материалам лесопатологического мониторинга для лесов Красноярского края. Проведен их анализ и предложены методы, модели и алгоритмы прогнозирования угрозы массовых размножений. Наиболее информативными являются многолетние данные мониторинга численности насекомого (фазовый портрет динамики популяции), которые позволяют оценивать степень угрозы по текущему положению плотности популяции и коэффициента размножения относительно пороговой численности (5 гусениц/дерево). Используются данные и фазовая траектория динамики численности сибирского шелкопряда в 1955–1972 гг. При

отсутствии фазовых портретов угрозу следует прогнозировать по ретроспективным данным динамики площадей очагов сибирского шелкопряда (1962–2017 гг.). Сопоставляя среднюю периодичность образования очагов (11 лет в наиболее благоприятных для насекомого условиях) и продолжительность межочагового периода (5 лет) с текущими оценками этих показателей, можно определить время (год) появления угрозы. Уровень угрозы устанавливается по степени превышения показателями средних оценок. Для начала массового размножения кроме достижения пороговой численности необходимо наличие засушливой погоды. Вероятность такой погоды в темнохвойных южно-таежных лесах Красноярского края – 20%, а в период развития двух смежных поколений шелкопряда – около 9%. Очаги образуются в основном на пике или сразу после пика солнечной активности. Полученные результаты позволяют обеспечивать более точный и заблаговременный прогноз угрозы массового размножения за счет более полного использования и интеграции информации.

Ключевые слова: сибирский шелкопряд, прогнозирование, динамика численности, угроза массового размножения, очаги.

Lyamtsev N.I. Assessment and forecast of Siberian moth mass propagation risks in the Krasnoyarsk Krai forests. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehniceskoy Akademii*, 2019, is. 228, pp. 294–311 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2019.228.294-311

Forecast of Siberian moth (*Dendrolimus sibiricus* Tschetverikov (Lepidoptera: Lasiocampidae) mass reproduction risk is based on its recurrence (frequency), population threshold density, and favourable weather conditions (drought rate). The paper presents an assessment of these indicators based on literature data and forest pathology monitoring of the Krasnoyarsk Krai forests. The analysis resulted in proposed procedures, models, and algorithms to forecast the risk of mass reproduction. The most comprehensive are the multi-year data on insect population monitoring (population dynamics phase pattern) that enable risk rate assessment based on available population density and reproduction coefficient in relation to the threshold density (5 caterpillars per tree). Such data and population stage curve of Siberian moth during 1955–1972 were used for the analysis. With the lack of the phase patterns, risk prediction should be based on retrospective data (1962–2017) on Siberian moth outbreak area dynamics. Comparison of average frequency of outbreak development (11 years provided the most favourable conditions for the insect) and the duration of the period between outbreaks (5 years) with the current data on these indicators enables identification of risk occurrence timing (year). Risk rate is based on the indicators' excess over the mean assessment values. For the mass outbreak start, in addition to the threshold population density, dry weather is essential. The chance of such weather conditions in dark coniferous south taiga forests of the Krasnoyarsk Krai is 20%, and during the development of two

succeeding moth generations is around 9%. Outbreaks mostly develop at the peak of solar activity or right afterwards. Our results enable to ensure the most accurate and timely mass reproduction forecast due to comprehensive application and integration of information.

Key words: siberian moth, population dynamics, mass reproduction, outbreaks.

ЛЯМЦЕВ Николай Иванович – заведующий отделом ФБУ Всероссийского научно-исследовательского института лесоводства и механизации лесного хозяйства, кандидат биологических наук.

141200, Институтская ул., д. 15, г. Пушкино, Московская обл., Россия.
E-mail: nilyamcev@yandex.ru

LYAMTSEV Nikolay I. – PhD (Biology), Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry.

141200. Institute str. 15. Pushkino. Moscow Region. Russia. E-mail: nilyamcev@yandex.ru